

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA – CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

FLÁVIA GONÇALVES

**TRATAMENTO DE CAMAS DE EQUINOS POR COMPOSTAGEM E
VERMICOMPOSTAGEM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2014**

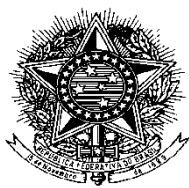
FLÁVIA GONÇALVES

**TRATAMENTO DE CAMAS DE EQUINOS POR COMPOSTAGEM E
VERMICOMPOSTAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tatiane Cristina Dal Bosco

LONDRINA
2014



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



TERMO DE APROVAÇÃO

TRATAMENTO DE CAMAS DE EQUINOS POR COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM

por

FLÁVIA GONÇALVES

Monografia apresentada no dia 20 de janeiro de 2014 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. Marcelo Hidemassa Anami
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)

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

Profa. Dra. Joseane D. P. Theodoro
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

“Se tu estás verdadeiramente comprometido com tua meta, o universo inteiro conspira a teu favor para que apareçam os instrumentos e pessoas que te permitirão lográ-la”.

(Goethe)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para que eu completasse mais esta etapa da minha vida.

Primeiramente a Deus por sempre me proteger e guiar meus passos, colocando ao meu lado as pessoas certas que me apoiaram e deram força para nunca desistir.

Agradeço aos meus pais, Flávio e Márcia, por toda a dedicação, paciência, carinho e companheirismo, de maneira incondicional, durante toda a minha vida. Meus pilares e exemplo de amor e afeto, sem vocês nada disso seria realidade. Pai, com todo carinho, agradeço por você ter aceitado este desafio e ter entrado nesta 'de cabeça' comigo, sendo cuidadoso com todos os detalhes, incentivando quando eu já estava cansada e dando amor às minhas 'minhocas', por muitas vezes até mais do que eu. Mãe, obrigada por ser esta mulher forte e guerreira, que dia após dia tirava qualquer empecilho do meu caminho para fazer esta minha caminhada mais fácil. Eu amo vocês!

Agradeço também aos meus irmãos, Mariana e Rodrigo, por sempre me darem forças e me fazer acreditar que o final recompensador era certo. Obrigada pelas implicâncias, pelos desentendimentos, mas, sobretudo, pela amizade e pela constante motivação.

Agradeço ao meu namorado e melhor amigo, Erick, por todo amor e dedicação demonstrados nas noites mal dormidas, no companheirismo, na 'parte prática', na compreensão da importância deste momento, no estar sempre disposto a me ajudar, no cuidado constante e nas esperas incontáveis ("Calma aí, mor... Faltava só lavar a vidraria! – E horas se passavam..."). Obrigada 'Mor', sem você me apoiando seria muito mais difícil.

Agradeço a minha família: tios e tias, primos, avós e todos que sempre incentivaram e torciam pelo meu êxito.

Agradeço a minha orientadora e "anjo da guarda", Professora Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco, pelo cuidado na orientação, pelos incansáveis incentivos, por todo o aprendizado proporcionado e, acima de tudo, pela confiança. 'Tati', muito mais do que a finalização deste trabalho, você mudou meus passos e me fez crescer como pessoa e como profissional. Obrigada!

Agradeço também a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente com a execução deste trabalho: aos meus amigos de classe Bruno Vedovatte, Camylla Ribeirette, Flávia Teruya, Gustavo de Sotti, Ivan Taiatele Junior e Paola Scalone pelo companheirismo nestes cinco anos de curso. Aos grandes companheiros de laboratório Ana Alícia de Sá Pinto, Andressa Vitória Duarte De Souza, Jaqueline dos Santos, Michel Iuri Caetano, Monielen Betio e Pedro Henrique Presumido por todo o tempo dedicado a esta minha conquista, sem nunca perder o bom humor. Às técnicas Laura e Luciana pela imensa compreensão e atendimento de inúmeros pedidos de empréstimos. À Mariana Sbizzaro, pela torcida e por todo conhecimento passado. Ao Adriano Vinícius Scalco, não apenas pelas vidrarias emprestadas, mas pela companhia durante estes cinco anos, com conversas sempre animadoras. À Danielle Hiromi Nakagawa e ao Luís Fernando Demetrio pelo nascimento de uma amizade verdadeira que levarei pra sempre, pelos incontáveis incentivos e pelo carinho de todos os dias.

Agradeço também aos professores: Marcelo Hidemassa Anami e Edilaine Regina Pereira não só pela leitura e correção deste trabalho, mas pelas conversas prazerosas. À professora Kátia Valéria Marques Cardoso Prates pelos conselhos certos, nas horas certas. Aos professores Roger Nabeyama Michels e Ajadir Fazolo pela grande transmissão de conhecimentos.

Enfim, a todos que fizeram deste sonho uma realidade, o meu...

“Muito Obrigada”!

RESUMO

GONÇALVES, Flávia. **Tratamento de camas de equinos por compostagem e vermicompostagem**. 2014. 133 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

O tratamento de resíduos agropecuários vem se tornando uma preocupação para os produtores que mantêm seus animais em confinamento. Considerando o cenário favorável à equinocultura no país, os criadores buscam por alternativas para destinarem corretamente as camas saturadas, confeccionadas geralmente de algum resíduo de outra atividade que consiga absorver fezes e urina nas baias dos animais. A compostagem e a vermicompostagem se destacam para o tratamento de resíduos orgânicos, especialmente de dejetos, por resultarem em matéria orgânica mais estabilizada, além de serem técnicas de baixo custo de implantação e manutenção. Deste modo, este trabalho teve o objetivo de analisar o tratamento de cinco camas de equinos por meio destas duas técnicas. Os tratamentos consistiram em camas de equinos confeccionadas de: T1 – casca de café (pergaminho do grão); T2 – sepilho; T3 – sepilho e brachiaria; T4 – casca de arroz; T5 – casca de arroz e brachiaria. Os tratamentos foram colocados nas baias e permaneceram até sua saturação. Assim que retirado, o resíduo foi pré-compostado em leira, por 42 dias. Foram monitorados parâmetros físicos como temperatura, redução de volume e peso, além de parâmetros físico-químicos como pH, condutividade elétrica, série de sólidos, teores de Carbono Total (CT) e Nitrogênio Total (NT) e relação C/N. Após este período, 15 vermireatores, 3 para cada tratamento, foram montados e o restante do material permaneceu enleirado, para continuar com o processo da compostagem. Os mesmos parâmetros analisados para a pré-compostagem foram analisados para o desenvolvimento da compostagem e vermicompostagem, que perduraram por 58 dias. Os resultados mostraram que tanto para a Vermicompostagem como para a Compostagem os tratamentos T2 e T3 apresentaram descaracterização total do material de origem. Os tratamentos T4 e T5 demonstraram visualmente quase nenhuma e pouca degradação da matéria orgânica, respectivamente. Quanto aos parâmetros analisados destaca-se principalmente que o tratamento T1 não é tolerado pelas minhocas, e por consequência disso, a vermicompostagem não é indicada. A brachiaria, independente do resíduo ao qual é acrescida e da técnica aplicada, melhora as condições para o tratamento dos resíduos, com o aumento da aeração, fornecimento de carbono de fácil degradação e auxílio na mineralização de nitrogênio. Para aplicação em larga escala, recomenda-se, portanto, o tratamento consorciado entre sepilho e brachiaria, tratado com a técnica de compostagem, visto suas melhores características apresentadas e facilidade de execução e obtenção em uma propriedade rural.

Palavras-chave: tratamento de resíduos agropecuários, *Eisenia foetida*, relação C/N.

ABSTRACT

GONÇALVES, Flávia. **Treatment of horse bedding by composting and vermicomposting.** 2014. 133 p. Course Conclusion Work (Bachelorship in Environmental Engineering). – Environmental Engineering Course – Federal Technological University of Parana, Londrina, 2014.

The treatment of agricultural and livestock waste is becoming an issue for those farmers who keep their animals in confinement. As the country scenario is favorable to horse culture, farmers seek for alternatives to dispose correctly saturated bedding, normally made out of waste from another activity, which is able to absorb manure and urine at animals' stalls. Composting and vermicomposting stand out as treatments for organic waste, especially manure, due to resulting of more stabilised organic matter, also being low cost techniques in relation to implementation and management. Thereby, this study aimed to analyse the treatment of five horse bedding by means of these two techniques. The treatments consisted in horse bedding made of: T1 – coffee peel (bean parchment); T2 – sawdust; T3 – sawdust and brachiaria; T4 – rice straw; T5 – rice straw and brachiaria. The treatments were placed at the stalls and remained until saturation. As soon as the waste was removed, it was windrow-shaped pre-composted, for 42 days. Physical parameters such as temperature, volume and weight reduction, and physicochemical parameters, such as pH, electric conductivity, solid series, Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN) contents and C/N ratio, were monitored. After this period, 15 vermireactors, 3 for each treatment, were built and the remaining material was left windrowed, in order to continue the composting process. The same parameters analysed for the pre-composting period were again analysed for the development of composting and vermicomposting, which lasted for 58 days. The results showed that both the Vermicomposting Composting as for the treatments T2 and T3 presented total decharacterization from original material. Treatments T4 and T5 demonstrated, respectively, no and little organic matter degradation. Regarding the parameters analysed, it is mainly important to highlight that treatment T1 is not tolerated by earthworms, and consequently, vermicomposting is not indicated. Regardless the waste which brachiaria is added to and the applied technique, it improves the conditions for waste treatment as it increases the aeration, supplies easily degradable carbon and assists nitrogen mineralisation. Therefore, for application at large scale, it is recommended the sawdust and brachiaria consortiated treatment, utilising the composting technique, since it presented the best features and easiness of being executed and obtained at a rural property.

Key words: treatment of agricultural and livestock waste, *Eisenia foetida*, C/N ratio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de uma cama de equino.....	25
Figura 2 – Dejeito e sobras da alimentação dos equinos na cama	26
Figura 3 – Perfil idealizado da temperatura durante o processo da compostagem ...	30
Figura 4 – Demonstração do teste da mão	33
Figura 5 – Evolução da relação C/N durante o processo de compostagem.....	34
Figura 6 – Minhoca vermelha-da-califórnia	40
Figura 7 – Ciclo de vida da minhoca vermelha-da-califórnia.....	40
Figura 8 – Casulo da <i>Eisenia foetida</i>	41
Figura 9 – Trabalho de compostagem realizado durante os Jogos Pan Americanos	44
Figura 10 – Etapas do experimento em campo	45
Figura 11 – Localização do Recinto de Rodeio da APAE de Sertanópolis/PR.....	46
Figura 12 – Confecção das camas de equinos	48
Figura 13 – Leiras montadas para a pré-compostagem	50
Figura 14 – Esquema de alocação das leiras.....	50
Figura 15 – Termômetro tipo espeto (a) e Termohigrômetro (b) utilizados no monitoramento	51
Figura 16 – Pontos de monitoramento da temperatura nas leiras de pré-compostagem.....	52
Figura 17 – Revolvimento da leira de pré-compostagem e umidificação	53
Figura 18 – Determinação do volume na pré-compostagem.....	54
Figura 19 – Modelo de caixa utilizada como vermirreator	55
Figura 20 – Minhocas utilizadas na vermicompostagem.....	56
Figura 21 – Reatores de vermicompostagem.....	57
Figura 22 – Caixas de vermicompostagem forradas (a) e revestidas com TNT (b) ..	58
Figura 23 – Pontos de monitoramento da temperatura nas caixas de vermicompostagem.....	58
Figura 24 – Contagens de minhocas (linha do tempo).....	59
Figura 25 – Material em forno mufla para determinação de sólidos voláteis.....	62
Figura 26 – Etapas da análise de Nitrogênio Total.....	64
Figura 27 – Bloco digestor – análise de Nitrogênio Total	65
Figura 28 – Diferentes colorações durante as etapas da análise de NTK.....	65
Figura 29 – Aspectos dos materiais no início (a) e no final (b) da pré-compostagem	75
Figura 30 – Testes com o tratamento T1 para a (re)introdução de minhocas	84
Figura 31 – Aspecto dos resíduos após a vermicompostagem	91
Figura 32 – Fases de desenvolvimento da <i>Eisenia foetida</i> observadas na vermicompostagem	103
Figura 33 - Aspecto dos resíduos ao final da compostagem.....	111

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Monitoramento da temperatura nos tratamentos durante a pré-compostagem.....	70
Gráfico 2 – Monitoramento dos sólidos voláteis e fixos durante a pré-compostagem	78
Gráfico 3 – Monitoramento dos teores de carbono total e nitrogênio total na pré-compostagem.....	80
Gráfico 4 – Variáveis analisadas para o tratamento T1 entre o 43º e 100º dia de estudo.....	85
Gráfico 5 – Monitoramento de temperatura nos tratamentos durante a vermicompostagem	87
Gráfico 6 – Redução de peso médio dos vermifreatores	89
Gráfico 7 – Monitoramento do pH durante a vermicompostagem	92
Gráfico 8 – Monitoramento da condutividade elétrica durante a vermicompostagem	94
Gráfico 9 – Monitoramento dos sólidos voláteis e fixos durante a vermicompostagem	95
Gráfico 10 – Monitoramento dos teores de Carbono Total e do Nitrogênio Total na vermicompostagem	97
Gráfico 11 – Monitoramento da Relação Carbono-Nitrogênio durante a vermicompostagem	98
Gráfico 12 – Contagem das minhocas nos vermifreatores.....	102
Gráfico 13 – Número de indivíduos jovens e casulos encontrados na contagem final	103
Gráfico 14 – Monitoramento da temperatura nos cinco tratamentos durante a compostagem.....	105
Gráfico 15 – Comparativo da redução percentual de volume nas etapas de pré-compostagem e compostagem	107
Gráfico 16 - Comparativo da redução percentual de peso nas etapas de pré-compostagem e compostagem	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores do PIB do Agronegócio Brasileiro (de 1994 a 2011)	19
Tabela 2 – Efetivos de rebanhos do Brasil (em cabeças)	20
Tabela 3 – Síntese de alguns parâmetros importantes para o desenvolvimento da <i>Eisenia foetida</i>	42
Tabela 4 – Volume e peso das leiras de pré-compostagem montadas.....	49
Tabela 5 – Modelo de planilha para anotação das temperaturas, adição de água, revolvimento e volume das leiras de pré-compostagem	52
Tabela 6 – Características iniciais dos vermicompostadores	56
Tabela 7 – Características das leiras de compostagem montadas	59
Tabela 8 – Síntese das análises laboratoriais realizadas durante todo o processo ..	60
Tabela 9 – Caracterização inicial das camas de equino saturadas	68
Tabela 10 – Redução de volume das leiras de pré-compostagem.....	72
Tabela 11 – Redução de peso das leiras de pré-compostagem	73
Tabela 12 – Valores de pH no período da pré-compostagem.....	75
Tabela 13 – Valores de condutividade elétrica no período da pré-compostagem	77
Tabela 14 – Quantidade real de nitrogênio total nas leiras no início e ao final da pré-compostagem.....	81
Tabela 15 – Valores das relações C/N no período da pré-compostagem	82
Tabela 16 – Redução de volume médio dos vermicompostadores	88
Tabela 17 – Aumento do peso específico médio dos vermicompostadores.....	90
Tabela 18 – Análise estatística da variação dos parâmetros C, N e relação C/N	99
Tabela 19 – Análise estatística da variação de volume, peso e peso específico	100
Tabela 20 – Redução de volume nas leiras de compostagem	106
Tabela 21 – Redução de peso nas leiras de compostagem.....	108
Tabela 22 – Aumento do peso específico das leiras de compostagem.....	110
Tabela 23 – Valores de pH no período da compostagem	112
Tabela 24 – Valores de condutividade elétrica no período da compostagem	113
Tabela 25 – Variação dos sólidos voláteis e fixos no processo de compostagem ..	114
Tabela 26 – Monitoramento dos teores de Carbono Total e Nitrogênio Total na compostagem.....	115
Tabela 27 – Valores das relações C/N no período da compostagem	117
Tabela 28 – Comparação entre os resultados finais obtidos pelas diferentes técnicas	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese das fases da temperatura no processo de compostagem	30
Quadro 2 – Problemas e consequências devido a diferentes intervalos de C/N durante o processo de compostagem	35
Quadro 3 – Parâmetros de monitoramento da pré-compostagem	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	CENÁRIO NACIONAL DA PECUÁRIA.....	18
3.1.1	Criação de equinos	21
3.2	RESÍDUOS DA PRODUÇÃO PECUÁRIA.....	23
3.2.1	Resíduo da criação de equinos	25
3.3	COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM – BASE CONCEITUAL	27
3.3.1	Compostagem	28
3.3.1.1	Parâmetros de controle do processo de compostagem	29
3.3.1.1.1	Temperatura.....	29
3.3.1.1.2	Nível de oxigênio - Aeração	31
3.3.1.1.3	Umidade	32
3.3.1.1.4	Relação Carbono/Nitrogênio (C/N).....	34
3.3.1.1.5	Granulometria.....	35
3.3.1.1.6	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	36
3.3.1.1.7	Micro-organismos	36
3.3.2	Vermicompostagem	37
3.3.2.1	Principais características das minhocas da vermicompostagem.....	39
3.3.2.1.1	<i>Eisenia foetida</i>	40
3.4	COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM DE DEJETOS DE EQUINOS.....	42
4	MATERIAL E MÉTODOS	45
4.1	OBTENÇÃO DAS CAMAS DE EQUINOS SATURADAS	45
4.2	PRÉ-COMPOSTAGEM.....	49
4.2.1	Montagem das leiras de pré-compostagem	49
4.2.2	Monitoramento das leiras de pré-compostagem	51
4.3	VERMICOMPOSTAGEM E MONITORAMENTO DO PROCESSO.....	55
4.4	COMPOSTAGEM E MONITORAMENTO DO PROCESSO	59
4.5	ANÁLISES LABORATORIAIS	60
4.5.1	Umidade, Série de sólidos e Teor de Carbono Total	61
4.5.2	Nitrogênio Total de Kjeldahl (NTK)	63
4.5.3	pH	66
4.5.4	Condutividade elétrica	66
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	67
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1	PRÉ-COMPOSTAGEM	68
5.1.1	Temperatura.....	69
5.1.2	Redução de volume e peso.....	72
5.1.3	Aspecto do material.....	74
5.1.4	Análises físico-químicas.....	75
5.1.4.1	pH e Condutividade Elétrica	75
5.1.4.2	Série de sólidos.....	77
5.1.4.3	Carbono Total, Nitrogênio Total e Relação C/N	79

5.2	VERMICOMPOSTAGEM	83
5.2.1	Temperatura.....	86
5.2.2	Redução de volume e peso.....	87
5.2.3	Aspecto do material.....	90
5.2.4	Análises físico-químicas.....	91
5.2.4.1	pH e Condutividade Elétrica.....	91
5.2.4.2	Série de sólidos.....	94
5.2.4.3	Carbono total, Nitrogênio total e Relação C/N.....	96
5.2.5	Análise estatística: Vermicompostagem.....	99
5.2.6	Comportamento das minhocas na vermicompostagem	101
5.3	COMPOSTAGEM.....	104
5.3.1	Temperatura.....	104
5.3.2	Redução de volume e peso.....	106
5.3.3	Aspecto do material.....	111
5.3.4	Análises físico-químicas.....	112
5.3.4.1	pH e Condutividade Elétrica.....	112
5.3.4.2	Série de sólidos.....	114
5.3.4.3	Carbono total, Nitrogênio total e Relação C/N.....	115
5.4	COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM	118
6	CONCLUSÕES.....	120
	REFERÊNCIAS.....	122

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da sociedade atual e de suas atividades produtivas crescem os impactos acometidos ao meio ambiente. Os resíduos sólidos apresentam-se neste contexto com relevante importância, visto que são inerentes à toda atividade, principalmente as de produção, quer seja na cidade, na indústria ou no campo.

As atividades de produção agropecuárias não fogem à regra e também produzem resíduos. O confinamento, criação de um maior número de animais no menor espaço possível, vem se tornando uma preocupação entre os produtores frente às novas e mais severas legislações ambientais. Os dejetos destes animais requerem atenção especial ao serem dispostos como resíduos, já que são ricos em alguns nutrientes que podem causar a contaminação do meio, dependendo dos modelos de produção e gerenciamento envolvidos. Em minúcias, isso significa que quanto mais inadequadamente são tratados e dispostos os resíduos sólidos desta atividade, maior a possibilidade de causarem impactos.

Assim, na busca por técnicas ambientalmente corretas para tratamento e destinação deste tipo de resíduo, a compostagem e/ou a vermicompostagem se destacam por resultarem em matéria orgânica mais estabilizada e serem técnicas de baixo custo de implantação e manutenção.

Muitos pesquisadores já demandaram esforços no estudo da aplicação dessas técnicas para os mais diversos tipos de resíduos, principalmente para dejetos bovinos, ovinos, caprinos, suínos e aves. Poucos estudos foram realizados para investigar a viabilidade da compostagem e vermicompostagem no tratamento de dejetos de equinos, mais especificamente para as camas de suas baias. A criação de cavalos apresenta como resíduo típico os dejetos e urina associados à cama utilizada para a forração das baias onde os animais permanecem. Diversos materiais são utilizados para tal finalidade, como: casca de arroz, sepilho, gramíneas, dentre outros, e precisam ser investigados para apontar qual apresenta melhor desempenho visando o tratamento posterior destes resíduos.

Apesar da criação de cavalos ser vista como atividade de lazer, o Brasil possui o terceiro maior rebanho equino do mundo, com mais de 5,5 milhões de cabeças (IBGE, 2013b), perdendo apenas para a China e o México. Deste modo,

estudos relacionados ao manejo dos resíduos resultantes desta atividade assumem significativa importância, em especial pelo seu caráter extensionista, como resposta e orientação aos criadores destes animais.

A caracterização química do produto final da compostagem e vermicompostagem de diferentes camas de equinos pode resultar em uma fundamentação técnica para que o produtor ou proprietário faça a escolha do material visando também seu gerenciamento após o uso.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o desempenho das técnicas de compostagem e vermicompostagem no tratamento de cinco tipos de cama de equinos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Monitorar as características físicas (temperatura e redução de volume e peso) e físico-químicas (pH, condutividade elétrica, série de sólidos, teores de Carbono Total e Nitrogênio Total e relação C/N) do processo de pré-compostagem das cinco camas de equinos saturadas;
- Monitorar as características físicas (temperatura e redução de volume e peso) e físico-químicas (pH, condutividade elétrica, série de sólidos, teores de Carbono Total e Nitrogênio Total e relação C/N) do processo de compostagem e vermicompostagem das camas de equinos saturadas;
- Verificar o comportamento e desenvolvimento das minhocas durante o processo de vermicompostagem das camas de equinos saturadas;
- Indicar vantagens e limitações das cinco camas e sugerir qual delas oferece as melhores condições para o tratamento de camas de equinos por meio das técnicas de compostagem e vermicompostagem.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CENÁRIO NACIONAL DA PECUÁRIA

A palavra pecuária deriva do latim '*pecus*', que significa cabeça de gado. Na prática, a pecuária representa o conjunto de processos técnicos utilizados na domesticação, produção e reprodução de animais, com objetivos econômicos, feita a campo (RODRIGUES, 2012). Dentre os grupos de maior representatividade pode ser citada a criação de bois, búfalos, cavalos, muares, cabritos, ovelhas, suínos e aves (INÁCIO et al., 2009). Praticada desde o período Neolítico (Idade da Pedra Polida), quando o homem teve a necessidade de domesticar o gado para a obtenção de carne e leite, sua aplicação estende-se com representativas áreas de pastagens que compreendem mais de 20% do território nacional (aproximadamente 174 milhões de hectares) (ABIEC, 2013).

Dentre as diferentes maneiras de se ratificar a importância da pecuária nacional, a prosperidade econômica vem sendo mensurada pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) em convênio com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). Seus estudos analisam os valores do Produto Interno Bruto (PIB) do país considerando diversas vertentes, dentre elas o Agronegócio¹, a Agropecuária² e a Pecuária, de maneira a demonstrar seu desenvolvimento (Tabela 1). Como pode ser constatado, o retorno da atividade produtiva de criação de animais acompanhou o crescimento do PIB nacional. Como menciona Silva (2004), a pecuária vem se mostrando, nos últimos 20 anos, como uma atividade rentável e, sobretudo, segura. O crescimento de sua importância pode ser verificado na análise de que a atividade colocou no mercado, no ano de 2011, 57,5% a mais de capital no que se refere ao montante que dispôs em 1994.

¹ "O agronegócio é soma total das operações de produção e distribuição de suprimentos agrícolas, das operações de produção nas unidades agrícolas, do armazenamento, processamento e distribuição dos produtos agrícolas e itens produzidos a partir deles" (LIMA et al., 2006).

² O termo 'Agropecuária' transcreve a denotação de produção por meio da agricultura e/ou pecuária, bem como atividades extrativistas, sendo sua prática parte integrante da cadeia produtiva do agronegócio, descrito anteriormente. Sua ênfase está condicionada ao processo de produção com a finalidade principal de atender o mercado de alimentos e de matéria-prima, seja de origem vegetal ou animal (BACHA, 2009).

Tabela 1 – Valores do PIB do Agronegócio Brasileiro (de 1994 a 2011)

Ano	PIB Brasil	Agronegócio		Agropecuária		Pecuária	
	R\$ Milhões	R\$ Milhões	% (1)	R\$ Milhões	% (1)	R\$ Milhões	% (1)
1994	2.451.462,97	648.209,93	26,44%	155.194,52	6,33%	64.472,57	2,63%
1995	2.559.739,97	667.150,75	26,06%	159.056,63	6,21%	68.307,06	2,67%
1996	2.614.787,15	656.323,84	25,10%	152.995,22	5,85%	62.748,92	2,40%
1997	2.703.044,01	650.522,76	24,07%	150.819,92	5,58%	60.752,77	2,25%
1998	2.703.999,42	654.293,25	24,20%	160.223,09	5,93%	65.436,58	2,42%
1999	2.710.869,70	666.348,87	24,58%	160.040,89	5,90%	70.154,13	2,59%
2000	2.827.604,81	667.002,90	23,59%	158.668,92	5,61%	75.195,34	2,66%
2001	2.864.734,62	678.654,89	23,69%	165.961,68	5,79%	75.366,91	2,63%
2002	2.940.881,96	738.428,62	25,11%	185.714,07	6,31%	78.875,68	2,68%
2003	2.974.602,70	786.684,84	26,45%	207.673,48	6,98%	83.787,17	2,82%
2004	3.144.520,70	806.780,92	25,66%	205.879,74	6,55%	84.144,05	2,68%
2005	3.243.877,29	769.202,98	23,71%	185.805,41	5,73%	82.891,49	2,56%
2006	3.372.238,66	772.683,91	22,91%	181.846,30	5,39%	79.204,03	2,35%
2007	3.577.655,56	833.666,16	23,30%	204.000,51	5,70%	88.775,38	2,48%
2008	3.762.677,50	886.083,73	23,55%	233.931,35	6,22%	99.219,44	2,64%
2009	3.750.270,93	834.315,71	22,25%	217.416,04	5,80%	94.003,49	2,51%
2010	4.032.804,64	879.115,81	21,80%	238.856,30	5,92%	102.595,80	2,54%
2011	4.143.013,34	917.653,88	22,15%	264.274,49	6,38%	112.108,91	2,71%

(1) Referente ao PIB nacional.

Fonte: Cepea-USP/CNA (2013).

Organização: A autora.

O crescimento físico da pecuária dentro do cenário nacional também pode ser observado por meio de alguns estudos. Quinquenalmente, até 2006, e anualmente, a partir deste mesmo ano, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realiza o 'Censo Agropecuário', onde são coletadas informações a respeito de efetivo de rebanho, número e condições de estabelecimentos, características dos negócios realizados, como preços de vendas, importação e exportação, além de dados a respeito da especialização e tecnificação de mão de obra empregada, número de trabalhadores, entre outros. Por meio de seus resultados foi possível estruturar a Tabela 2, que demonstra a evolução do efetivo de rebanho brasileiro.

Tabela 2 – Efetivos de rebanhos do Brasil (em cabeças)

Ano	Tipo de Rebanho								
	Bovinos	Bubalinos	Equinos	Asininos	Muare	Caprinos	Ovinos	Suínos	Aves ^{(1) (2)}
1970	78.562.250	108.592	4.859.254	1.420.449	1.619.340	5.708.993	17.643.044	31.523.640	213.623
1975	101.673.753	209.077	4.740.464	1.228.654	1.419.689	6.709.428	17.486.559	35.151.668	286.810
1980	118.085.872	380.986	4.960.691	1.185.183	1.341.747	7.908.147	17.950.899	32.628.723	413.180
1985	128.041.757	619.712	5.693.041	1.121.011	1.269.279	8.207.942	16.148.361	30.481.278	436.809
1995	153.058.275	834.922	5.565.697	1.105.796	1.077.268	6.590.646	13.954.555	27.811.244	718.538
2006	205.886.244	1.156.870	5.749.117	1.187.419	1.386.015	10.401.449	16.019.170	35.173.824	819.893
2007	199.752.014	1.131.986	5.602.053	1.163.316	1.343.279	9.450.312	16.239.455	35.945.015	930.040
2008	202.306.731	1.146.690	5.542.182	1.130.639	1.313.563	9.355.014	16.630.408	36.819.017	990.992
2009	205.307.954	1.135.191	5.496.817	1.030.494	1.275.639	9.163.560	16.811.721	38.045.454	1.021.215
2010	209.541.109	1.184.511	5.514.253	1.001.587	1.277.419	9.312.784	17.380.581	38.956.758	1.028.151
2011	212.815.311	1.278.075	5.570.601	974.688	1.269.403	9.386.316	17.668.063	39.307.336	1.051.989

⁽¹⁾ Referem-se a galinhas, galos, frangas e frangos.

⁽²⁾ Mil cabeças.

Fonte: IBGE (2013a); IBGE (2013b).

Organização: A autora.

Quanto às demais informações, em síntese, a série histórica deste Censo vem demonstrando o crescimento da automatização do setor, com a implementação de sistemas de criação intensivos e contratação de menos pessoas, porém com maior conhecimento técnico. Observa-se que a tecnificação da mão de obra, bem como dos empreendimentos associados à pecuária nacional evoluiu, acompanhando tendências e tecnologias do setor. Na criação de bovinos, suínos, aves e equinos, as especializações ficaram por conta da melhoria nas condições de manejo, buscando uma diferenciação do produto final, geralmente a carne. Para o universo equino ainda vale destacar que as modificações agregaram também a genética animal e o desenvolvimento de plantéis de excelência como produtos (IBGE, 2013).

A avaliação a ser feita dos dados apresentados deve levar em consideração que a nova realidade requer uma estratégia de fortalecimento do ramo como um segmento que desempenha um papel relevante na economia. Assim, é necessário ampliar os investimentos a fim de que se encontrem melhores caminhos para a continuidade do crescimento.

3.1.1 Criação de equinos

A prática de criação de cavalos é conhecida por Equinocultura³. (RODRIGUES, 2012). Conforme já mencionado, o Brasil é reconhecido como potência mundial no agronegócio, sobretudo no elo da cadeia produtiva denominado 'agropecuária', mas Vieira (2011) ressalta que foi apenas recentemente que o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) classificou a 'equinocultura brasileira' como parte integrante da atividade pecuária em virtude de sua importância social e econômica.

“O desenvolvimento da ‘indústria equina’ em quase todo o país é algo tão notável, que continuar a considerá-la uma atividade zootécnica subalterna, ou pior, um ‘hobby’, revela acima de tudo profundo desconhecimento da realidade” (VIEIRA, 2011).

Tal afirmação vem de encontro à informação do site do MAPA, onde está descrito que o Brasil movimenta cerca R\$ 7,3 bilhões, somente com a produção de cavalos (BRASIL, 2013), respondendo por mais de 640 mil empregos diretos e 2,6 milhões de empregos indiretos, números bastante expressivos se comparados aos de outros setores da pecuária que tem participação econômica maior que as do agronegócio do cavalo (VIEIRA, 2011). É possível observar sua importância na citação que segue:

“[...] a base do chamado Complexo do Agronegócio Cavalo é responsável pela geração de 3,2 milhões de empregos diretos e indiretos. Quando o assunto é exportação de cavalos vivos, os números são significativos: a expansão alcançou 524% entre 1997 e 2009, passando de US\$ 702,8 mil para US\$ 4,4 milhões” (BRASIL, 2013).

Atualmente o Brasil possui o terceiro maior rebanho do mundo com cerca de 5,6 milhões de cabeças ficando atrás apenas da China (7,9 milhões de cabeças) e do México (6,3 milhões de cabeças) (GUERRA et al., 2012). Este efetivo de rebanho praticamente se estabilizou nos últimos anos no Brasil (IBGE, 2013b). A maior população nacional de equinos encontra-se na região Sudeste, mais especificadamente no estado de Minas Gerais (860 mil cabeças) (BRASIL, 2013).

³ Esta se difere da equideocultura, a qual abrange também a criação de asininos (asnos, burros, jumentos) e de seus híbridos com o cavalo: o bardoto (cavalo com jumenta) e a mula (jumento com égua) (BRASIL, 2013).

Outros estados que também se destacam são Bahia, São Paulo e Rio Grande do Sul (GUERRA et al., 2012).

Diferente de outras atividades agropecuárias, com estrutura de cadeia produtiva linear⁴, o agronegócio equino se expressa como “uma série de cadeias entrelaçadas, formando o que é denominado complexo agropecuário do cavalo” (VIEIRA, 2011). Esta constatação também é feita pelo MAPA que destaca que o setor contempla um “rebanho envolvendo mais de 30 segmentos, distribuídos entre insumos, criação e destinação final” (BRASIL, 2013).

Há algum tempo o cavalo já não é mais visto apenas como meio de transporte ou ‘animal de trabalho’ (principalmente no auxílio ao manejo bovino). Os equinos têm conquistado diferentes áreas de atuação e muito se fala em outros elos que contribuem com a prosperidade do setor. Dentre eles os mais significativos a serem citados são: as atividades de produção de insumos, alimentares e veterinários; os cuidados animais específicos, como consultas médicas frequentes e preocupação com o bem-estar animal; a pesquisa e desenvolvimento genético; as atividades financeiras altamente rentáveis (leilões, apólices de seguro, etc.); entre outros (LIMA et al., 2006).

Ressalta-se ainda, por exemplo, uma forte tendência de utilização do animal para lazer, esportes e terapia (VIEIRA, 2011), vertentes estas que impulsionam muitos dos outros elos. Estas tendências ficam bem caracterizadas nos estudos de Bergman et al. (1997) que destacam que a chegada dos esportes equestres e o aumento do número de “hotéis para cavalo”, principalmente próximos aos grandes centros urbanos, “possibilitou aos proprietários sem área rural adquirirem alguns poucos animais para lazer”. Isso justifica as constatações de Costa (2002) de que, no ano de 2000, mais de 40% dos associados da Associação Brasileira de Criadores de Cavalo Mangalarga Marchador possuíam de 1 a 5 animais registrados e de Procópio (2000) que comprovou que cerca de 70% dos proprietários possuíam menos de 10 animais. O expressivo número de proprietários de cavalos registrados infere que a finalidade de aquisição dos mesmos é para o esporte e o lazer (VIEIRA, 2011) e não para comercialização.

⁴ Cadeia de produção linear se refere ao sistema de produção com uma ordenação característica, sem outros elos intrínsecos, representados por: 1. Indústria de insumos; 2. Agropecuária; 3. Agroindústria; 4. Atacado; 5. Varejo; 6. Produtor final (LIMA et al., 2006).

Com todas estas constatações e com a observação da importância do cavalo nos âmbitos econômico e social, a criação de equinos fortifica-se nacionalmente em um plantel de qualidade e sobressalto na divisão de proprietários registrados.

3.2 RESÍDUOS DA PRODUÇÃO PECUÁRIA

Há na literatura várias definições para o termo 'resíduo agropecuário'. Para este trabalho foi considerada uma adaptação da versão escrita pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), apresentada por Sarmah (2009) onde se tratam de resíduos agropecuários os "subprodutos resultantes de operações inerentes à atividade da produção e colheita de culturas ou árvores e criação de animais".

A contextualização da preocupação com este resíduo se dá por meio do notável crescimento populacional e econômico mundial nas últimas décadas. Eles trouxeram consigo uma forte demanda por alimentos, fazendo com que os sistemas 'agros' (agrícolas, agropecuários e agroindustriais) aumentassem sua produção a fim de suprir o grande consumo da população (VALENTE et al., 2009). O desenvolvimento tecnológico e o incentivo aos empreendimentos deste setor fizeram com que os métodos intensivos de produção passassem a gerar toneladas de resíduos e dispersá-los no meio ambiente, geralmente sem nenhum tratamento prévio, como se este fosse seu destino natural (COSTA et al., 2009).

Ugwuanyi (2009) cita que com um aumento na escala dos problemas de meio ambiente e com mudanças de atitude social, a abordagem para os problemas de gestão de resíduos passou a ser prioritária. Sarmah (2009) apresenta o argumento de que apesar da quantidade de resíduos produzidos pelo setor agropecuário ser significativamente baixa em comparação aos resíduos gerados pelas cidades e indústrias, seu potencial de poluição é elevado quando observado em longo prazo. Isso se dá porque mesmo que a maioria deles seja de fácil biodegradabilidade há também a característica de conter quantidades significativas de nutrientes (por exemplo, nitrogênio e fósforo) que prejudicam o meio ambiente quando utilizados erroneamente.

Assim, os resíduos, em especial resíduos orgânicos e agrícolas, estão sendo progressivamente vistos como recursos que podem e devem ser reciclados em vez de eliminados (UGWUANYI, 2009). Frente a esta situação, a reciclagem e o uso agrônômico racional de resíduos são apresentados como opções para a solução do problema. Neste sentido, a compostagem se tem constituído como “alternativa viável, de baixo custo e sanitariamente eficiente na eliminação de patógenos de resíduos sólidos” (COSTA et al., 2009), além de propiciarem a geração de um composto estável, com características interessantes ao setor, e a valoração orgânica dos resíduos (OLIVEIRA, 2008).

Especificamente para a produção pecuária, diversos autores afirmam que sua intensificação de produção vem agravando problemas ambientais. Silva (2008) comenta que em uma propriedade (fazenda, granja, sítio ou chácara) deve-se “aproveitar intensamente tudo o que possa servir para a fertilização do solo”, em especial os dejetos, devido ao seu potencial que, se por um lado é poluidor, por outro pode ser transformador.

“(Este) resíduo quando não aproveitado diretamente na lavoura, tem sido depositado em áreas marginais das lavouras ou lançado nos cursos de água dos rios, constituindo prática ambientalmente reprovável. Esses depósitos inadequados constituem severa fonte de contaminação e um problema ambiental muito sério” (SILVA, 2008).

Vários trabalhos vêm sendo elaborados nos últimos anos com foco nos problemas decorrentes principalmente do inadequado tratamento de dejetos. A solução apontada por muitos deles, no entanto, é a mesma, sejam eles dejetos de bovinos (AQUINO et al. 1992; BATTIROLA et al., 1998; LAMIM et al., 1998; RODRIGUES et al., 2003; GONÇALVES, 2006; LOUREIRO et al., 2007; CASTILHOS et al., 2008; BARBIERI et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2009; SOUZA et al., 2010; CESTONARO et al., 2012; ORRICO JUNIOR et al., 2012), equinos (AIRAKSINEN et al., 2001; FLEMING et al., 2008; GOMES et al., 2008; TIAGO et al., 2008; PIRES, 2010; GARLIPP et al., 2011; KOMAR et al., 2011), suínos (ANDERSSON, 1996; OLIVEIRA, et al., 2006; CASTILHO et al., 2008), ovinos e caprinos (AMORIN, 2002; AMORIN et al., 2005;), de aves (BATTIROLA et al., 1998; VON ZUBEN, 2005; DINIZ FILHO et al., 2007; SANCHES, 2007; ORRICO JUNIOR et al., 2010), entre outros. Todos estes buscam uma solução ambientalmente correta

e economicamente viável para os produtores por meio das técnicas de compostagem ou vermicompostagem.

3.2.1 Resíduo da criação de equinos

Na criação de equinos, a produção de resíduos provenientes dos dejetos dos animais é bem específica e depende do tipo de manejo empregado pelas propriedades: método extensivo ou de estábulo (SCHUNK, 2010). No método extensivo os animais são criados soltos no campo e, por isso, seus dejetos são lançados no ambiente de maneira descontínua e distribuída. O potencial poluidor deste sistema é baixo visto que, por serem dispersas pequenas quantidades por área, a degradação dos dejetos é facilitada. Já o método de criação em estábulos, muito comum para pequenos proprietários, usuários de hotéis de cavalos, entre outras situações, difunde o problema de correta destinação das conhecidas ‘camas dos cavalos’ (Figura 1).



Figura 1 – Representação de uma cama de equino
Fonte: Haras Santo Graal⁵ e Blog Cavaleiros do Ariri⁶

Todo criador de equinos, ao iniciar uma criação, deve se preocupar com a sanidade e o bem-estar de seus animais para que eles desempenhem de forma natural sua função no trabalho (seja para lida, lazer ou esporte) (CARDOSO, 2010). A ‘cama do cavalo’ é um dos fatores que garantem que ambas as atenções estão sendo tomadas.

⁵ Disponível em: <http://www.harasantograal.com.br/cavalos.htm>.

⁶ Disponível em: <http://cavaleirosdocariri.blogspot.com.br/2012/aspectos-relacionados-com-cama.html>

“Uma boa cama deve ser macia, seca e plana e com boas propriedades absorventes, evitando o mau cheiro pela decomposição da urina e das fezes. Não deve ser úmida, se não concorrerá para o apodrecimento da rasilha e amolecimento dos cascos. A cama permite também nivelar melhor o chão, de maneira que o animal não se canse nem adquira apurmos viciosos. Uma cama suja ou mal cuidada pode facilitar o aparecimento de doenças e danos aos cascos, além de problemas respiratórios, pela forte presença de amônia, principalmente quando a urina não é bem drenada ou limpa” (ITAPEMA, 2011).

Dentre outras características, a cama precisa ter bom acolchoamento, de preferência não fazer poeira, não ser palatável nem abrasiva e, ainda, possuir absorvência (ORSOLINI, 2010). Diferentes materiais podem ser utilizados e a escolha deve ser baseada na disponibilidade regional, nos custos e na qualidade (ITAPEMA, 2011). Dentre os materiais disponíveis costuma-se procurar por resíduos de outras atividades, visando diminuir o custo ao adquiri-los. A maravalha, por exemplo, é o resíduo que estaria mais próximo da composição de uma cama ideal. Também são muito utilizados outros resíduos como o pó de serra, palha ou casca de arroz, bagaço de cana, além de materiais que não são resíduos propriamente ditos, como areia e pisos sintéticos de borracha.

Nunes (2009) defende em seu trabalho que:

“Uma forma de aproveitamento de esterco com urina de animais é colocar no piso do curral ou do estábulo uma camada de capim, folhas triturados ou outros resíduos agrícolas. Esse material receberá o esterco e a urina dos animais, o que enriquecerá o composto em nitrogênio e contribuirá para acelerar a fermentação de uma leira de compostagem, além de ser pisoteado diminuindo ainda mais o tamanho das partículas” (NUNES, 2009).

A Figura 2 mostra uma cama de equino saturada com dejetos, urina e sobras de dieta.



Figura 2 – Dejetos e sobras da alimentação dos equinos na cama

Fonte: A autora.

Uma alternativa para o tratamento deste resíduo é a compostagem ou a vermicompostagem, técnicas amplamente divulgadas nos últimos anos para a resolução do problema de destinação de dejetos animais em geral. Para as camas de equinos poucos são os estudos já realizados, porém os pioneiros vêm apontando que o material, quando tratado de maneira correta, demonstra características de interesse agrônomo, transformando-se em adubos de qualidade.

3.3 COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM – BASE CONCEITUAL

Landgraf et al. (2005) confirmam a importância da matéria orgânica no solo, destacando-a como componente essencial para qualquer ecossistema terrestre. Segundo os autores, qualquer alteração na abundância da matéria orgânica (MO) faz com que o solo perca em fertilidade e necessite de outros métodos para suprir sua deficiência.

“A matéria orgânica (MO) existente nos solos consiste em uma mistura de produtos animais e vegetais em vários estágios de decomposição, resultantes da degradação química, biológica e da atividade sintética dos micro-organismos. A MO é fonte de energia e nutrientes para os organismos que participam de seu ciclo biológico, mantendo o solo em estado dinâmico e exercendo importante papel em sua fertilidade,

[...]

A escassez de MO faz com que os solos tendam a ficar compactados, impedindo a permeação de água. A adição frequente de MO facilita a síntese de combinações orgânicas complexas que transformam partículas do solo em unidades estruturais chamadas agregados, os quais ajudam a manter o solo solto, em condição granular, facilitando a absorção de água pelas raízes e a provisão ininterrupta de oxigênio, pois permitem melhor troca de gases com a atmosfera. Assim, a MO melhora a aeração, a retenção de umidade e a proteção do solo” (LANDGRAF et al.,2005).

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos analisando a viabilidade de se empregar resíduos orgânicos (rurais, urbanos e até industriais) na composição de fertilizantes naturais, visando à reposição de componentes orgânicos no solo, dispensando ou diminuindo a aplicação de fertilizantes sintéticos (LANDGRAF et al., 2005). Entretanto, apenas sua disposição *in natura* no solo pode ser prejudicial. A saída, então, está no tratamento destes resíduos, transformando-os em materiais com características interessantes do ponto de vista agrônomo (EMBRAPA, 2012).

O tratamento de resíduos por meio de métodos microbiológicos é, provavelmente, tão antigo quanto à geração de resíduos em si, mas o conhecimento científico dos processos envolvidos em tais tratamentos é relativamente recente (UGWUANYI, 2009). Estes métodos são reconhecidamente propostos para transformar o resíduo em “formas mais interessantes ao solo” (LANDGRAF et al., 2005, p.80). Para isso, foram desenvolvidas algumas técnicas para processá-los, como a compostagem e a vermicompostagem.

3.3.1 Compostagem

A compostagem é definida por muitos autores como sendo um processo controlado de biodecomposição anaeróbica e exotérmica de um substrato orgânico biodegradável, por meio da ação de micro-organismos, com liberação de gás carbônico (CO₂) e vapor de água, produzindo, ao final, um produto estável, rico em matéria orgânica e mais humificado (KIEHL, 1985; KIEHL, 2004; FIALHO, 2007; MASSUKADO, 2008; INÁCIO et al., 2009). A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) salienta ainda que a técnica viabiliza a concepção deste produto estável com “atributos físicos, químicos e biológicos superiores (sob o aspecto agrônomo) àqueles encontrados na(s) matéria(s) prima(s)” (EMBRAPA, 2012).

A compostagem de resíduos orgânicos apresenta diversas vantagens ambientais dentre as quais podem ser destacadas: a decomposição de matéria orgânica potencialmente putrescível para um estado estável, a reciclagem de nutrientes, o aumento da vida útil de aterros sanitários e a redução na emissão de gás metano resultante de processos anaeróbicos de decomposição (MASSUKADO, 2008; INÁCIO et al., 2009). Massukado (2008) ainda ressalta em seu trabalho que tais vantagens serão alcançadas apenas se o processo ocorrer com controle adequado, isso porque o metabolismo dos micro-organismos envolvidos na compostagem é “extremamente sensível às variações”.

Fialho (2007) fideliza tal afirmação mencionando que quaisquer “modificações nas características físicas e químicas do meio [...] podem alterar a composição da microflora ou a atividade de degradação dos micro-organismos”. Todos estes dizeres são baseados em Kiehl (2004) que ressalta que tais alterações

são referentes principalmente a: temperatura, nível de oxigênio (aeração), umidade, relação C/N, tamanho das partículas, pH e micro-organismos. A disponibilidade de nutrientes e quantidade e qualidade do material compostável – matéria orgânica – também são pertinentes.

3.3.1.1 Parâmetros de controle do processo de compostagem

3.3.1.1.1 Temperatura

A compostagem caracteriza-se por ser um processo exotérmico de degradação de resíduos orgânicos, porque gera calor por consequência da atividade microbiana (BARREIRA, 2005). Assim, a temperatura é importante principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação do material e a eliminação dos possíveis patógenos presentes (FIALHO, 2007).

Para esta última colocação, a manutenção da temperatura elevada (50 e 75°C) no início do processo, bem como com um tempo de exposição suficiente, é fundamental para a desativação de algumas espécies (MASSUKADO, 2008). “Cada espécie microbiana tem uma temperatura ótima para o crescimento, em torno da qual ocorre sua multiplicação máxima” (FIALHO, 2007).

Kiehl (1985) destaca que existem faixas de temperatura que definem o predomínio de determinados grupos de micro-organismos, sendo eles classificados em: criofílicos (temperatura ambiente ~ 25°C), mesofílicos (algo em torno de 30-45°C) e termofílicos (acima de 50°C). Estes valores podem variar dependendo da combinação de resíduos. Kiehl (2004) ainda destaca que quando mantidas por longos períodos temperaturas superiores a 70°C torna-se reduzida a atividade dos micro-organismos. Já níveis em torno de 80°C resultam na paralisação do processo e risco de queima do material compostado.

Há algumas fases importantes da temperatura durante o processo de compostagem. Trautmann et al. (2005), Fialho (2007), Massukado (2008) e Inácio et al. (2009) concordam e referem-se a quatro fases (Quadro 1 e Figura 3).

1ª Fase: MESOFÍLICA / AQUECIMENTO

Fase que antecede e também sucede a termofílica. Nesta fase predominam temperaturas moderadas, entre 30 e 45°C. No início do processo ocorre a expansão das colônias de micro-organismos mesofílicos e a intensificação da ação de decomposição, liberação de calor e elevação da temperatura.

2ª Fase: TERMOFÍLICA

Trata-se de quando o material atinge a temperatura máxima (geralmente maiores que 55 °C, variando bastante). É neste momento que ocorre a degradação mais rapidamente, há formação de água metabólica e manutenção da geração de calor e vapor d'água. Esta fase tem tempo de duração de acordo com as características do material que está sendo compostado.

3ª Fase: MESOFÍLICA / RESFRIAMENTO

Esta é a fase de degradação das substâncias orgânicas mais resistentes. Há redução da atividade microbiana, queda da temperatura (para valores próximos a temperatura ambiente) e perdas mais intensas de umidade.

4ª Fase: MATURAÇÃO

É o período de estabilização que produz um composto maturado, altamente estabilizado e humificado, livre de toxicidade, que é denominado húmus. A atividade microbiana decai e o composto perde sua capacidade de "auto-aquecimento". Agora a decomposição ocorrerá a taxas muito baixas e prosseguirá quando o composto for adicionado ao solo, liberando nutrientes.

Quadro 1 – Síntese das fases da temperatura no processo de compostagem

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

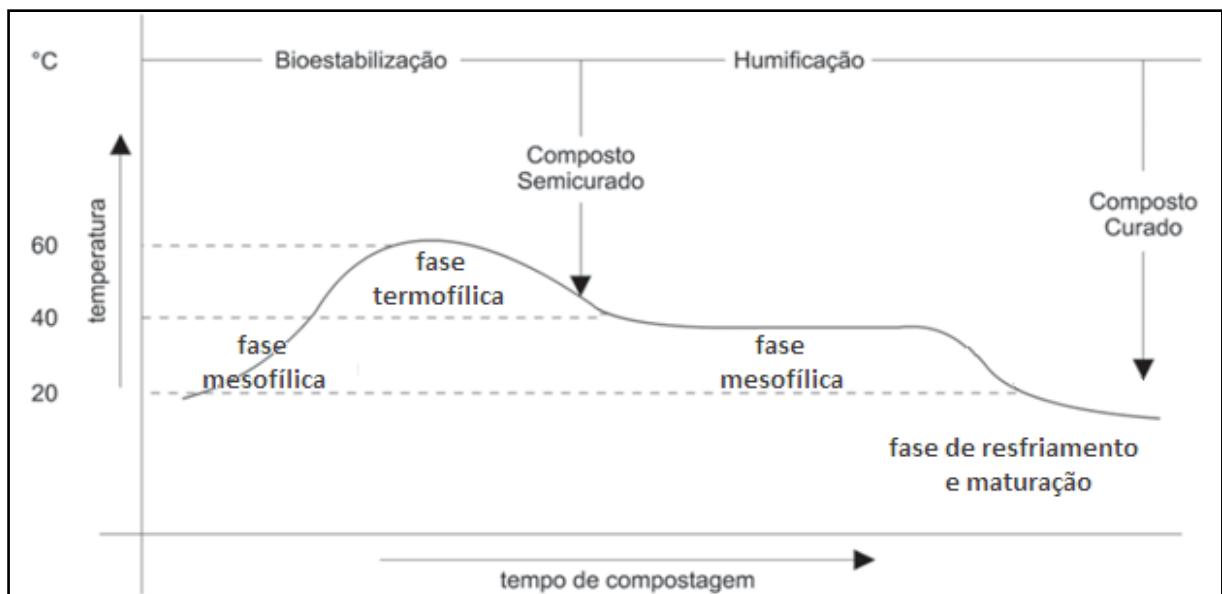


Figura 3 – Perfil idealizado da temperatura durante o processo da compostagem

Fonte: Adaptado de Barreira (2005).

A primeira fase da temperatura mesófila ocorre no início da compostagem, durando poucos dias, fornecendo condições necessárias para que o processo se inicie (MASSUKADO, 2008). Os micro-organismos mesofílicos presentes neste fase utilizam de componentes solúveis e rapidamente degradáveis da matéria orgânica e propiciam um aumento gradativo na temperatura (BARREIRA, 2005). Com a elevação desta temperatura os micro-organismos mesofílicos tornam-se “menos

competitivos, dando espaço para a proliferação dos micro-organismos termofílicos”, atingindo-se assim a fase termofílica.

Segundo Andreoli et al. (2001), somente quando o substrato orgânico é em sua maior parte degradado é que a temperatura volta a decair (fase de resfriamento) e a população termofílica tende a ser desativada, fazendo com que a atividade biológica reduza significativamente e os micro-organismos mesofílicos voltem a se instalar. É neste momento que se inicia o processo de humificação e maturação da matéria orgânica.

Ressalta-se que os intervalos de temperatura que caracterizam as fases mesofílicas e termofílicas são variáveis e dependentes de outros fatores como a composição química do material a ser compostado, granulometria, dimensões da leira, disponibilidade de oxigênio, teor de umidade, entre outros (BARREIRA, 2005; MASSUKADO, 2008).

Por fim, a maturação é a última etapa da degradação do material na compostagem. Para este momento o oxigênio requerido é menor, a temperatura tem valor próximo à temperatura ambiente e há a mineralização da matéria orgânica. Nesta etapa o composto já apresenta propriedades físico-químicas e biológicas desejáveis à aplicação no solo e pode ser denominado ‘maturado’, propício para liberar nutrientes ao solo (KIEHL, 2004; MASSUKADO, 2008; INÁCIO et al., 2009,).

3.3.1.1.2 Nível de oxigênio - Aeração

A compostagem é um processo fundamentalmente aeróbico. Um ambiente aeróbico propicia uma decomposição mais rápida de matéria orgânica, sendo o oxigênio, então, um fator limitante para o processo (BARREIRA, 2005). Inácio et al. (2009) alegam que sob condições anaeróbicas as altas temperaturas não são alcançadas.

A aeração de uma leira de compostagem, segundo Fernandes et al. (1999), é responsável por atender principalmente aos objetivos de: aumentar a porosidade do meio, que sofre compactação natural devido seu próprio peso; diminuir o teor de umidade dos resíduos; expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas e também eliminar o calor excessivo do interior da leira, ou seja, controlar a temperatura do processo. Além disso, Kiehl (2004) ainda salienta que na presença

de oxigênio livre há ausência de maus odores e o tempo de degradação é mais rápido.

A quantidade necessária de oxigênio para a compostagem depende do estágio em que ela se encontra, sendo que nas primeiras etapas, de rápida degradação, verifica-se uma grande necessidade, e já nas etapas finais, com a redução da atividade microbiana, é observado uma menor necessidade de aeração (ANDREOLI et al., 2001).

Kiehl (2004), Barreira (2005) e Massukado (2008) afirmam que os revolvimentos devem ser feitos obrigatoriamente em algumas situações, como por exemplo, quando a temperatura estiver muito elevada (acima do 70°C), quando a umidade estiver acima de 55-60% ou quando há presença de moscas e maus odores. Porém, Kiehl (2004) ressalta que em condições de aparente normalidade (de temperatura e umidade), que não se tenha realizado revolvimento a um período considerável, é indicado fazê-lo para que se introduza ar rico em oxigênio e se libere o ar saturado de gás carbônico. Assim, a proposição de intervalos pré-fixados para o revolvimento também é válida. O mesmo autor ainda diz que as partes da leira que devem merecer maior atenção durante o revolvimento são as mais externas, expostas ao sol e ao vento, mais frias, ressecadas.

3.3.1.1.3 Umidade

O teor de umidade é um fator importante a ser controlado, pois é a água que promove o transporte de nutrientes dissolvidos que são imprescindíveis para as atividades metabólicas dos micro-organismos (FIALHO, 2007). O conteúdo ótimo de umidade varia bastante conforme as condições físicas iniciais do material de entrada, o tamanho das partículas e o estágio de decomposição no qual a leira já se encontra. Mesmo assim, a literatura sugere que o valor esteja entre 40-70% (KIEHL, 2004). Para valores acima disso, segundo Barreira (2005), “os poros no interior da matriz sólida começam a ser preenchidos com água livre, impedindo a difusão de oxigênio o que permite que condições anaeróbias se desenvolvam”. Entretanto, teores de umidade inferiores a 40% podem fazer com que a atividade biológica se reduza, retardando o desenvolvimento do processo (MASSUKADO, 2008).

“O excesso de umidade em uma leira de compostagem pode ser facilmente percebido pela exalação de odores característicos de condições anaeróbicas, como por exemplo, pela formação de gás sulfídrico (H_2S)” (BARREIRA, 2005). Além disso, há a formação de um líquido escuro com odor desagradável, denominado ‘chorume’, que escorre das pilhas do material em decomposição (SCHNORR, 2010). Quando a umidade está em excesso, há a necessidade de se fazer injeção de ar ou adicionar material seco. Já para a situação contrária, quando a umidade estiver baixa, “é necessário fazer a irrigação da leira, de preferência no momento do revolvimento para que a água seja distribuída por igual” (MASSUKADO, 2008).

Para determinar o grau de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem é possível utilizar alguns testes simples e rápidos que utilizam, por exemplo, a umidade como indicativo. Estes testes são importantes para a prática cotidiana de observação dos processos (KIEHL, 2004). O conhecido “teste da mão” permite avaliar e acompanhar o processo. De acordo com Schnorr (2010), ele consiste em “humidificar e esfregar um pouco do composto entre as palmas das mãos”, assim se o composto estiver pronto, deixará as mãos sujas soltando-se facilmente (Figura 4).

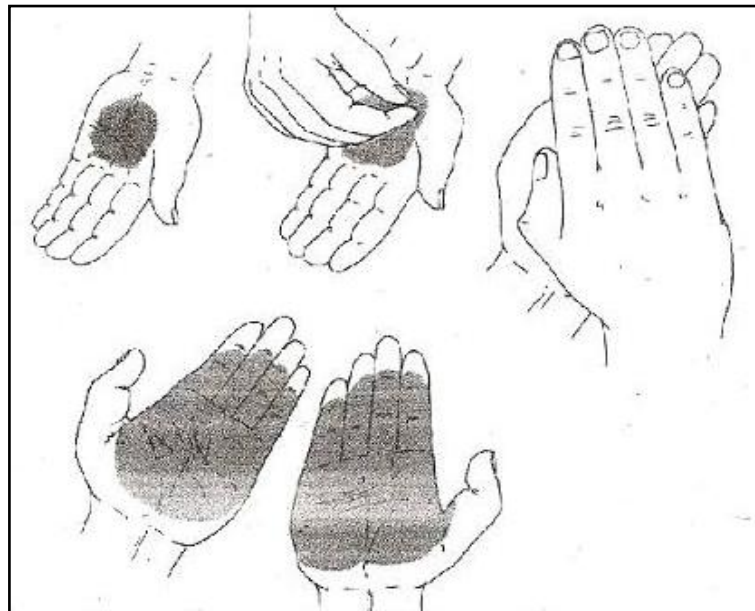


Figura 4 – Demonstração do teste da mão
Fonte: Kiehl (1985).

3.3.1.1.4 Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

A proporção entre Carbono e Nitrogênio é essencial quando se trabalha com compostagem. O primeiro é considerado como fonte de energia para os micro-organismos, enquanto o segundo é um elemento importante para a síntese de proteínas. Para o desenvolvimento da compostagem a relação recomendada entre estes dois elementos deve ser atendida, pois os micro-organismos degradam o carbono orgânico somente quando houver nitrogênio suficiente para seu crescimento (MASSUKADO, 2008).

No início do processo recomenda-se que a relação C/N esteja no entorno de 30/1, ou seja, trinta partes de carbono para uma de nitrogênio. Porém, na prática, são considerados valores entre 26/1 e 35/1 como favoráveis (KIEHL, 2004). Barreira (2005) reforça que ao final do processo tal relação deve decair chegando próxima a 10/1, indicando, assim, que material foi compostado.

No que diz respeito ao carbono vale ressaltar que os micro-organismos o absorvem para duas finalidades diferentes. Dez partes do carbono assimilado são imobilizadas – convertidas da forma mineral para orgânica (KIEHL, 2004) – e incorporadas ao protoplasma, enquanto que vinte partes são eliminadas na forma de gás carbônico (BARREIRA, 2005). Já o nitrogênio sofre mineralização (KIEHL, 1985). Na Figura 5 é possível observar a evolução da relação C/N durante o processo de compostagem.

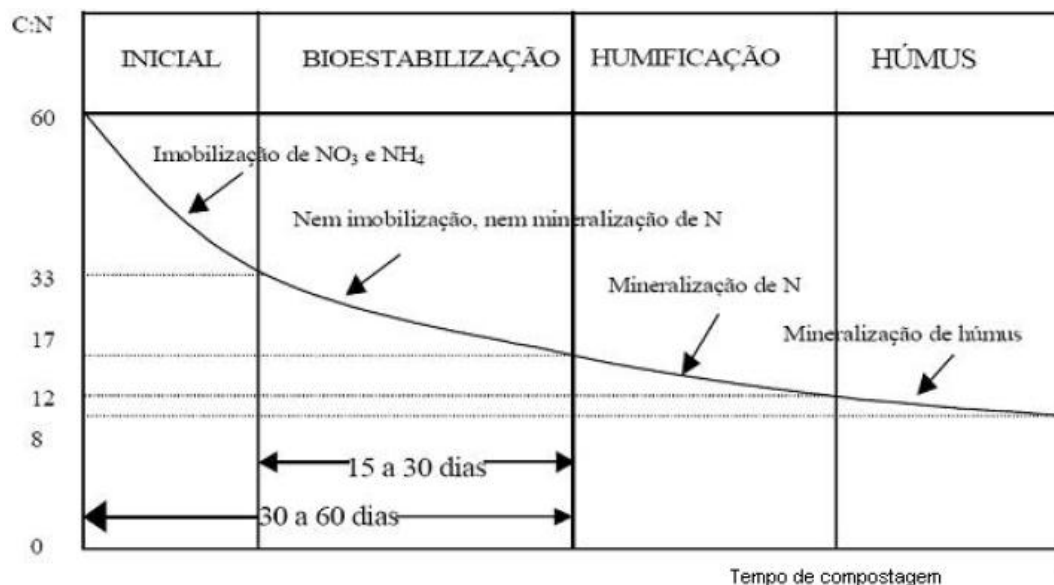


Figura 5 – Evolução da relação C/N durante o processo de compostagem
Fonte: Kiehl (1985).

A decomposição do material compostado depende da estrutura molecular de cada material. Materiais que são ricos em carbono (tais como, resíduo de poda, capina e serragem) degradam mais lentamente do que resíduos ricos em nitrogênio (MASSUKADO, 2008). O Quadro 2 resume, para os diferentes intervalos de C/N, os problemas e as consequências para o processo de compostagem.

Relação C/N	Problema	Consequência
Acima de 50/1	Deficiência de nitrogênio	Tempo de maturação mais prolongado.
Próximos a 30/1	Não há	Tempo de maturação ideal, caso outros fatores sejam atendidos.
Menores que 10/1	Perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia	Tempo de maturação reduzida – maturação incompleta. Odores desagradáveis (volatilização de amônia).

Quadro 2 – Problemas e consequências devido a diferentes intervalos de C/N durante o processo de compostagem
Fonte: Adaptado de Barreira (2005).

Assim, a relação C/N “constitui um parâmetro confiável para o acompanhamento da compostagem até se chegar ao produto acabado, humificado” (BARREIRA, 2005). Porém, para confirmação da fase final de decomposição Kiehl (2004) indica que sempre se deve constatar por dois ou mais parâmetros para uma maior confiabilidade.

3.3.1.1.5 Granulometria

Granulometria refere-se ao tamanho das partículas. Sua importância no processo está em reger o movimento de gases e líquidos na leira (KIEHL, 2004).

Para Kiehl (2004), quanto menor a partícula, maior a superfície de contato atacada por micro-organismos, o que conseqüentemente facilita a degradação do material. No entanto, partículas diminutas, que em tese seriam de mais rápida degradação, conferem problemas à leira quanto à aeração e à compactação, por impossibilitar a manutenção da porosidade (INÁCIO et al., 2009), causando anaerobiose na leira (BARREIRA, 2005). Segundo Bidone et al. (1999) a granulometria ideal para as partículas no momento de montagem da leira está compreendida entre 1 e 5 cm.

3.3.1.1.6 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Nos processos de compostagem pode ser observada uma grande variação do pH inicial dos resíduos, sendo encontrados valores de 3 até 11, conforme Diaz et al. (2007). A faixa ótima do pH para o processo de compostagem é entre 5,5 e 8. Relacionado a este parâmetro cabe mencionar que as bactérias preferem valores de pH neutros, enquanto que os fungos se desenvolvem melhor em ambientes mais ácidos (DIAZ et al., 2007).

Kiehl (1985) relata que no início da compostagem é observada uma redução do pH, mas com o decorrer do processo de degradação os ácidos minerais dão lugar aos ácidos orgânicos que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino.

O processo de compostagem pode ser prejudicado se o pH estiver com valores muito extremos (seja para mais ou para menos). Solos produtivos requerem um pH entre 6 e 7, intervalo este em que os macro e micronutrientes estão mais disponíveis. Quando os níveis de pH estiverem abaixo de 5, é provável que ocorra a redução da atividade microbiana, fazendo com que não se alcance a fase termofílica do processo (ANDREOLI et al., 2001). Já para valores altos de pH, acima de 10, há no processo a deficiência de micronutrientes e fósforo, além de perdas de nitrogênio por volatilização, devido à transformação do íon amônio (NH_4^+) em amônia (NH_3) (MASSUKADO, 2008).

3.3.1.1.7 Micro-organismos

Fialho (2007) afirma que a matéria orgânica é o habitat de vários micro-organismos e que estes utilizam de seus minerais, compostos orgânicos, água e oxigênio para crescimento e atividades metabólicas. Ela ainda cita que:

“A capacidade dos micro-organismos de transformarem a matéria orgânica depende de suas habilidades de produzir as enzimas necessárias à degradação dos substratos. Os componentes orgânicos biodegradáveis passam por etapas sucessivas de transformações, sob a ação de grupos diferentes de micro-organismos, resultando num processo bioquímico altamente complexo” (FIALHO, 2007).

Conforme Kiehl (2004) os principais micro-organismos presentes no processo da compostagem são bactérias, fungos e actinomicetos, porém outros organismos (não necessariamente na escala micro) como algas, protozoários, nematóides, vermes, insetos e larvas podem vir a aparecer também, dependendo principalmente das características do material compostado.

Nas leiras de compostagem, as bactérias têm a função de decompor açúcares, amido, proteínas e outros compostos de fácil decomposição, atuando principalmente na fase termofílica do processo e, por isso, são consideradas por alguns autores como as responsáveis pela liberação de calor. Elas possuem também uma vasta dieta devido à grande diversidade de enzimas que produz e sua reprodução é rápida, o que propicia ser o grupo mais numeroso presente no composto (de 80 a 90% dos bilhões de micro-organismos por grama de composto) (MASSUKADO, 2008).

Os fungos são menos numerosos, mas superiores em biomassa. São fundamentais por destruírem a celulose, facilitando a ação das bactérias. São os mais favorecidos quando o processo ocorre ou permanece em condições ácidas ($\text{pH} < 5$), conseguindo degradar resíduos mais secos ou pobres em nitrogênio. Os fungos destroem, sobretudo, o exterior da pilha, mas as hifas têm capacidade de colonizar também o interior devido ao seu crescimento vigoroso (FIALHO, 2007).

Já os actinomicetos, bactérias filamentosas semelhantes a fungos no aspecto, são afetados por condições ácidas. Também são importantes para a decomposição da celulose, hemicelulose, quitina e proteínas, podendo atacar madeira, cascas e papel. Uma característica muito ressaltada destes micro-organismos é a responsabilidade pelo odor de “terra fresca” quando próximo do final do processo (MASSUKADO, 2008).

3.3.2 Vermicompostagem

“A transformação da matéria orgânica, resultante da ação combinada das minhocas e da microflora que vive em seu trato digestivo, é conhecida como vermicompostagem” (AQUINO et al., 1992). A vermicompostagem é o processo de degradação biológica e humificação da matéria orgânica por meio da ação das minhocas e, sobretudo, da flora que vive em seu trato digestivo, micro-organismos

estes que potencializam a geração de compostos mais ricos em nutrientes assimiláveis pelas plantas (AMORIN, 2002; DORES-SILVA et al., 2011). Carlesso et al. (2011) complementam tal explicação dizendo que:

“[...] a vermicompostagem é um processo de enriquecimento do composto orgânico, conhecido como húmus de minhoca. [...] (as minhocas) ingerem materiais orgânicos no processo de decomposição e excretam matéria orgânica humificada, ou seja, um bioproduto. Para atingir a fase húmica num processo de compostagem [...] passa-se por um processo lento e delicado que depende de intrínseca combinação de materiais, umidade, temperatura e micro-organismos. Pode levar meses, ou até anos. [...] com o uso das minhocas no processo de vermicompostagem pode-se acelerar o processo de degradação dos compostos” (CARLESSO et al., 2011).

Dores-Silva et al. (2011) apontam que além desta melhora biológica significativa, outros fatores são potencializados pela ação das minhocas, como o revolvimento e a aeração do composto, bem como a trituração das partículas orgânicas que passam pelo seu trato digestivo, obtendo-se assim a maturação mais rapidamente.

A técnica de vermicompostagem pode ser aplicada diretamente na fração orgânica, porém Amorin (2002) ressalta que este procedimento pode resultar em uma série de problemas ao final do processo como a não sanitização do material, por exemplo. Contudo, o autor expõe que outra forma, melhor desenvolvida, é a aplicação da técnica sobre um material já previamente compostado. Assim, esta pré-compostagem promoverá a “higienização e a homogeneização do material”, tendo-se no início da vermicompostagem um pré-composto como matéria prima.

Uma das diferenças, no processo de produção, entre compostagem convencional e vermicompostagem está na redução da espessura da pilha. Godoy (2006) indica que a lâmina de material a ser vermicompostada deve ter uma espessura entre 10 e 40 cm, pois “uma camada muito fina favorece a perda d’água, enquanto que numa altura maior, a parte mais profunda não será convertida com facilidade, devido às minhocas detritívoras não terem o hábito de se aprofundarem muito no substrato”. Tal cuidado deve ser tomado também a fim de evitar que sejam atingidas temperaturas acima de 35°C, o que inviabilizaria a sobrevivência das minhocas (AQUINO et al., 1992). Além disto, a vermicompostagem dispensa o revolvimento do material orgânico, o qual é realizado pelas próprias minhocas.

3.3.2.1 Principais características das minhocas da vermicompostagem

As minhocas fazem parte do Filo *Annelida*, pertencem à classe *Oligochaeta*, e a ordem *Opisthospora*, da qual se destacam famílias como *Glossocolecidae*, *Lumbricidae*, *Megascolecidae*, com grande número de gêneros e espécies. Particularmente estas citadas são seres saprófitos, alimentam-se principalmente de detritos orgânicos em vários estágios de decomposição, também denominadas detritívoras (BORNHAUSEN, 2010). Com este hábito alimentar as minhocas utilizadas para a vermicompostagem habitam, preferencialmente, solos ricos em matéria orgânica, com substratos de origem vegetal ou animal (LOURENÇO, 2010).

As minhocas são seres denominados hermafroditas incompletas, ou seja, possuem órgãos reprodutores – tanto masculino, quanto feminino –, mas praticam a fertilização cruzada, necessitando que dois indivíduos adultos acasalem para que os ovos de ambos sejam fecundados (LOURENÇO, 2010). São seres com extremo desenvolvimento do sentido de tato, em detrimento aos demais (órgãos de sentido) serem pouco desenvolvidos. Não possuem olhos, porém tem aversão à luz ultravioleta, podendo ser fatal o contato em alguns casos (BORNHAUSEN, 2010).

A umidade é um dos parâmetros de maior importância para sobrevivência das minhocas. Devido sua respiração ser cutânea, são necessários valores adequados de umidade para que esta aconteça. Entretanto, cabe ressaltar que, por serem organismos aeróbios, em solos encharcados ocorre fuga para a superfície, não pela presença excessiva de água, mas pela falta de oxigênio no interior do solo (REICHERT et al., 2000).

A temperatura também é um fator de suma importância para o desenvolvimento de minhocas. Para valores abaixo de 15°C e acima de 40°C estes seres morrem rapidamente, devido à baixa de seu metabolismo. Em temperaturas abaixo de 0°C as minhocas congelam e morrem, visto que seu corpo é constituído majoritariamente por água (LOURENÇO, 2010).

Outros fatores que caracterizam um bom habitat para as minhocas de vermicompostagem são substratos nitrogenados, ligeiramente ácidos e que contenham significativas reservas de nutrientes (BORNHAUSEN, 2010).

3.3.2.1.1 *Eisenia foetida*

Uma das espécies mais comercializadas no Brasil é a *Eisenia foetida*, popularmente conhecida como a minhoca vermelha-da-califórnia, ou minhoca de esterco (Figura 6) (AQUINO et al., 1992). Segundo Amorin (2002) esta espécie de minhoca tem aceitado muito bem o confinamento e mostrado excelentes resultados na degradação de materiais orgânicos pré-compostados.



Figura 6 – Minhoca vermelha-da-califórnia
Fonte: Worm Watch⁷.

A *Eisenia foetida* é precoce, com crescimento, desenvolvimento e reprodução mais rápidos que as demais (Figura 7).

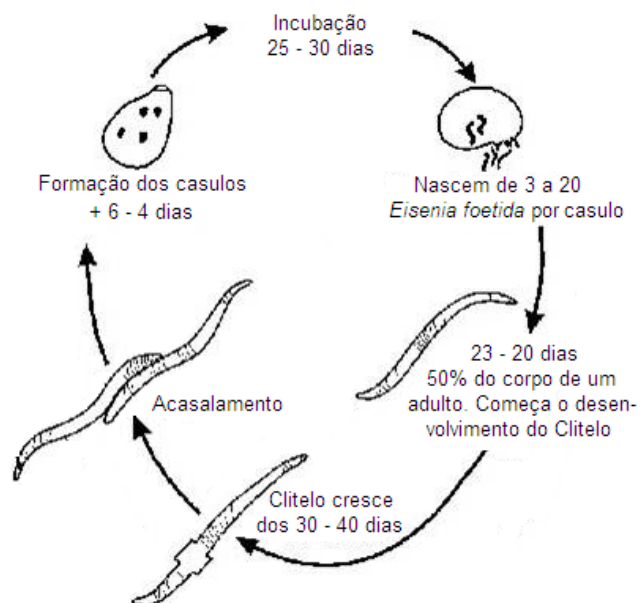


Figura 7 – Ciclo de vida da minhoca vermelha-da-califórnia
Fonte: Adaptado de Gestón de Recursos Naturales (2011).

⁷ Disponível em: www.naturewatch.ca/english/wormwatch/resources/key/about_key_efoe.html

É possível compreender pela figura e conforme explica Lourenço (2010) que o que caracteriza a puberdade da *Eisenia foetida* é o aparecimento e desenvolvimento do clitelo, uma espécie de cinta saliente localizada a um terço de seu comprimento. Segundo Bornhausen (2010) sua maturidade sexual ocorre dos 3 aos 18 meses de vida. Quando estão em temperaturas e demais condições favoráveis, estas minhocas são “procriadoras contínuas”, ou seja, se reproduzem o ano todo. Este tipo de minhoca, em particular, caracteriza-se também por originar uma grande quantidade de filhotes por vez (até 20 filhotes por casulo). Lourenço (2010) explica que após a fecundação, os ovos são incubados em um casulo que tem o formato de um grão e o tamanho de uma cabeça de alfinete – Figura 8.



Figura 8 – Casulo da *Eisenia foetida*.
Fonte: Environmentally – Friendly Worm Farm⁸ e Trinity Ranch⁹

Segundo vários estudos, ao decorrer de sua vida a minhoca vermelha-da-califórnia tem a capacidade de transformar o esterco ou o material orgânico em que vive em húmus com maior rapidez quando comparada a outras espécies de minhocas (SCHNORR, 2010). Kiehl (1985) afirma que o produto da digestão das minhocas, denominado coprólito, contém maior concentração de nutrientes que o solo. Isso acontece em virtude da mistura da matéria orgânica e das secreções intestinais das minhocas. Este material está em um estado de decomposição mais avançado e proporciona uma produção acelerada de ácidos húmicos. A humificação da matéria orgânica é, então, acelerada devido à ação das enzimas produzidas no tubo digestivo das minhocas, bem como da atividade de micro-organismos nele existente (bactérias, fungos, actinomicetos), os quais são estimulados antes de serem excretados (RODRIGUES et al., 2003).

⁸ Disponível em: http://www.happydranch.com/articles/Red_Worms.htm.

⁹ Disponível em: <http://mypeoplepc.com/members/arbra/bbb/id14.html>.

Para a sobrevivência das minhocas e o bom desenvolvimento vermicompostagem, deve-se proporcionar um ambiente adequado. As minhocas, por exemplo, não se desenvolvem bem em climas áridos, com precipitações pluviométricas inferiores a 370 mm.ano⁻¹ (KIEHL, 1985).

A Tabela 3 faz uma síntese dos parâmetros a serem controlados para o bom desenvolvimento da minhoca vermelha-da-califórnia e ainda expressa seus valores ótimos, adequados e críticos.

Tabela 3 – Síntese de alguns parâmetros importantes para o desenvolvimento da *Eisenia foetida*

Parâmetro	Nível Ótimo	Nível Adequado	Nível Crítico
Temperatura (°C)	25	20 – 30	< 5 / > 37
Umidade (%)	80 – 85	70 – 90	< 70 / > 90
pH	5 – 6	5 – 9	< 5 / > 8
Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	500 – 800	Até 1200	> 1200

Fonte: Adaptado de Edwards (2004) e Lourenço (2010).

3.4 COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM DE DEJETOS DE EQUINOS

Airaksinen et al. (2001) utilizaram lascas de madeira, serragem, palha longa, turfa, cânhamo e jornal picado como cama de equinos para caracterizar a influência dos mesmos na qualidade da compostagem com o esterco animal. Ficou constatado que em todos os tratamentos a temperatura da massa de compostagem superou 50°C mesmo com temperaturas externas abaixo de 20°C. Após isso as temperaturas declinaram para o nível de temperatura exterior (ambiente). Não foram evidenciadas diferenças significativas entre as curvas de temperatura de todas as caixas de compostagem nas profundidades de 10, 22 e 30 cm, o que indica atividade microbiana equiparável em todas essas camadas.

Fleming et al. (2008) ao estudarem os materiais e suas influências quanto à qualidade do ar nos estábulos, fazem a demonstração das relações C/N da mistura de esterco e urina idealizadas, dos materiais e da cama saturada depois de 14 dias. Tais informações norteiam para a inferência de que, em relação aos materiais estudados, a palha de trigo, o cânhamo e a palha misturada de diversas culturas são os melhores materiais para se iniciar a compostagem, visto suas relações C/N próximas ao idealizado pela literatura. Garlipp et al. (2011) também tiveram o

objetivo de analisar a influência do dejetos de equino adicionado a diferentes materiais de cama na geração de gases (amônia, óxido nitroso, dióxido de carbono, metano e vapor de água) em condições laboratoriais controladas. Os materiais de cama analisados foram palha (trigo e centeio) e aparas de madeira. Os resultados mostraram que as palhas, tanto de trigo quanto de centeio, pressupunham um bom início de processo de compostagem. Outra resposta constatada foi quanto à grande diminuição do teor de carbono total sofrido pela palha de centeio entre os dias 1º e 20º, mas a uma redução significativa na relação C/N entre os dias 1º e 15 ocorreu apenas no substrato de aparas de madeira. Por fim, o pH de todos os materiais os colocavam como aptos a serem compostados. Tudo isso demonstra correlação com o exposto por Fleming et al. (2008), visto que ambos os estudos trataram a palha residual das camas como bons materiais a serem compostados.

Gomes et al. (2008) trabalharam diretamente com a compostagem, mais precisamente com a determinação da composição química do composto proveniente do procedimento aplicado ao esterco equino e leucena (leguminosa fixadora de nitrogênio), em diferentes proporções. Como resultados, o estudo demonstrou que neste caso quanto maior a proporção de esterco, melhores são os teores de elementos químicos e a redução de volume.

Tiago et al. (2008) visaram verificar a quantidade de bactérias e fungos em diferentes esterco (dentre eles o equino) e vermicompostos produzidos, bem como o efeito destes vermicompostos usados como adubo sobre a comunidade de bactérias e fungos de um substrato hortícola. Em análises laboratoriais, o esterco equino foi o que apresentou os maiores valores de relação C/N, matéria orgânica e carbono orgânico (25,8/1, 74,77% e 41,54%, respectivamente). A pequena quantidade de micro-organismos totais (bactérias + fungos) – $2,4 \times 10^6$ UFC.g⁻¹ – no esterco equino se deve, possivelmente, ao alto teor de carbono orgânico que torna este esterco mais resistente à decomposição (SOUTO et al., 2005). Após o processo de vermicompostagem, chamou a atenção o vermicomposto de dejetos de equino que apresentou uma grande quantidade de fungos ($9,01 \times 10^6$ UFC/g), se comparada com os demais, isso possivelmente pela alta relação C/N.

Na ocasião dos Jogos Pan Americanos do ano de 2010, uma parceria entre a Escola de Equitação do Exército e a Embrapa Solos possibilitou o desenvolvimento da compostagem como método de tratamento de dejetos dos mais de 130 cavalos participantes da competição. Segundo Pires (2010) foi construído um

pátio coberto de compostagem com 60m de comprimento e 10m largura, pé direito 3,5m, piso concretado com declividade de 1%, tudo para fomentar a correta utilização da técnica. As camas dos animais, de serragem, eram retiradas quando constatada a saturação. As leiras foram sendo formadas de acordo com a produção de dejetos nas baias e os revolvimentos eram feitos de maneira mecanizada a cada 2-3 dias. Conforme a necessidade, as pilhas eram regadas. As temperaturas registradas nas duas primeiras semanas chegaram a mais de 60°C; em alguns lugares específicos da leira, a 70°C, indicando plena atividade microbiana. Algumas áreas de queima até eram perceptíveis (Figura 9). Após isso, as temperaturas diminuía na chamada fase de estabilização do composto. Em alguns momentos foi necessário acrescentar aditivos às leiras, uma vez que a relação C/N da serragem é expressivamente elevada, ocasionando falta de nitrogênio. A uréia (fertilizante nitrogenado) foi a solução encontrada pelos envolvidos no trabalho. Por fim, com uma média de três a quatro meses, foi constatado 60-70% de redução de volume das leiras. Um composto de coloração escura, cheiro agradável, material homogêneo e rico em nutrientes possibilitou inferir a correta manipulação do processo. Segundo Pires (2010) “a inserção da compostagem nos sistemas de produção institucionais demonstrou ser uma opção tecnológica mais nobre na utilização dos resíduos orgânicos considerados inúteis em unidades hípcas”.



Figura 9 – Trabalho de compostagem realizado durante os Jogos Pan Americanos
Fonte: Pires (2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram adotadas as metodologias propostas por Kiehl (1985) para a compostagem, e Amorim (2002) para a vermicompostagem, com algumas adaptações. Conforme recomendado por Lazcano et al. (2008), para que a vermicompostagem apresente melhores resultados uma etapa de pré-compostagem deve ser adotada. Deste modo, o trabalho contou com uma etapa de pré-compostagem, seguida de compostagem e vermicompostagem conduzidas separada e simultaneamente. A Figura 10 esquematiza o modelo de trabalho adotado.

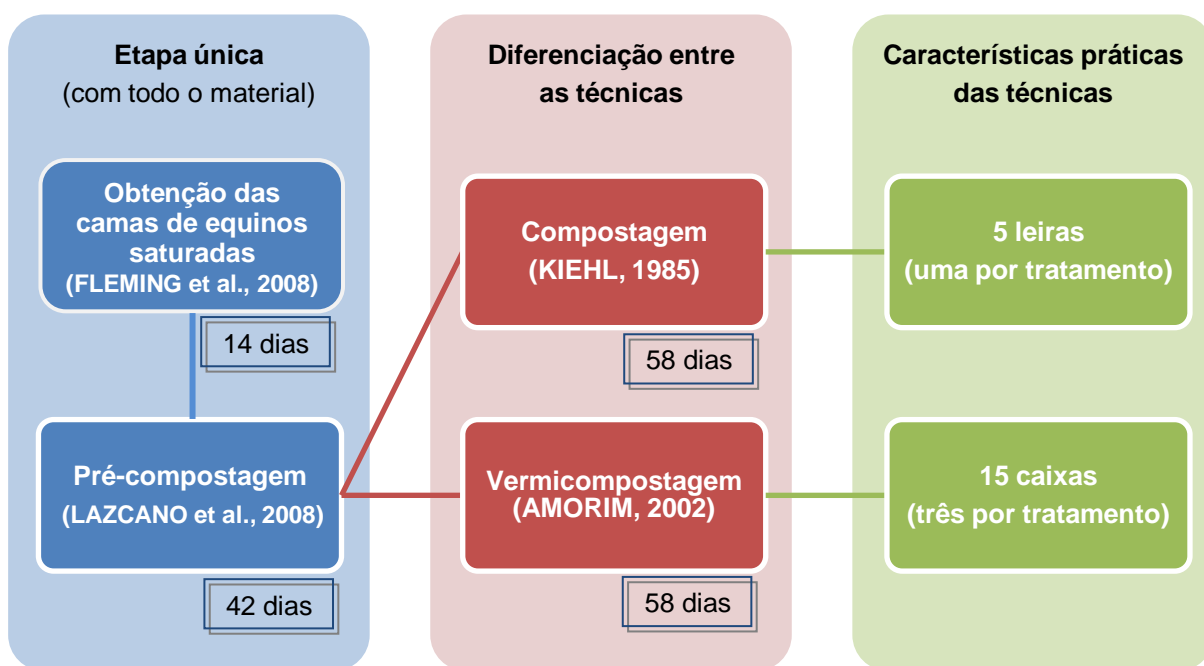


Figura 10 – Etapas do experimento em campo

Nota: A indicação de 'dias' ressalta o tempo de duração das respectivas fases do estudo.

Fonte: A autora.

4.1 OBTENÇÃO DAS CAMAS DE EQUINOS SATURADAS

A primeira etapa do estudo foi a obtenção do resíduo sólido orgânico derivado de um estábulo. O local escolhido para a colocação das camas para saturação foi o Recinto de Rodeio da APAE de Sertanópolis/PR, que atualmente

está sob a responsabilidade do Sr. Josué Vasconcelos, arrendador do espaço. O recinto conta uma área total de um alqueire para a criação, trato, doma e prática de esportes equestres, além de um barracão para eventos e shows. A Figura 11 mostra a localização do espaço.



Figura 11 – Localização do Recinto de Rodeio da APAE de Sertãozinho/PR
Fonte: Google Maps.

Os substratos escolhidos para compor as camas de equinos foram resíduos de diversas atividades:

- Casca do café – pergaminho do grão (beneficiamento da cultura);
- Casca de arroz (beneficiamento da cultura);
- Sepilho (resíduo da produção madeireira); e
- Brachiaria (resíduo de capina).

A casca de café e a casca de arroz foram adquiridas com proprietários rurais do município de Sertãozinho/PR, prática costumeira do arrendador do recinto. O sepilho, por sua vez, foi doado por uma serralheria também do próprio município. Teve-se o cuidado de retirar partes maiores que pudessem oferecer desconforto aos

animais. Por fim, a brachiaria utilizada, da espécie *Brachiaria humidicola*¹⁰, foi aparada no próprio recinto, pensando-se na utilização de um resíduo orgânico ali mesmo gerado, que ainda não tem destinação correta. Esta brachiaria foi aparada com o tamanho de aproximadamente dez centímetros e seca ao sol por uma semana para se tornar o menos palatável possível aos animais.

Com os materiais, as camas foram confeccionadas da maneira que está representado na Figura 12.

As baias do estábulo correspondem a um espaço de 2,5 m x 2 m. Vale ressaltar que, para não comprometer o bem-estar animal, foi colocada uma cama com espessura mínima de 15 cm de altura.

Com o auxílio de um estudante de Medicina Veterinária foram selecionados cinco cavalos metabolicamente semelhantes. Para tanto, foram levados em consideração alguns fatores como: idade, peso, estrutura corpórea, atividades físicas praticadas diariamente, sanidade animal, entre outros. Aos cavalos foram disponibilizadas dietas iguais, com o intuito de minimizar a diferença que possa existir quando ao seu funcionamento fisiológico (quantidade de excretas – urina e fezes) e concentração de macro e micronutrientes.

Os cavalos foram colocados nas baias preparadas durante um período de quatorze dias, tempo este suficiente para a saturação da cama, segundo Fleming et al. (2008). A aplicação da dieta e o manejo diário das camas ficaram a cargo do responsável pelo espaço.

¹⁰ Diversos estudos comprovam que a *Brachiaria humidicola* configura-se como uma espécie de má qualidade para pastagem, especialmente pelos baixos conteúdos de proteína e de minerais e elevada concentração de oxalatos, sendo considerada potencialmente tóxica para os animais, dentre eles bovinos, ovinos, caprinos, bubalinos e equinos. A *Brachiaria humidicola* responde por ser a causa da fotossensibilização hepática nas espécies (SCHENK et al., 1991; BARBOSA et al., 2006; SANTOS et al., 2008).









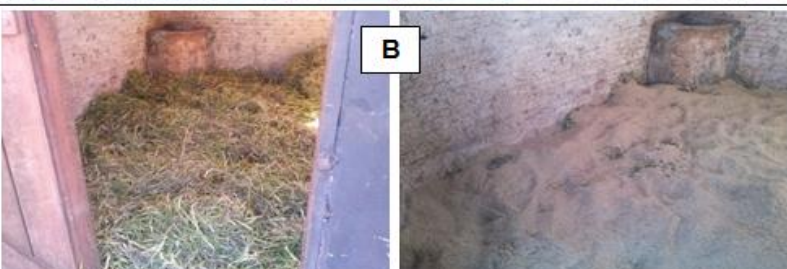
<p>1ª baia Casca de café</p>	<p>A</p> 	<p>B</p> 
<p>2ª baia Sepilho</p>	<p>A</p> 	<p>B</p> 
<p>3ª baia Casca de arroz</p>	<p>A</p> 	<p>B</p> 
<p>- Brachiaria</p>	<p>A</p> 	
<p>4ª baia Brachiaria + Sepilho</p>	<p>B</p> 	
<p>5ª baia Brachiaria + Casca de arroz</p>	<p>B</p> 	

Figura 12 – Confeção das camas de equinos

Nota: A – foto de caracterização do aspecto inicial dos materiais; B – foto do momento de montagem das camas.

Fonte: A autora.

4.2 PRÉ-COMPOSTAGEM

4.2.1 Montagem das leiras de pré-compostagem

Após 14 dias, retirou-se toda a cama das baias. Neste momento foi realizada a homogeneização do material e coletadas as amostras para determinação inicial da relação C/N de cada resíduo a ser pré-compostado. Foram montadas cinco leiras, uma para cada cama, constituindo assim os seguintes tratamentos:

- T1 – Cama de equinos saturada confeccionada com casca de café;
- T2 – Cama de equinos saturada confeccionada com sepilho;
- T3 – Cama de equinos saturada confeccionada com sepilho + brachiaria;
- T4 – Cama de equinos saturada confeccionada com casca de arroz;
- T5 – Cama de equinos saturada confeccionada com casca de arroz + brachiaria;

Padronizou-se o volume para a montagem das leiras trapezoidais, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Volume e peso das leiras de pré-compostagem montadas

Característica	TRATAMENTOS ⁽¹⁾				
	T1	T2	T3	T4	T5
Volume inicial (em m³) ⁽²⁾	0,363	0,363	0,363	0,363	0,363
Peso inicial (em kg) ⁽³⁾	58,2	50,1	43,4	37,4	44,9

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Volume obtido pelo método da cubicagem (recipiente de 11 L).

⁽³⁾ Peso na base seca.

O aspecto inicial das leiras montadas pode ser observado na Figura 13. As leiras foram dispostas lado a lado e os espaços para revolvimento foram previstos, conforme mostra a Figura 14. Sua alocação foi sob uma estrutura com cobertura de plástico firme, com 8 m de comprimento por 4 m de largura e 2,5 m de altura. O local contou também com revestimento de lona no chão, para evitar o contato direto do material a ser compostado com o solo.



Figura 13 – Leiras montadas para a pré-compostagem

Nota: T_i – indicação do tratamento; (a) – vista do local de montagem.

Fonte: A autora.

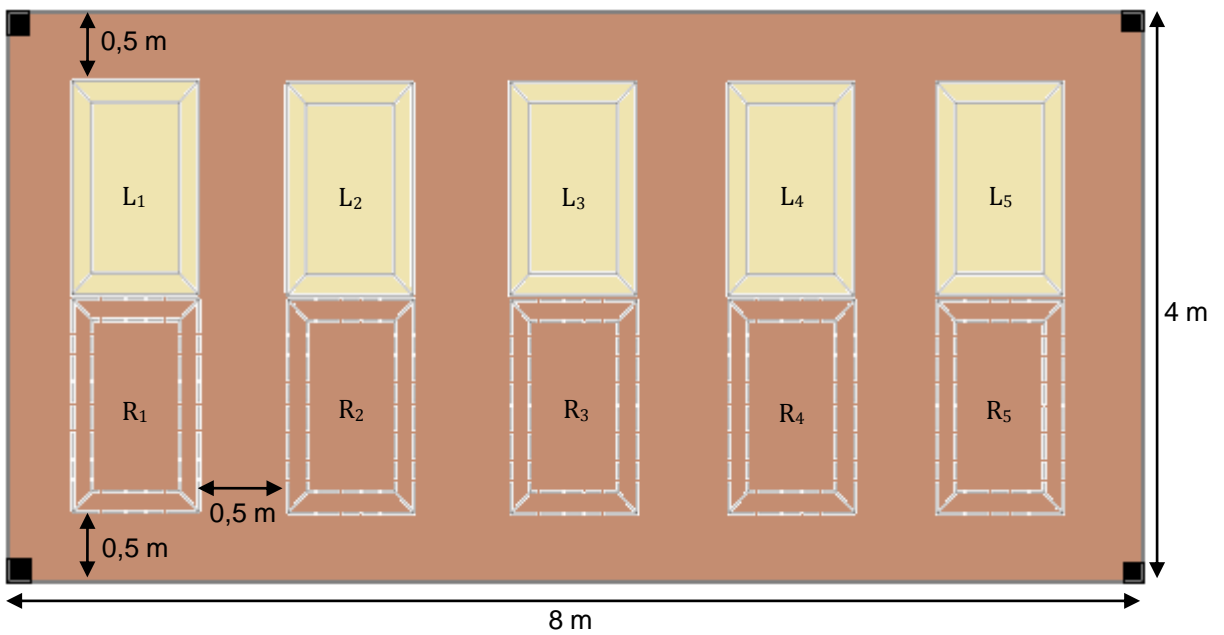


Figura 14 – Esquema de alocação das leiras

Nota: Em tracejado, espaços destinados ao revolvimento.

Nota: L_i – Leira; R_i – Revolvimento.

Fonte: A autora.

4.2.2 Monitoramento das leiras de pré-compostagem

Para o monitoramento das leiras foram levados em consideração os parâmetros expostos no Quadro 3, conforme frequência também indicada.

Parâmetro de monitoramento	Frequência	Local
Temperatura	Diário	<i>In loco</i>
Umidade aparente	Diário	
Aeração	Diário	
Redução do volume	Semanal	
Redução de peso	Quinzenal	
pH	Mensal	Em laboratório
Condutividade elétrica	Mensal	
Carbono total	Mensal	
Nitrogênio total	Mensal	

Quadro 3 – Parâmetros de monitoramento da pré-compostagem
Fonte: A autora.

A temperatura foi aferida com o auxílio de um termômetro tipo espeto da marca *Incoterm*[®] (Escala: -50°C a +300°C; Resolução: 1°C; Precisão: ±1°C; Comprimento do corpo: 9 cm; Comprimento da haste: 15cm / aço inox) (Figura 15-a). Além disso, foi instalado na estrutura onde as leiras se encontravam um Termohigrômetro para o monitoramento da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar (Figura 15-b).

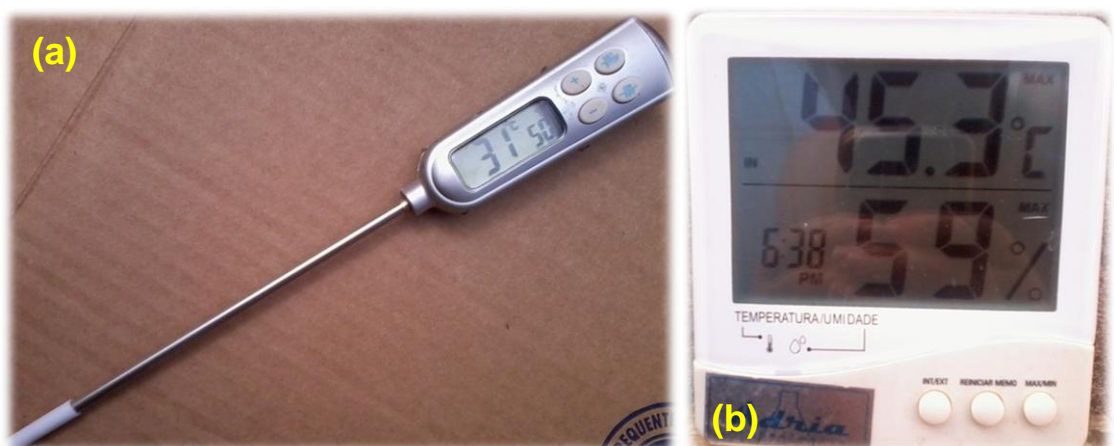


Figura 15 – Termômetro tipo espeto (a) e Termohigrômetro (b) utilizados no monitoramento
Fonte: A autora.

Sete foram os pontos de aferição na leira de pré-compostagem, sendo dois pontos em cada face do comprimento e um ponto nas demais faces (superior, na

frente e atrás). Os pontos de amostragem de temperaturas estão ilustrados na Figura 16. Os dados foram anotados em uma tabela semelhante à apresentada na Tabela 5.

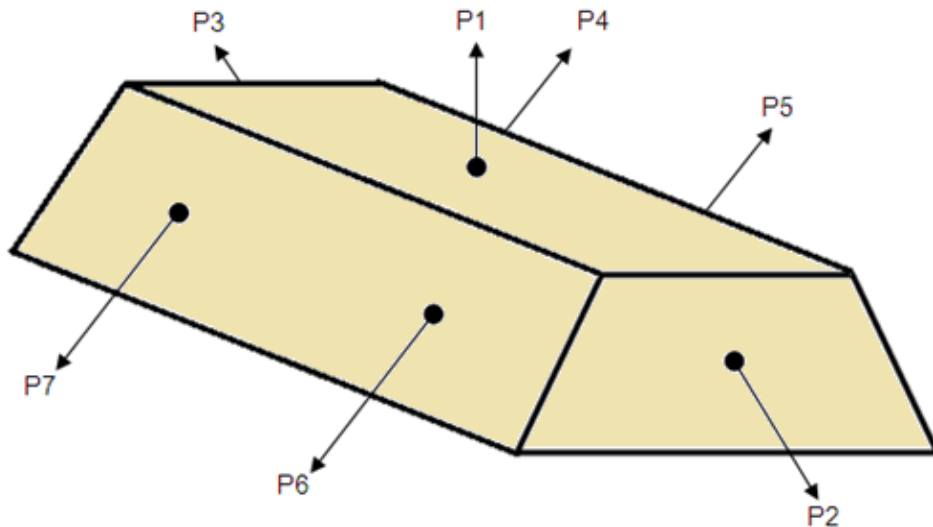


Figura 16 – Pontos de monitoramento da temperatura nas leiras de pré-compostagem
Fonte: A autora.

Tabela 5 – Modelo de planilha para anotação das temperaturas, adição de água, revolvimento e volume das leiras de pré-compostagem

TEMPERATURA	DIAS			
	1º dia (_ / _)	2º dia (_ / _)	3º dia (_ / _)	4º dia (_ / _)
Ambiente				
Ponto 1 (Superior)				
Ponto 2 (Frente)				
Ponto 3 (Trás)				
Ponto 4 (Dir. trás)				
Ponto 5 (Dir. frente)				
Ponto 6 (Esq. frente)				
Ponto 7 (Esq. trás)				
Média da Temp. (°C)				
Adição H₂O (L)				
Revolvimento				
Volume: Cubicagem				
Caixas completas				
Altura - caixa incompleta				

Fonte: A autora.

A umidade aparente das leiras era cotidianamente constatada pela sensibilidade do tato ao material – Teste de Mão, segundo Kiehl (2004), Nunes (2009) e Schnorr (2010). À leira era adicionada água com o auxílio de um regador sempre que verificada a necessidade. Ressalta-se que a quantidade de água colocada também era medida, com o auxílio de uma proveta de um litro.

Para a aeração das leiras realizou-se revolvimentos manuais, com o uso de uma enxada e uma pá (Figura 17). Objetivou-se estabelecer o período de três em três dias para efetuar o revolvimento, porém em alguns momentos este foi maior ou menor quando verificada a necessidade.



Figura 17 – Revolvimento da leira de pré-compostagem e umidificação
Fonte: A autora.

O volume foi monitorado pelo método da cubicagem. Um recipiente indeformável cuja área da base era conhecida foi adotado. Quantas vezes se faziam possíveis, o recipiente era preenchido e na tabela de anotações (Tabela 5) era adicionada uma marcação de 'Caixa completa'. Quando o volume de material ainda a ser considerado não era o suficiente para preencher a caixa por completo, a altura atingida pelo mesmo era verificada e anotada para cálculo posterior. O volume se dava pela somatória do volume da caixa completa com o volume mensurado da caixa incompleta. A Figura 18 mostra a caixa e a metodologia de cubicagem

adotada. Esta determinação foi realizada semanalmente nas três primeiras semanas e quinzenalmente após este período.



Figura 18 – Determinação do volume na pré-compostagem
Fonte: A autora.

A redução do peso foi monitorada utilizando uma balança e o mesmo recipiente utilizado para o monitoramento do volume, coincidindo seus dias de determinação. A massa do material adotada como resultado foi a massa seca. Para isso, após cada pesagem, uma amostra do material era levada ao laboratório para a determinação do teor de umidade.

4.3 VERMICOMPOSTAGEM E MONITORAMENTO DO PROCESSO

Após 42 dias da fase de pré-compostagem, parte do material das leiras foi transferido para os reatores de vermicompostagem (em triplicata, por tratamento). Os vermireatores possuíam as dimensões de 0,52 m x 0,32 m x 0,21 m (comprimento, largura e altura, respectivamente). Visando evitar a fuga das minhocas, bem como a retenção do material, os vermireatores foram previamente revestidos e cobertos com 'sombrite' (Figura 19).



Figura 19 – Modelo de caixa utilizada como vermireator
Fonte: A autora.

Em cada vermireator foi adicionado material o suficiente para preencher uma altura de 0,15 m. O mesmo foi pesado sem e com o composto para a obtenção do peso inicial do material, e uma amostra foi levada ao laboratório para a determinação do teor de umidade. A Tabela 6 apresenta os pesos e volumes iniciais dos vermireatores montados.

As minhocas utilizadas neste projeto foram da espécie *Eisenia foetida* (Figura 20), mesma espécie utilizada por Reichert (2000), Rodrigues et al. (2003), Amorim et al. (2005), Tiago et al. (2008), Oliveira et al. (2009) e Dores-Silva (2011). Foram introduzidas 24 minhocas por vermireator, valor este proporcional à metodologia proposta por Cestonaro et al. (2012).

Tabela 6 – Características iniciais dos vermireatores

Tratamento ⁽¹⁾	Repetição	Volume inicial (em m ³) ⁽²⁾	Peso inicial (em kg) ⁽³⁾
T1	R1	0,02496	3,8
	R2		3,6
	R3		3,6
T2	R1	0,02496	3,1
	R2		2,9
	R3		2,8
T3	R1	0,02496	3,0
	R2		3,2
	R3		2,8
T4	R1	0,02496	2,5
	R2		2,4
	R3		2,5
T5	R1	0,02496	2,4
	R2		2,4
	R3		2,7

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Volume obtido pelo método da cubicagem (vermireator preenchido com 15 cm de pré-composto).

⁽³⁾ Peso na base seca.



Figura 20 – Minhocas utilizadas na vermicompostagem
Fonte: A autora.

No momento em que as minhocas foram inseridas, os vermireatores foram deixados em uma área de piso impermeabilizado para averiguar se as mesmas não fugiriam (Figura 21-a). Pouco tempo depois foram encontradas várias minhocas no piso, em todos os tratamentos, mas em especial para o tratamento T1, onde mais de 80% das minhocas fugiram (Figura 21-b e 21-c).



Figura 21 – Reatores de vermicompostagem

Nota: (a) Vermirreatores colocados em piso impermeabilizado; (b) Detalhe das minhocas passando pelo sombrite; (c) Minhocas encontradas mortas fora dos vermirreatores.

Fonte: A autora.

Assim, após três dias, constatado que várias minhocas já haviam saído dos vermirreatores, decidiu-se por forrar o fundo das caixas com um plástico firme (Figura 22-a) e reintroduzir 24 minhocas em cada tratamento¹¹. No entanto, sua saída pelas laterais ainda era percebida. Realizou-se uma contagem sete dias após a primeira colocação e verificou-se, neste momento, que a quantidade de minhocas era inferior às inicialmente colocadas. Por fim, optou-se por revestir as caixas com TNT (Figura 22-b) e inserir novamente as 24 minhocas em cada caixa. A partir de então, não foi mais verificada a fuga das minhocas.

¹¹ Todas as minhocas foram retiradas, tratamento por tratamento, e recontadas para reintrodução.

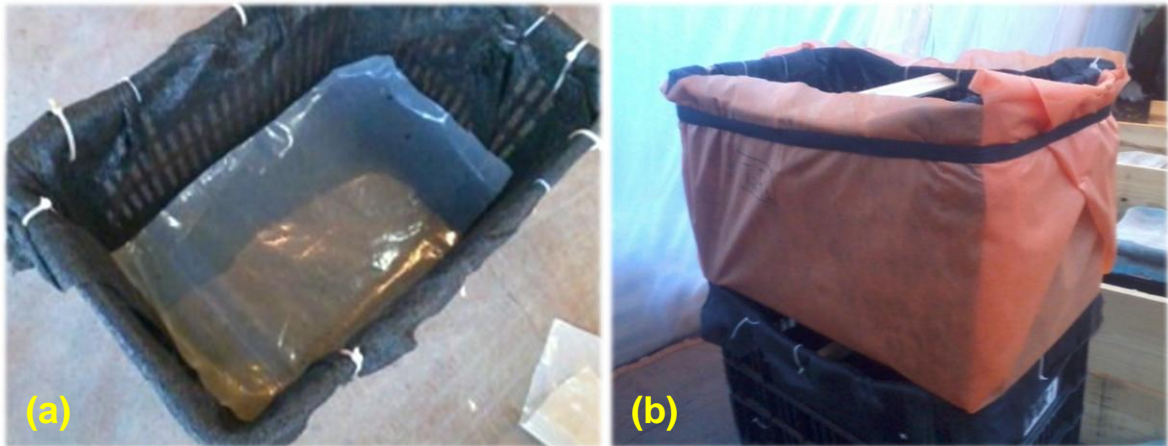


Figura 22 – Caixas de vermicompostagem forradas (a) e revestidas com TNT (b)
Fonte: A autora.

O monitoramento dos vermireatores foi realizado levando em consideração os mesmos parâmetros da pré-compostagem, exceto a aeração, uma vez que esta passa a ser de responsabilidade das minhocas presentes (DORES-SILVA et al., 2011). Além disso, realizou-se a contagem de minhocas. Para o parâmetro de temperatura, os pontos de monitoramento estão demonstrados na Figura 23. Para o monitoramento do volume, também foi adotada a cubicagem, porém feita no próprio vermireator, observando-se a variação da altura do composto no mesmo. Uma observação importante é que esta medição era feita após as contagens, assim que feita a recolocação do material no reator. Deste modo, minimizava-se a diferença de volume propiciada pela ação mecânica das minhocas de perfazer espaços vazios no substrato (afofamento do material).

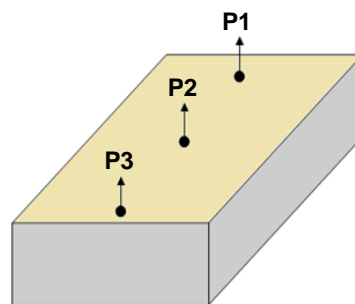


Figura 23 – Pontos de monitoramento da temperatura nas caixas de vermicompostagem
Fonte: A autora.

Na Figura 24 apresenta-se a frequência com que foi realizada a contagem de minhocas para averiguar seu comportamento nos diferentes materiais (fuga, morte ou aumento da população, por exemplo). Tal contagem foi realizada com a retirada do material dos reatores, sobre uma superfície limpa, para permitir a catação

manual das minhocas. Também foi observada a presença de ovos ou indivíduos jovens, verificando se a reprodução estava ocorrendo no material.

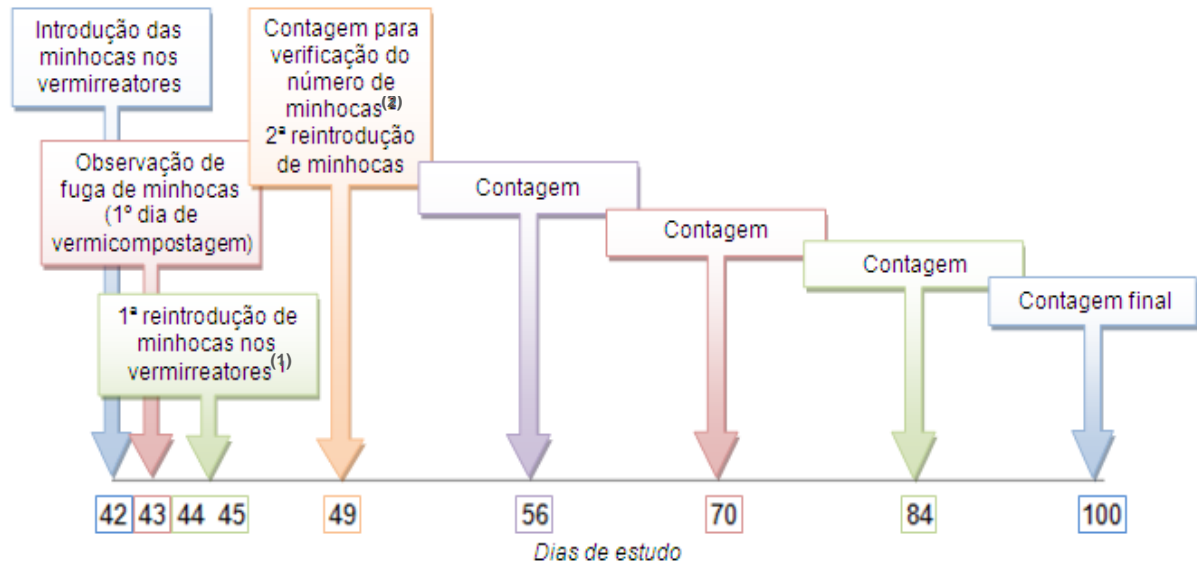


Figura 24 – Contagens de minhocas (linha do tempo)

(¹) Colocação de plástico firme para conter a umidade do vermicompostor.

(²) Colocação de TNT para evitar a fuga das minhocas pelas laterais do vermicompostor.

Fonte: A autora.

4.4 COMPOSTAGEM E MONITORAMENTO DO PROCESSO

Após a retirada do material necessário para a vermicompostagem, o restante foi novamente colocado em forma de leira para prosseguir com o processo da compostagem. O monitoramento foi realizado segundo os mesmos parâmetros da pré-compostagem. Temperatura e umidade aparente continuaram a ser observados diariamente. Os revolvimentos passaram a ser semanais. O volume e o peso do material foram determinados pelo método da cubicagem e pesagem (peso seco), respectivamente, apenas no início e no final do processo. A Tabela 7 apresenta as características iniciais das leiras de compostagem.

Tabela 7 – Características das leiras de compostagem montadas

Característica	TRATAMENTOS (¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
Volume inicial (em m ³)	0,1713	0,2247	0,1599	0,2267	0,2151
Peso inicial (em kg) (¹)	21,5	28,9	22,7	25,2	23,6

(¹) T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria;

(²) Peso na base seca.

Fonte: A autora.

4.5 ANÁLISES LABORATORIAIS

As amostras coletadas durante todo o experimento foram levadas até o Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Londrina. A coleta seguia as recomendações de amostragem da NBR 10.007 (ABNT, 2004), sendo as amostras armazenadas em sacos plásticos identificados. A Tabela 8 sintetiza as análises feitas neste estudo nas etapas de pré-compostagem, vermicompostagem e compostagem.

Tabela 8 – Síntese das análises laboratoriais realizadas durante todo o processo

Análise	Pré-compostagem			
	Semana de análises	Nº de análises	Réplicas	Nº total de amostras
Série de sólidos	1 ^a , 5 ^a e 7 ^a	Três	Duplicata	30
Umidade	1 ^a , 5 ^a e 7 ^a	Três	Duplicata	30
Carbono Total	1 ^a , 5 ^a e 7 ^a	Três	Duplicata	30
Nitrogênio Total	1 ^a e 7 ^a	Duas	Duplicata	20
pH	1 ^a , 5 ^a e 7 ^a	Três	Duplicata	30
Condutividade elétrica	1 ^a , 5 ^a e 7 ^a	Três	Duplicata	30
Redução de peso	1 ^a , 3 ^a , 5 ^a e 7 ^a	Quatro	Simplex	20
Análise	Vermicompostagem			
	Semana de análises	Nº de análises	Réplicas	Nº total de amostras
Série de sólidos	9 ^a , 11 ^a , 13 ^a e 15 ^a ⁽¹⁾	Quatro	Triplicata ⁽²⁾	60
Umidade	9 ^a , 11 ^a , 13 ^a e 15 ^a	Quatro	Triplicata	60
Carbono Total	9 ^a , 11 ^a , 13 ^a e 15 ^a	Quatro	Triplicata	60
Nitrogênio Total	9 ^a , 11 ^a , 13 ^a e 15 ^a	Quatro	Triplicata	60
pH	9 ^a , 11 ^a , 13 ^a e 15 ^a	Quatro	Triplicata	60
Condutividade elétrica	9 ^a , 11 ^a , 13 ^a e 15 ^a	Quatro	Triplicata	60
Redução de peso	9 ^a , 11 ^a , 13 ^a e 15 ^a	Quatro	Triplicata	60
Análise	Compostagem			
	Periodicidade	Nº de análises	Replicas	Nº total de amostras
Série de sólidos	15 ^a ⁽¹⁾	Uma	Duplicata	10
Umidade	15 ^a	Uma	Duplicata	10
Carbono Total	15 ^a	Uma	Duplicata	10
Nitrogênio Total	15 ^a	Uma	Duplicata	10
pH	15 ^a	Uma	Duplicata	10
Condutividade elétrica	15 ^a	Uma	Duplicata	10
Redução de peso	11 ^a e 15 ^a	Duas	Duplicata	20

⁽¹⁾ A análise de caracterização do pré-composto trata-se da análise da 7^a semana mencionada na pré-compostagem.

⁽²⁾ Uma amostra para cada caixa.

Fonte: A autora.

A seguir estão descritos os métodos e procedimentos para cada um dos parâmetros analisados.

4.5.1 Umidade, Série de sólidos e Teor de Carbono Total

A análise de umidade, série de sólidos e teor de carbono seguiu o procedimento descrito pela *American Public Health Association* – APHA (1998). Inicialmente era necessário calcinar os cadinhos (em mufla, a 580°C, por meia hora). Após seu resfriamento, em dessecador, os cadinhos eram pesados em balança analítica e o valor obtido corresponderia à massa do cadinho (P_0), em gramas. Em seguida, a amostra *in natura* era adicionada e obtinha-se o somatório da massa úmida da amostra e a massa do cadinho calcinado (P_1). O material era colocado em estufa, a 105°C pelo período de 24 horas. Ao ser retirado era transferido para um dessecador, até pleno resfriamento, e novamente pesado. Obtinha-se assim a massa seca da amostra mais a massa do cadinho (P_2). A partir disso, o cálculo da umidade e dos sólidos totais se dava pelas fórmulas:

$$U (\%) = \frac{[(P_1 - P_0) - (P_2 - P_0)]}{(P_1 - P_0)} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- $U (\%)$ = umidade, em porcentagem.
- P_0 = massa do cadinho calcinado, em gramas;
- P_1 = massa úmida da amostra + massa do cadinho, em gramas;
- P_2 = massa seca da amostra + massa do cadinho, em gramas.

$$ST (\%) = \frac{(P_2 - P_0)}{(P_1 - P_0)} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- $ST (\%)$ = sólidos totais, em porcentagem;
- P_0 = massa do cadinho calcinado, em gramas;
- P_1 = massa úmida da amostra + massa do cadinho, em gramas;
- P_2 = massa seca da amostra + massa do cadinho, em gramas.

Dando sequência à análise era realizada a determinação dos sólidos voláteis. Tal método consiste na “determinação gravimétrica do CO₂ evoluído” e, conseqüentemente, na perda de massa de resíduo colocado à elevada temperatura

por determinado intervalo de tempo. Cunha-Queda et al. (2003) reconhecem o procedimento como 'Método da Mufla'. Considera-se a diferença de peso inicial (amostras secas a 105 °C por 24 horas) e de peso observado após a calcinação da amostra a temperaturas de 500-600°C por um determinado período de tempo (CARMO et al., 2012). Na prática, o material obtido na análise de umidade e sólidos totais foi colocado em forno tipo mufla e mantido à temperatura de 580°C por duas horas (Figura 25).



Figura 25 – Material em forno mufla para determinação de sólidos voláteis
Fonte: A autora.

Após este período o material era transferido para um dessecador, até o pleno resfriamento, e finalmente pesado em balança analítica, obtendo, assim, a massa de cinzas (P_3). Logo, os sólidos voláteis e fixos eram calculados a partir das equações 3 e 4:

$$SV (\%) = \frac{(P_2 - P_0) - (P_3 - P_0)}{(P_2 - P_0)} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- SV (%) = sólidos voláteis, em porcentagem;
- P_0 = massa do cadinho calcinado, em gramas;
- P_2 = massa seca da amostra + massa do cadinho, em gramas;
- P_3 = massa da amostra calcinada + massa do cadinho, em gramas.

$$SF (\%) = ST(\%) - SV(\%) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

- $SF (\%)$ = sólidos fixos, em porcentagem;
- $ST (\%)$ = sólidos totais, em porcentagem;
- $SV (\%)$ = sólidos voláteis, em porcentagem.

Ao submeter a amostra à temperatura de calcinação mencionada, a fração orgânica é volatilizada, restando para ser novamente pesada apenas a fração inerte. A porcentagem de SV representa, segundo Pereira et al., (2013), uma estimativa do conteúdo de matéria orgânica biodegradável no resíduo, enquanto que a porcentagem de sólidos não voláteis (SF) representa a matéria inorgânica ou mineral. Considerando que os SV são uma boa estimativa da matéria orgânica (MO) existente, foi possível inferir o teor de carbono orgânico (CO) e carbono total (CT) dos resíduos adaptando-se a metodologia proposta por Carmo et al. (2012). Considerando o expresso pelos autores, tais teores podem ser determinados por meio das equações de conversão de SV em CT (Equação 5) e SV em CO (Equação 6).

$$CT = (0,463 \times SV) - 0,550 \quad (\text{Equação 5})$$

$$CO = (0,425 \times SV) - 2,064 \quad (\text{Equação 6})$$

4.5.2 Nitrogênio Total de Kjeldahl (NTK)

Para a determinação de nitrogênio total foi seguida a metodologia de Malavolta et al. (1997), onde é utilizada a digestão sulfúrica, com o auxílio de um bloco digestor. Duas placas de Petri contendo amostra *in natura* eram secas por um período de 48 horas a uma temperatura de 50°C (Figura 26-a). Após este período, uma das placas era utilizada para maceração (Figura 26-b), enquanto a outra era utilizada para fazer a correção do cálculo da umidade da análise (colocada em estufa, 105°C por 24 horas). A partir da amostra macerada, pesava-se 0,2 gramas e colocava-se nos tubos digestores (Figura 26-c).



Figura 26 – Etapas da análise de Nitrogênio Total

Nota: A – amostras secando em estufa a 50°C, B – amostras maceradas e C – pesagem das amostras para colcação no tubo.

Fonte: A autora

Aos tubos com as amostra maceradas eram acrescidos 1 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), 2 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e 0,7 gramas de mistura digestora¹², nesta ordem. Dois tubos sem amostra também eram preparados (apenas com os reagentes) para obtenção do branco. Feitas as soluções, os tubos eram dispostos em bloco digestor (Figura 27), ligado inicialmente a 50°C. A cada meia hora a partir da colocação, a temperatura era elevada em 50°C, até que se atingisse 350°C, na qual a mistura permanecia digerindo por mais uma hora. Após este último período, os tubos eram deixados no bloco, em repouso, com o aparelho desligado, para resfriamento, por no mínimo 20 minutos.

¹² Mistura digestora – preparada com: 100 g de NaSO_4 + 10 g de CuSO_4 + 1 g de Selênio.

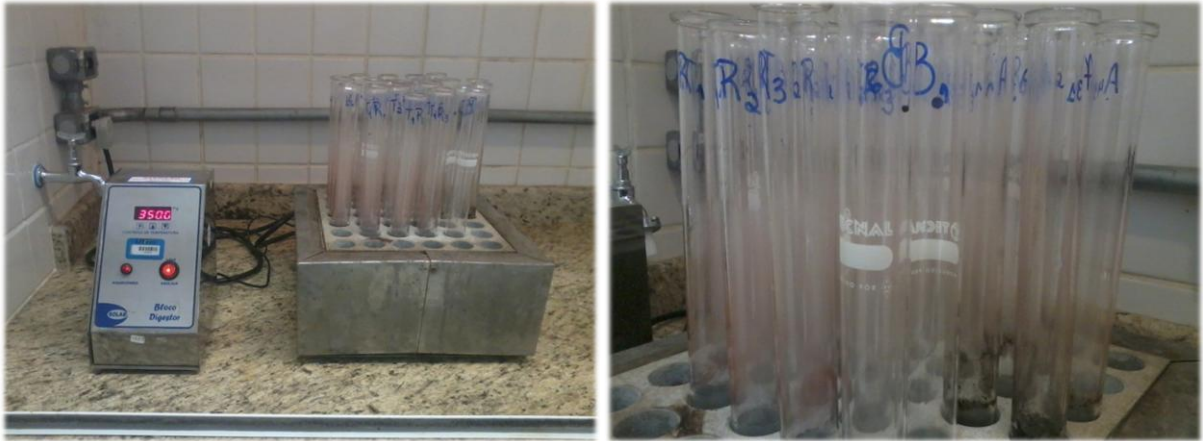


Figura 27 – Bloco digestor – análise de Nitrogênio Total
Fonte: A autora.

Feita esta digestão, utilizava-se um destilador de Kjeldahl (modelo micro-Kjeldahl) para a destilação das amostras. Antes da primeira destilação, era realizada a limpeza do equipamento, para garantir que vestígios de análises anteriores não interferissem nos resultados. Destilava-se então cerca de 15 mL de álcool para este fim. Entre as destilações de um tratamento e outro utilizava-se água destilada para a limpeza do equipamento.

Após a destilação das amostras, era realizada a titulação da solução coletada em um copo descartável, o qual anteriormente havia sido preparado com a colocação de 0,5 mL de ácido bórico. A solução deste ácido mais o produto da destilação era titulada com ácido sulfúrico ($0,0025 \text{ mol.L}^{-1}$) – Figura 28.



Figura 28 – Diferentes colorações durante as etapas da análise de NTK
Nota: A – ácido bórico; B – amostra destilada; C – amostra titulada.
Fonte: A autora.

A partir do volume de ácido sulfúrico gasto na titulação era possível realizar o seguinte cálculo para a determinação da porcentagem de Nitrogênio:

$$N(\%) = \frac{(V_{amostra} - V_{branco}) \times 0,7 \times (P^{-1})}{10} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

- $V_{amostra}$ = Volume de H₂SO₄ gasto na titulação da amostra;
- V_{branco} = Volume de H₂SO₄ gasto na titulação do branco;
- P = Peso da amostra macerada colocada no tubo descontada a umidade.

4.5.3 pH

Para a análise do pH foi utilizado um pHmetro de bancada com eletrodo de vidro, devidamente calibrado. O procedimento para análise foi descrito por Tedesco et al. (1995):

- 1) Pesar, aproximadamente, 10g do material dentro de um erlenmeyer de 250 mL, em balança analítica;
- 2) Adicionar 100 mL de água destilada com o auxílio de uma proveta;
- 3) Agitar em shaker por 30 minutos, a 160 rpm;
- 4) Deixar em repouso por 1 hora; e, por fim,
- 5) Determinar o pH no sobrenadante.

4.5.4 Condutividade elétrica

A partir da mesma amostra preparada para a determinação do pH, a condutividade elétrica do sobrenadante era obtida com o auxílio de um condutímetro devidamente calibrado (TEDESCO et al., 1995).

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística dos dados obtidos para a vermicompostagem utilizou-se o programa *SISVAR*[®]. Por meio do delineamento inteiramente casualizado, as análises de variância foram feitas a partir das reduções percentuais evidenciadas, por parâmetro analisado (C, N, relação C/N, volume e peso). O teste estatístico empregado para comparação de médias foi o teste Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PRÉ-COMPOSTAGEM

As características das camas saturadas são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Caracterização inicial das camas de equino saturadas

Tratamento ¹	Parâmetros				
	C _{Total} (%)	N _{Total} (%)	C / N	pH ²	C.E. ² ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)
T1	39,58	1,47	26,83 / 1	9,61	961,50
T2	39,67	1,24	31,84 / 1	9,30	1733,50
T3	40,51	1,17	34,53 / 1	9,40	1401,00
T4	36,55	0,89	40,95 / 1	9,47	1474,50
T5	42,32	1,13	37,39 / 1	8,44	824,00

Nota 1: T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

Nota 2: Em água destilada (pH da água destilada = 7,17; C.E. da água = 1,78 $\mu\text{S.cm}^{-1}$).

Fonte: A autora.

A partir desta análise é possível perceber que todas as camas apresentavam relações C/N próximas a 30/1, valor considerado ideal por Kiehl (1985). A maior diferença foi constatada para o Tratamento 4, e o fato pode ser explicado pelo baixo percentual de N (menor que 1%), o que propiciou a elevação na relação C/N. Os valores constatados estão próximos aos de Sbizarro (2013) – para compostagem de dejetos de ovinos e bovinos acrescidos de palha de cana de açúcar – e Tiago et al. (2008) – para vermicompostagem de esterco de equinos, bovinos e aves, separados e em consórcio, também utilizando palha como material fonte de carbono.

Quanto ao pH, todos os valores estavam bem próximos ao limite superior proposto por Kiehl (1985), que varia inicialmente na faixa de 4,5 a 9,5. Para a condutividade elétrica também foram observados valores elevados, considerando a faixa de 500 a 1200 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, ideal para o bom desenvolvimento das minhocas. Os resultados ratificam a afirmação de Lazcano et al. (2008) de que a pré-compostagem é essencial para a vermicompostagem. Com as características obtidas, não seria possível iniciar o processo direto com os vermireatores, uma vez que os valores de pH e C.E. estariam acima dos recomendados para a sobrevivência das minhocas.

5.1.1 Temperatura

Os perfis de temperatura dos tratamentos durante a pré-compostagem estão apresentados no Gráfico 1. Observa-se que todos os tratamentos chegaram à fase termofílica logo na primeira semana, com temperaturas próximas ou que ultrapassavam os 50°C. Para os tratamentos T1 e T2, esta fase teve duração média superior a 40 dias. Já para o tratamento T3 e T5, esta duração foi um pouco mais curta, por volta de 30 dias. O tratamento T4 permaneceu em temperaturas elevadas apenas por 15 dias. Os resultados estão em consonância com os trabalhos de Airaksinen et al. (2001) – que trabalhando com compostagem de diferentes tipos de camas de equinos constataram que nos primeiros 15 dias do processo todas as camas atingiram temperaturas elevadas (superiores a 50°C) – e Pires (2010) – que obteve temperaturas elevadas em leiras com cama de equinos, constatando grande atividade microbiana. Fialho (2007), Silva (2007) e Bernardi (2011) ressaltam a importância de temperaturas elevadas, como as atingidas no presente estudo, por acelerarem o processo de biodegradação do material, bem como promoverem a eliminação dos possíveis patogênicos presentes.

O tratamento T1, logo no segundo dia de processo, atingiu a máxima de 70°C, o que está de acordo com o indicado por Kiehl (1985) de que as leiras devem registrar temperaturas termofílicas até 24 horas após sua montagem. Durante todo o processo de pré-compostagem sua temperatura média manteve-se superior a 40°C, indicando elevada atividade microbiana. A duração das fases da compostagem, especialmente a termofílica, depende da natureza da matéria orgânica a ser compostada e da eficiência do processo, a qual é, dentre outros fatores, é determinada pelo grau de arejamento (TUOMELA et al., 2000). Deste modo, outro ponto importante a ser observado para este tratamento está relacionado com os revolvimentos. Todas as vezes que era realizada a aeração da leira, o material sofria elevação significativa de temperatura. Isso é explicado por Barreira (2009) e Inácio et al. (2009) quando os autores afirmam que um ambiente aeróbico propicia uma decomposição mais rápida da matéria orgânica e conseqüente acréscimo na temperatura pela plena atividade dos micro-organismos.

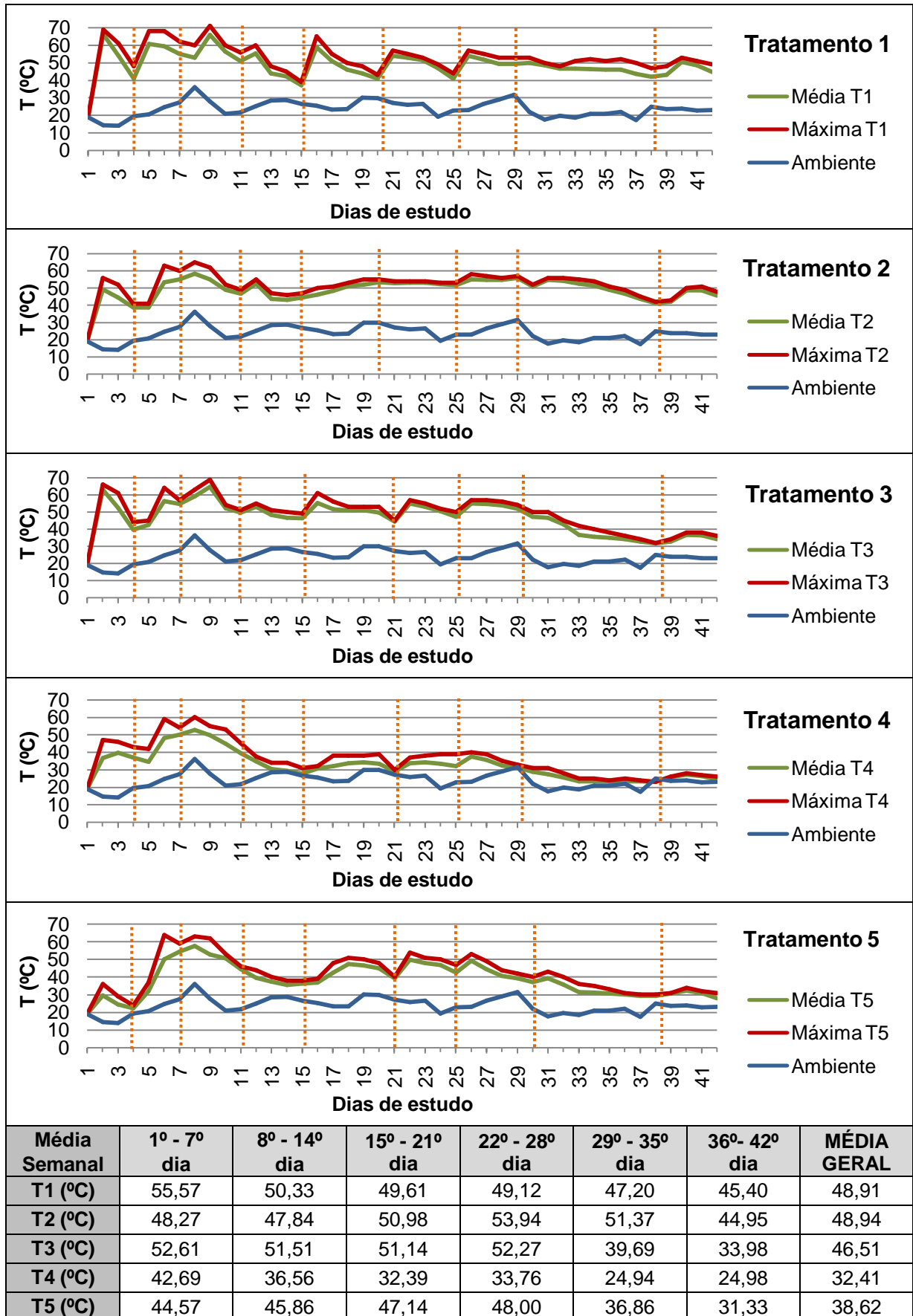


Gráfico 1 – Monitoramento da temperatura nos tratamentos durante a pré-compostagem

Nota: Linhas tracejadas (na vertical) indicam os dias em que foram realizados os revolvimentos.

Nota: Valores representam as médias dos pontos monitorados.

Fonte: A autora.

Os tratamentos T2 e T3, sepilho sem e com associação à brachiaria, respectivamente, apresentaram perfis de temperatura diferentes. Ambos atingiram temperaturas elevadas já no segundo dia de processo, mas o tratamento T3 alcançou em média 10°C a mais que o tratamento T2. Os intervalos de temperatura evidenciados nos 42 dias do processo de pré-compostagem apontaram que a temperatura de T2 variou entre os 40 e 65°C, enquanto o T3 variou de 30 a 70°C. Esta menor variação do T2 em relação ao T3 se deu possivelmente pelo fato do T2 apresentar-se mais compactado pelo peso do próprio material (FERNANDES et al., 1999). A brachiaria presente no tratamento T3 possibilitou uma maior aeração da massa a ser compostada o que, segundo Kiehl (1985), faz com que haja aceleração do processo de compostagem e picos de elevação da temperatura quando há a injeção de ar. Este auxílio propiciado pela brachiaria na aeração da massa a ser compostada também foi relatado por Rocha et al. (2012) em estudos de compostagem de resíduos de aviário (cama de frango e carcaças) acrescidos de casca de arroz e brachiaria como fonte de carbono. Os autores perceberam a boa aeração inicial da leira por conta do volume da brachiaria. Brito et al. (2008) também relataram que na compostagem da fração sólida do chorume, os tratamentos acrescidos com material volumoso (neste caso, palha de cevada) apresentaram maiores médias de temperatura.

Quanto aos tratamentos T4 e T5, confeccionados por casca de arroz sem e com brachiaria, respectivamente, observou-se diferenças expressivas. Para o tratamento T4, temperaturas acima dos 40°C foram evidenciadas apenas até o 12º dia de pré-compostagem. Já a média da temperatura da leira foi superior a 50°C apenas no 8º dia. Do final da segunda semana até o final da quarta semana a temperatura permaneceu quase que constante, com uma queda no 21º dia que foi compensada com o revolvimento, restabelecendo-se a média de 40°C. Após o 30º dia houve a estabilização e aproximação da temperatura do tratamento à temperatura ambiente. Estes resultados estão em consonância com Airaksinen et al. (2001) que, em estudo envolvendo compostagem com camas de equinos saturadas confeccionadas de cascas, obtiveram temperaturas abaixo dos 40°C após duas semana de compostagem.

Já o tratamento T5 começou com um comportamento de temperatura atípico, pois só após o primeiro revolvimento, no 4º dia de processo, foi que a temperatura elevou significativamente. No 6º dia, atingiu-se temperatura máxima de

65°C, com diminuição gradativa até atingir 40°C no 16º dia. Próximo ao 35º dia a temperatura também tendeu à estabilização, mas com temperaturas superiores à ambiente. Esse tratamento, associado com brachiaria, também apresentou temperaturas mais elevadas que o tratamento sem a presença do resíduo de capina (T4), devido à aeração causada pelo resíduo volumoso que auxilia na manutenção da ação microbiana aeróbia (Kiehl, 1985). Estes resultados estão de acordo com o que foi observado por Rocha et al. (2012) que realizaram compostagem de resíduos de aviário, casca de arroz e brachiaria. Os autores constataram maiores médias de temperatura do que as aqui evidenciadas, porém com o mesmo perfil quando correlacionado o tempo de processo. Também é possível notar que para os tratamentos T4 e T5 os revolvimentos culminavam em acréscimo na temperatura, o que está em consonância com o ocorrido nos trabalhos de Bernardi (2011) e Carneiro (2012).

De modo geral, os tratamentos T1 e T2 apresentaram a maior média geral de temperatura ao longo do processo de pré-compostagem, enquanto que T4 foi o tratamento com menor média geral.

5.1.2 Redução de volume e peso

Os resultados relacionados à redução de volume durante a pré-compostagem podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 – Redução de volume das leiras de pré-compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	TRATAMENTOS ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
Volume (m ³)	1 (1ª semana)	0,3630	0,3630	0,3630	0,3630	0,3630
	8 (2ª semana)	0,3580	0,3560	0,3237	0,3713	0,3580
	20 (3ª semana)	0,3142	0,3237	0,2894	0,3351	0,3084
	29 (5ª semana)	0,2589	0,3084	0,2513	0,3142	0,2970
	42 (7ª semana)	0,2361	0,3046	0,2285	0,3105	0,2894
	Redução ⁽²⁾		34,96%	16,08%	37,06%	14,05%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Redução da 7ª semana em relação a 1ª.

Fonte: A autora.

O tratamento T3 apresentou a maior redução de volume (37,06%), seguido pelos tratamentos T1 (34,96%) e T5 (20,27%), nesta ordem. A explicação desta

observação pode estar ligada ao fato de que os tratamentos T3 e T5 – 1ª e 3ª maiores reduções – apresentavam em sua composição a brachiaria, material volumoso que é de fácil degradação (ROCHA et al., 2012). Ressalta-se ainda que, uma vez acrescidos a resíduos diferentes, a redução total da leira teve interferência direta da degradação deste consorciado. Assim, a leira confeccionada com casca de arroz, material que permaneceu praticamente inalterado no processo, reduziu significativamente menos que a leira confeccionada também por sepilho. Já para o tratamento T1, as elevadas temperaturas, as quais demonstravam degradação ativa da massa, possibilitaram também a expressiva redução do volume.

O tratamento T4 apresentou a menor das reduções de volume, o que pode ser devido à dificuldade encontrada pelos micro-organismos em degradar elementos como a sílica, presente em grande quantidade na casca de arroz (MAYER, 2006; STEFFEN, 2008; DAROS, 2010; ABREU, 2011).

Outra constatação importante refere-se à maior redução de volume dos tratamentos T3 e T5 em relação aos tratamentos T2 e T4, respectivamente. Os primeiros possuem os mesmos resíduos que os segundos, porém acrescidos de brachiaria. Portanto, era esperado que nas primeiras semanas o volume da brachiaria fosse muito reduzido (ROCHA et al., 2012).

A redução de peso pode ser observada na Tabela 11.

Tabela 11 – Redução de peso das leiras de pré-compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
Peso ⁽²⁾ (kg)	1 (1ª semana)	58,22	50,06	43,45	37,40	44,90
	20 (3ª semana)	45,05	46,36	39,88	35,24	39,16
	29 (5ª semana)	38,10	43,84	33,96	34,45	35,79
	42 (7ª semana)	30,82	37,90	30,65	34,41	32,95
	Redução ⁽³⁾	47,06%	24,29%	29,45%	8,01%	26,61%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Peso na base seca

⁽³⁾ Redução da 7ª semana em relação a 1ª.

Fonte: A autora.

O tratamento T1 foi o que apresentou maior redução (47,06%) e o tratamento T4, a menor (8,01%). Para o tratamento T1 pode-se afirmar que a maior redução de peso foi por conta da maior degradação da matéria orgânica deste tratamento evidenciado pelas mais elevadas temperaturas apresentadas, consequência direta da intensa atividade microbiana. Por outro lado, a leira

confeccionada apenas de casca de arroz (T4), a qual teve as menores reduções de peso, teve um comportamento já esperado, devido aos relatos, na literatura, de baixa biodegradação do resíduo (MAYER, 2006; STEFFEN, 2008; DAROS, 2010; ABREU, 2011).

Outra inferência que pode ser feita é que a brachiaria auxiliou na redução de peso. Os tratamentos T3 e T5 demonstraram reduções maiores que os tratamentos T2 e T4, respectivamente. A explicação para tal fato pode estar relacionada à maior aeração das leiras, o que propicia um aumento da atividade microbiana e, por consequência, uma maior redução do peso.

5.1.3 Aspecto do material

Os materiais retirados das baias dos cavalos apresentavam aspecto bem característico dos resíduos utilizados em sua confecção. Após os 42 dias de pré-compostagem, os tratamentos T1, T2 e T3 já estavam bem descaracterizados (Figura 29). No tratamento T5, a brachiaria também não era mais perceptível. Porém, a casca de arroz dos tratamentos T4 e T5 não sofreram alterações visuais. A casca de arroz já havia sido constatada como de difícil degradação por Rocha et al. (2012). Mayer (2006) afirma que sua decomposição de modo natural pode demorar até cinco anos. Esta degradação lenta está associada à grande quantidade de sílica presente no material – cerca de 23% em massa (STEFFEN, 2008; DAROS, 2010).

Outro fator observado foi o bom aspecto das leiras de sepilho (T2 e T3). Após os 42 dias de desenvolvimento do processo o odor e a sensação ao tato estavam agradáveis, condizentes com os aspectos esperados para compostos orgânicos para uso agrônômico. Resíduos de madeira já haviam sido classificados como benéficos ao processo de compostagem por Airaksinen et al. (2001), Fleming et al. (2008) e Garlipp et al. (2011).

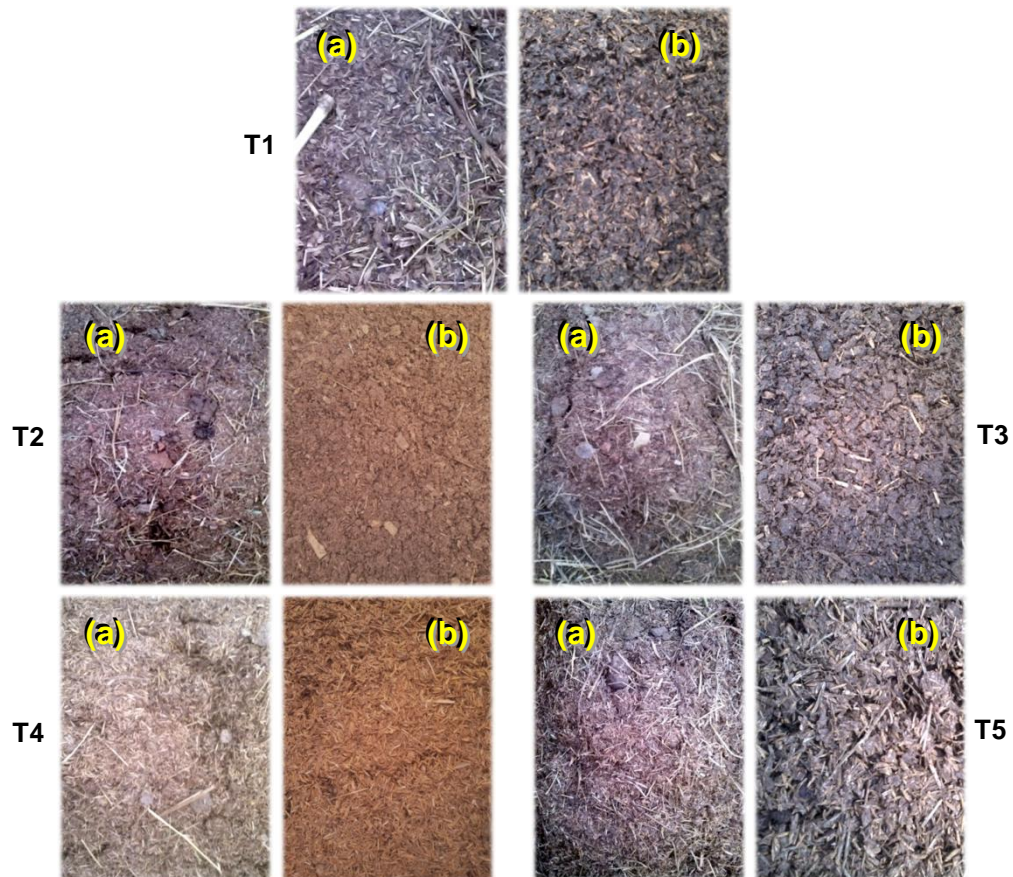


Figura 29 – Aspectos dos materiais no início (a) e no final (b) da pré-compostagem
Fonte: A autora.

5.1.4 Análises físico-químicas

5.1.4.1 pH e Condutividade Elétrica

Na Tabela 12 estão apresentados os valores de pH no decorrer do processo de pré-compostagem, considerando os cinco tratamentos estudados.

Tabela 12 – Valores de pH no período da pré-compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
pH ⁽²⁾	1 (1ª semana)	9,61	9,30	9,40	9,47	8,54
	30 (4ª semana)	9,58	8,05	8,04	6,56	7,22
	42 (7ª semana)	9,20	8,00	8,24	6,24	7,25

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ pH em água destilada (7,17; 7,13; 7,4, respectivamente, para os três dias de análise).

Fonte: A autora.

É possível observar que todos os tratamentos iniciaram o processo em pH alcalino, com valores superiores a 8,5. Komar et al. (2011), ao trabalhar com a compostagem de cama de equinos saturadas confeccionadas com aparas de madeira e/ou material palhoso encontraram valores superiores a 7,7 no início de seu processo.

Segundo Heberts et al. (2005), o pH pode ser considerado um dos principais fatores na determinação das perdas de nitrogênio, pois valores acima da neutralidade favorecem a formação de amônia. Isso era constatado *in loco* pelo forte odor emanado das leiras. Orrico Junior et al. (2010) observaram que, durante o processo de compostagem de cama de frangos e carcaça de aves, a formação de amônia foi favorecida, pois o pH manteve-se acima de 8,6, valores muito próximos aos encontrados neste trabalho.

O tratamento T1 – casca de café – continuou com valor de pH acima de 9 após os 42 dias de pré-compostagem. Os tratamentos T2 e T3, com sepilho, também continuaram com pH elevado. Battirola et al. (1998) verificaram em seu estudo com cama de frango, resíduo orgânico e esterco bovino, que os valores de pH mantiveram-se entre 7,5 e 9,0 mesmo após 90 dias de compostagem. Barbieri et al. (2009), utilizando resíduos da indústria sucro-alcooleira, também encontraram valores de pH superiores a 8,0, por volta dos 45 dias de processo.

Já os tratamentos T4 e T5, casca de arroz, sem e com adição de brachiaria, respectivamente, iniciaram como os outros tratamentos (alcalinos), mas terminaram próximos da neutralidade. Em trabalho realizado por Rocha et al. (2012) sobre a compostagem de resíduos da produção avícola (cama de frango e carcaças) em consórcio com casca de arroz e brachiaria, o pH ao término de nove semanas, ainda estava superior a 8,0, não variando tanto quanto o deste trabalho.

A condutividade elétrica (C.E.) é um indicativo da concentração de sais ionizados na solução e fornece um parâmetro da estimativa da salinidade do substrato (SOUZA et al., 2008). A Tabela 13 apresenta os valores de condutividade elétrica durante o processo de pré-compostagem.

Tabela 13 – Valores de condutividade elétrica no período da pré-compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
C.E. ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) ⁽²⁾	1 (1ª semana)	961,50	1733,50	1401,00	1474,50	824,50
	30 (4ª semana)	1045,00	1679,50	1600,50	1595,00	1265,00
	42 (7ª semana)	1702,50	1286,50	1098,00	1192,50	1098,50
	Varição ⁽³⁾	+43,52%	-34,75%	-27,60%	-23,65%	+24,94%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ C.E. em água destilada (1,78; 1,10; 2,74 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, respectivamente, para os dias de análise).

⁽³⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição da 7ª semana em relação a 1ª.

Fonte: A autora.

Os tratamentos T2, T3 e T4 tiveram redução da C.E.. Isso está de acordo com o proposto por Kiehl (2004) que afirma que da fase inicial até a metade do processo de maturação do composto, a condutividade pode reduzir em até 50%.

Já os tratamentos T1 e T5 apresentaram elevação da condutividade elétrica na etapa de pré-compostagem. Para o primeiro, o valor tão expressivo pode estar relacionado ao significativo percentual de redução de volume sofrido pelo tratamento – quase 35% de redução. Segundo o que explicam Souza et al. (2008), a relação de sais solúveis é extremamente dependente do montante da pilha, ou seja, se a redução do volume for muito expressiva, certamente haverá uma concentração de sais e a condutividade aparente do tratamento tende a aumentar. Porém, para o quinto tratamento, no qual também houve redução de volume, mas em menor escala, a condição de elevação de condutividade elétrica pode estar relacionada à contaminação do tratamento por águas pluviais. No dia 22 de setembro de 2013, 29º dia de tratamento – um dia antes da segunda análise de condutividade elétrica –, um vendaval seguido de fortes chuvas danificou a estrutura onde se alocava o experimento. Apenas o tratamento T5, que estava em um dos extremos da estrutura, teve incidência significativa de água da chuva. Tal fato possivelmente alterou a condição do tratamento.

5.1.4.2 Série de sólidos

O Gráfico 2 apresenta as variações de sólidos voláteis (SV) e fixos (SF) durante a pré-compostagem.

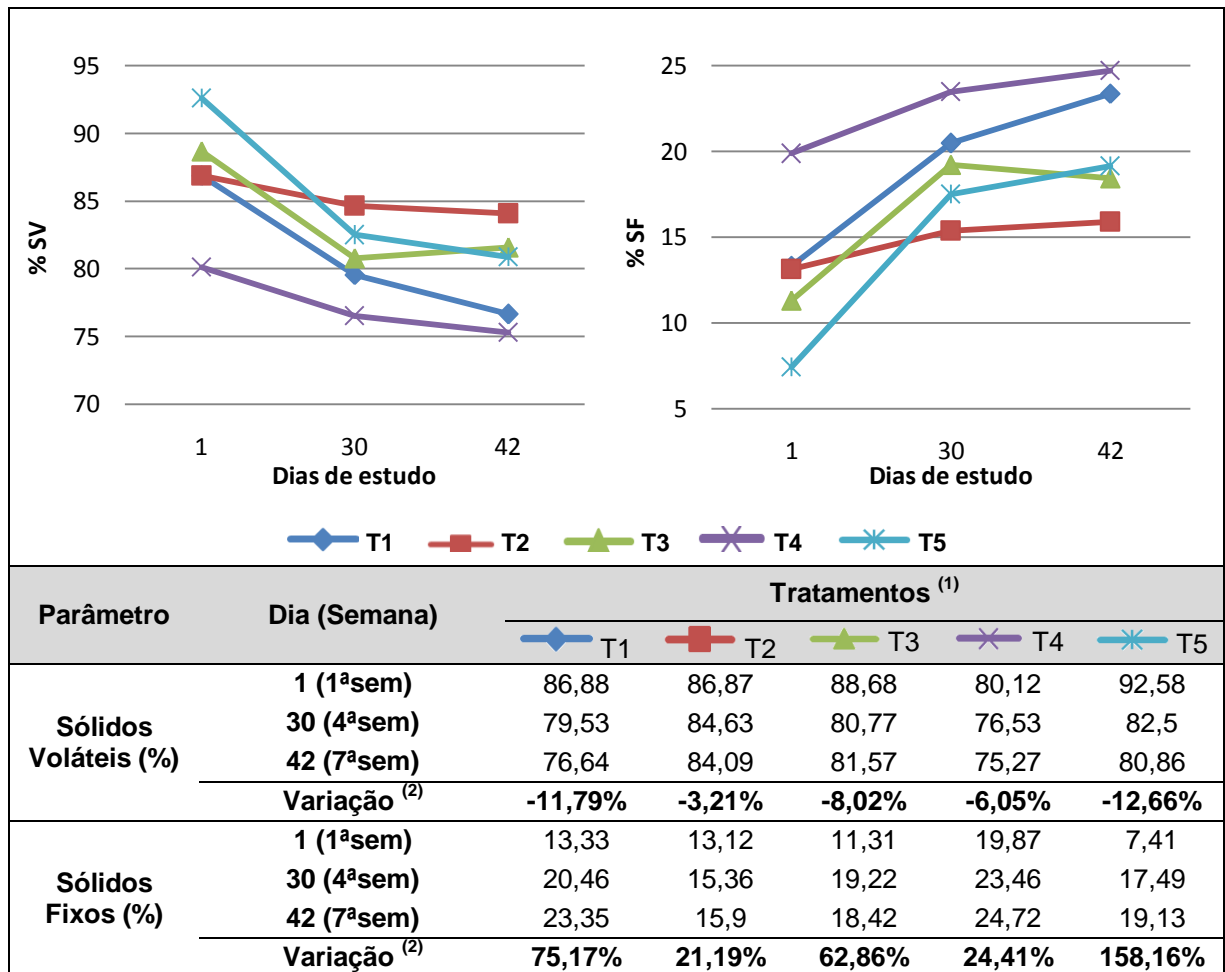


Gráfico 2 – Monitoramento dos sólidos voláteis e fixos durante a pré-compostagem

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição, da 7ª semana em relação a 1ª.

Fonte: A autora.

Em estudos realizados por Wartell et al. (2012), a respeito da produção do metano a partir simulações de camas de equinos saturadas, especialmente com serragem, a porcentagem de SV iniciava-se em valores condizentes aos apresentados neste trabalho, em média entre 70 e 90%.

A redução de SV ocorreu em todos os tratamentos. A constatação de que a porcentagem de SV diminui à medida que a matéria orgânica é degradada também foi observada por Queiroz (2007) em estudos de compostagem com resíduos de vegetais. O mesmo autor ainda afirma que por consequência desta diminuição de SV, os SF aumentam. Pereira Neto (2007) afirma que para que o processo de compostagem seja considerado eficiente deve apresentar uma redução média de 40% nos SV. No Gráfico 2 é possível verificar que todos os tratamentos

apresentaram reduções de SV inferiores a 15%. Tais reduções podem estar associadas ao fato da pré-compostagem ter durado apenas 42 dias.

As maiores reduções foram observadas para T5, T1 e T3, nesta ordem. Quanto aos tratamentos com os mesmos resíduos, T3 e T5 apresentaram maiores reduções de SV¹³ que os tratamentos T2 e T4, respectivamente. Do mesmo modo, os tratamentos associados à brachiaria também demonstraram incrementos superiores em relação aos SF. A explicação disso pode estar relacionada ao fato de que a brachiaria foi degradada quase que totalmente do 1º ao 42º dia do processo, restando apenas os filetes com maior teor de celulose (de difícil degradação), conforme explica Mayer (2006).

Já para o tratamento T1, o qual possuía um resíduo específico, não passível de comparação, o expressivo valor de redução de SV pode estar relacionado à maior degradação da fração carbono da leira. As elevadas temperaturas evidenciadas neste tratamento indicam elevada atividade microbiana e, conseqüentemente, tendência de maior diminuição do percentual de SV ao decorrer do processo (KIEHL, 2004). Tais constatações simbolizam a progressiva estabilização do material.

5.1.4.3 Carbono Total, Nitrogênio Total e Relação C/N

O Gráfico 3 demonstra a variação do carbono total e o nitrogênio total dos tratamentos durante a pré-compostagem.

Em todos eles houve redução da porcentagem de carbono total (Gráfico 3). Kiehl (2004) e Barreira (2005) afirmam que as reduções de carbono observadas durante o processo de compostagem são decorrentes da assimilação deste elemento pelos micro-organismos – convertidas da forma mineral para orgânica – e o restante eliminado em forma de gás carbônico (CO₂).

¹³ Ressalta-se que os SV inferem relação direta ao teor de matéria orgânica (MO).

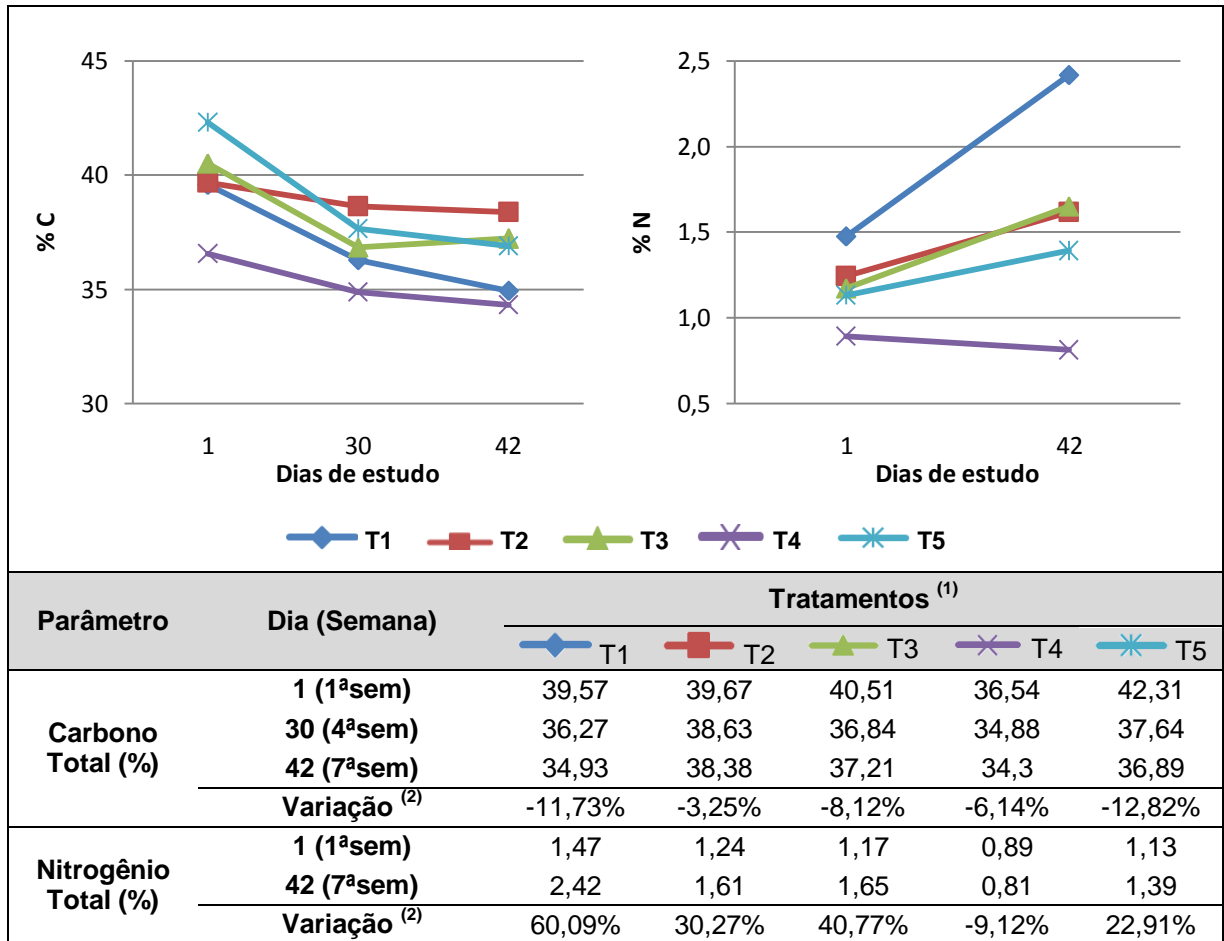


Gráfico 3 – Monitoramento dos teores de carbono total e nitrogênio total na pré-compostagem

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição, da 7ª semana em relação a 1ª.

Fonte: A autora.

Assim como para os SV, as maiores reduções observadas foram T5, T1 e T3, nesta ordem. No tratamento T1 foi possível notar expressiva redução do teor de carbono provavelmente devido à degradação ativa acelerada demonstrada pelas elevadas temperaturas. Quanto aos tratamentos T3 e T5 – consorciados com brachiaria, observaram-se perdas no teor de carbono total superiores aos tratamentos sem a mesma associação – T2 e T4, respectivamente. Rocha et al. (2012) explicam tal fato como sendo decorrente da excelente fonte de carbono degradável que a brachiaria é para a compostagem.

A variação do nitrogênio total está em consonância com o que propõe Kiehl (2008). O autor afirma que como as perdas de carbono são geralmente superiores às perdas de nitrogênio é natural que a concentração do segundo elemento aparente aumento no decorrer no processo. Não há formação do nutriente, mas sim

uma diminuição da massa orgânica pela compostagem fazendo com que este aumente relativamente. Carneiro (2012) explica que quando se multiplica a porcentagem de nitrogênio pela massa seca da leira obtém-se sua quantidade expressa em quilogramas, o que pode facilitar a interpretação da real evolução deste nutriente. Desta maneira torna-se mais fácil perceber a real diminuição sofrida pelo Nitrogênio Total (Tabela 14).

Tabela 14 – Quantidade real de nitrogênio total nas leiras no início e ao final da pré-compostagem

Tratamentos ⁽¹⁾	Inicial			Final			Redução
	Massa seca (kg)	N _{total} (%)	N _{total} (kg) na leira	Massa seca (kg)	N _{total} (%)	N _{total} (kg) na leira	
T1	58,22	1,47	0,8558	30,82	2,42	0,7458	12,85%
T2	50,06	1,24	0,6207	37,90	1,61	0,6102	1,70%
T3	43,45	1,17	0,5084	30,65	1,65	0,5057	0,52%
T4	37,40	0,89	0,3329	34,41	0,81	0,2787	16,26%
T5	44,90	1,13	0,5074	32,95	1,39	0,4580	9,73%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

Fonte: A autora.

As menores reduções reais de nitrogênio foram obtidas nas leiras com sepilho (T2 e T3), fato este confirmado *in loco* pela pouca emanção de odores desagradáveis pelos tratamentos. Isso indica que o nitrogênio estava sendo mineralizado e não volatilizado em forma de amônia. Além disso, vale ressaltar que estes dois tratamentos eram os que apresentavam as relações C/N mais próximas das idealizadas por Kiehl (1985).

Outra constatação que se pode fazer é a respeito de que no tratamento de sepilho-brachiaria consorciados (T3) a redução de nitrogênio foi praticamente a metade que no tratamento apenas com sepilho (T2). A mesma tendência foi observada nas leiras de casca de arroz, quando o tratamento também confeccionado com brachiaria (T5) obteve valor menor de redução de nitrogênio. A inferência que se faz a partir disso é a de que a brachiaria auxiliou na mineralização do nitrogênio, resultado que vai de acordo com o obtido por Rocha et al. (2012).

Carneiro (2012) utilizando diversos resíduos agroindustriais – resíduo de incubatório, casca e sabugo de milho, farelo de trigo e triguilho, lodo de flotador, cinza e carvão remanescente de caldeira, fração sólida de dejetos de suínos e dos resíduos de lavagem dos caminhões – estudou a compostagem sob diferentes condições e obteve uma redução de nitrogênio na ordem 46 a 64%. Porém, cabe

ressaltar que seu processo teve duração superior a 100 dias, fato este que pode responder pela diferença tão significativa entre seus resultados e os encontrados neste trabalho.

A Tabela 15 mostra as relações C/N inicial e final, bem como sua variação percentual para os cinco tratamentos estudados.

Tabela 15 – Valores das relações C/N no período da pré-compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
C / N	1 (1ª semana)	26,83 / 1	31,94 / 1	34,53 / 1	40,95 / 1	37,39 / 1
	42 (7ª semana)	14,43 / 1	23,79 / 1	22,54 / 1	42,29 / 1	26,52 / 1
	Variação ⁽²⁾	-46,21%	-25,51%	-34,73%	+3,28%	-29,07%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição da 7ª semana em relação a 1ª.

Fonte: A autora.

A maioria dos tratamentos apresentou reduções significativas da relação C/N, o que está em consonância com o que é previsto por Kiehl (1985): redução de carbono orgânico, por degradação da matéria orgânica, e o aumento do nitrogênio total, em virtude da mineralização. Os trabalhos de Amorim (2002), Barbieri et al. (2009), Bernardi (2011) e Brito et al. (2008) também apresentaram tal comportamento.

O tratamento T1 apresentou-se, ao final dos 42 dias de pré-compostagem, com relação C/N de 14,4/1, valor muito próximo ao determinado pela Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009 – MAPA (BRASIL, 2009) para compostos já maturados. Os tratamentos T2, T3 e T5 também reduziram significativamente a relação carbono-nitrogênio, mesmo não atingindo valores tão baixos como o de T1. No entanto, vale lembrar que o pouco tempo de pré-compostagem pode ter contribuído para que este decréscimo não fosse maior.

Apenas para o tratamento T4 houve um aumento da relação C/N. Uma possível explicação para isso pode estar relacionado a um erro analítico. No momento da preparação da amostra, principalmente para a análise de nitrogênio, a difícil maceração da casca de arroz pode ter feito com que uma maior parcela de material nitrogenado – no caso, os dejetos dos equinos – fosse aplicada à técnica analítica. O mesmo problema foi evidenciado no estudo de Sbizzaro (2013), onde na pré-compostagem de dejetos de bovinos e palha de cana de açúcar houve um erro

analítico justificado pela coleta e preparação de amostras com uma maior parcela de material nitrogenado.

Outra análise relevante a se fazer da Tabela 18 é em relação às maiores reduções da relação C/N percebidas nos tratamentos com brachiaria (T3 e T5) em comparação aos sem brachiaria (T2 e T4). Assim, é possível fazer a inferência de que a brachiaria fez com que a matéria orgânica se estabilizasse mais rapidamente.

5.2 VERMICOMPOSTAGEM

O processo de vermicompostagem foi iniciado simultaneamente em todos os tratamentos, conforme mencionado no 'Material e Métodos' deste trabalho. No entanto, após a colocação do plástico firme (no fundo do vermirreator) e do TNT para impedir a saída das minhocas, foi observada a morte de todas as minhocas do tratamento T1. Na análise de caracterização do pré-composto ficou constatado que as condições do tratamento não eram propícias ao desenvolvimento da espécie, uma vez que apresentava valores de C.E. e Nitrogênio Total muito elevados.

Assim, optou-se por acompanhar o tratamento em caixas, mas sem a adição das minhocas, realizando os revolvimentos necessários manualmente e semanalmente. O esperado era que com o passar do tempo as condições se estabilizassem e favorecessem a sobrevivência das minhocas.

Para que não tivesse que esperar os resultados das análises que ocorriam quinzenalmente, uma vez por semana, a partir do início do período da vermicompostagem, 24 minhocas eram colocadas no tratamento T1, com o vermirreator sem a proteção de TNT, para que houvesse a possibilidade de fuga caso o ambiente ainda não estivesse propício. Próximo ao vermirreator era colocado o composto original (o mesmo que acompanhava as minhocas no momento da compra junto ao minhocário) para que elas tivessem onde se refugiar caso o material ainda não estivesse adequado para sua sobrevivência. A Figura 30 esquematiza o explicado.



Figura 30 – Testes com o tratamento T1 para a (re)introdução de minhocas
 Fonte: A autora.

Durante todo o período do estudo, nenhuma minhoca permaneceu no tratamento T1, mesmo considerando as inúmeras tentativas de introdução.

Dois dos parâmetros analisados neste trabalho podem ser os principais responsáveis pela morte ou fuga das minhocas neste tratamento: o nitrogênio – em especial a sua fração amoniacal – e a condutividade elétrica. Estes mesmos parâmetros foram elencados por Edwards (2004) como sendo causadores de grande suscetibilidade das minhocas ao substrato aos quais são inseridas.

Considerando a variação evidenciada no teor de Nitrogênio Total do tratamento durante a pré-compostagem (Gráfico 3) – aproximadamente 60% de aumento – era de se esperar que este parâmetro se mostraria desfavorável à introdução das minhocas. Edwards (2004) explica que a amônia tem ponto muito nítido entre não tóxico e tóxico para a sobrevivência das minhocas: valores maiores que 1 mg.g^{-1} de amônia são letais à espécie. Mesmo não sendo realizada análise deste parâmetro, supõe-se que seu valor fosse alto, considerando a porcentagem do Nitrogênio Total encontrada para este tratamento.

A condutividade elétrica durante a pré-compostagem também teve acréscimo considerável, chegando a um valor superior a $1700 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$. Segundo Edwards (2004) e Lourenço (2010), o nível adequado para a sobrevivência das minhocas está situado entre 500 e $1200 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$. Deste modo, logo no início do processo, as condições do ambiente já não eram propícias quanto a este parâmetro.

O comportamento das variáveis analisadas do material colocado no reator, sem a adição da minhoca, durante o período em que foi realizada a vermicompostagem pode ser observado no Gráfico 4.

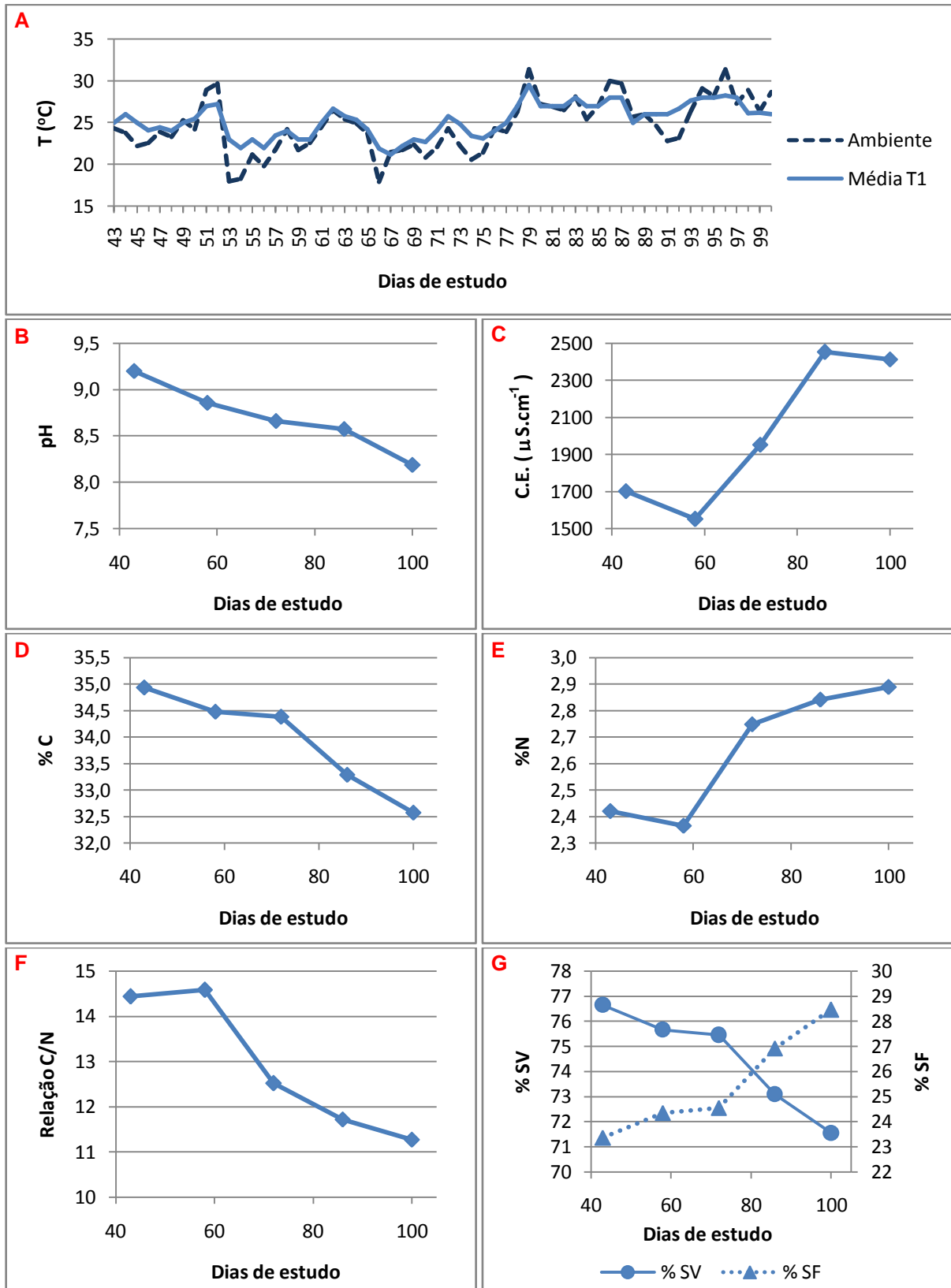


Gráfico 4 – Variáveis analisadas para o tratamento T1 entre o 43º e 100º dia de estudo

Nota: A – Temperatura; B – pH; C- Condutividade elétrica; D - Carbono Total; E – Nitrogênio Total; F – Relação C/N; G – Sólidos voláteis e fixo.

Fonte: A autora.

No momento de montagem dos vermirreatores, um forte odor desagradável ainda era percebido, resultado da elevada concentração de nitrogênio, constatado posteriormente na primeira análise (Gráfico 4-B). Logo no início do período de vermicompostagem, o valor percentual de nitrogênio já era consideravelmente superior aos valores encontrados nos demais tratamentos. Paulus et al. (2000) explicam que o teor de nitrogênio quando muito elevado pode provocar a formação em excesso de gás amônia, o qual é extremamente tóxico às minhocas. Os autores ainda afirmam que materiais com esta característica devem ser evitados para a vermicompostagem.

Como já mencionado, o outro fator que provavelmente contribuiu para a morte ou fuga das minhocas foi a condutividade elétrica. É possível observar por meio do Gráfico 4-F, que em nenhum momento os valores obtidos nas análises estiveram condizentes a indicação de Edwards (2004), o que leva à percepção de que a concentração de sais impossibilitava a permanência da espécie.

Considerando que o tratamento não se enquadra no tópico 'Vermicompostagem', a seguir estão apresentados os resultados e discussões apenas dos tratamentos T2, T3, T4 e T5.

5.2.1 Temperatura

Os perfis de temperatura dos quatro tratamentos durante a vermicompostagem, bem como suas temperaturas máximas e mínimas estão apresentados no Gráfico 5.

O microclima do vermirreator, em especial o fator temperatura, afeta diretamente as minhocas, influenciando seus processos e taxas metabólicas. Indiretamente a temperatura ainda age sobre o habitat, a fonte de alimento e os padrões de distribuição e atividade de minhocas (EDWARDS, 2004). Diferentemente do que representa para a compostagem, a temperatura para a vermicompostagem está relacionada essencialmente ao bem estar das minhocas, principais agentes de degradação da matéria orgânica (AQUINO et al., 1992).

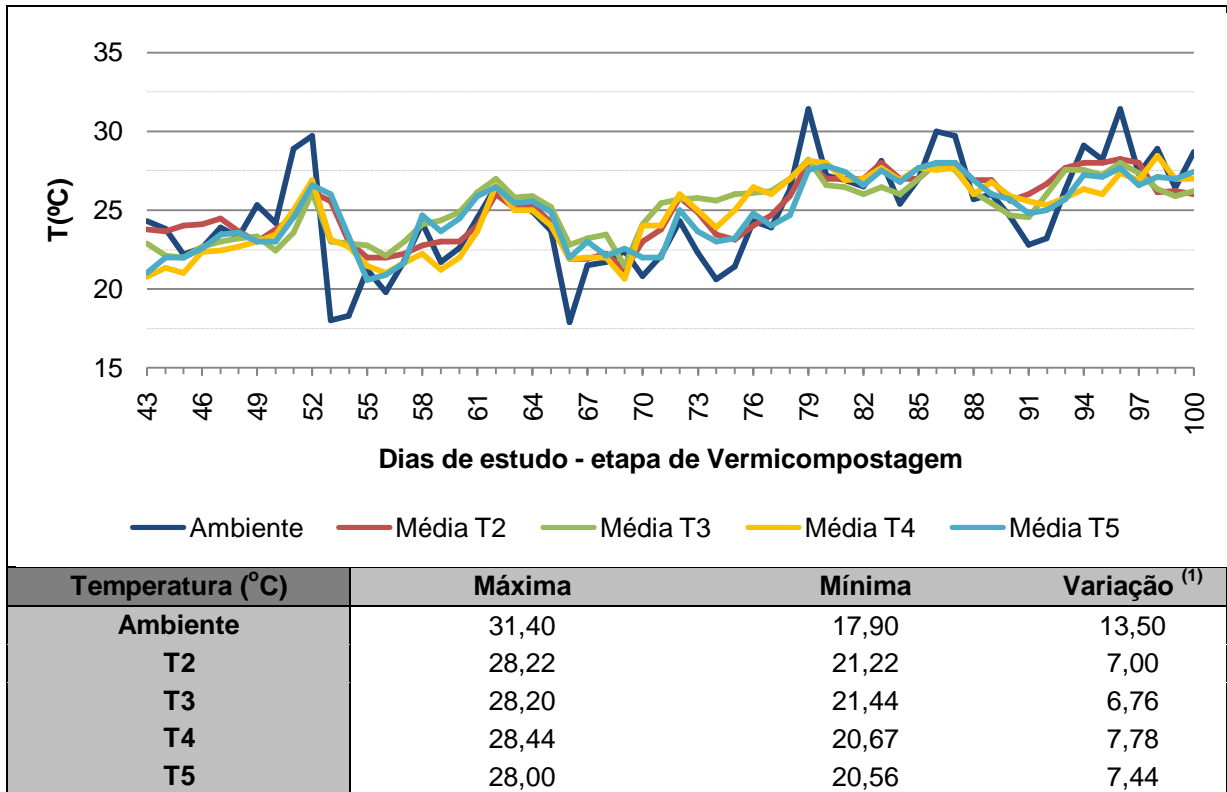


Gráfico 5 – Monitoramento de temperatura nos tratamentos durante a vermicompostagem

⁽¹⁾ Variação – diferença entre as temperaturas máximas e mínimas observadas em cada tratamento.

Fonte: A autora.

De um modo geral, as temperaturas dos quatro tratamentos (T2, T3, T4 e T5) comportaram-se de maneira parecida, acompanhando as oscilações da temperatura ambiente, porém com variações menores. Todos os tratamentos apresentaram temperatura máxima na casa dos 28°C e mínima entre 20 e 22°C. Conforme Edwards (2004) e Lourenço (2010) estes valores estão dentro do que é considerado adequado para o desenvolvimento da espécie (entre 20 e 30°C).

5.2.2 Redução de volume e peso

Os resultados referentes à redução de volume durante a vermicompostagem podem ser observados na Tabela 16.

Tabela 16 – Redução de volume médio dos vermireatores

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾			
		T2	T3	T4	T5
Volume (m ³)	43 (7ª semana)	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
	100 (15ª semana)	0,0142	0,0144	0,0153	0,0135
	Redução Média	43,11%	42,22%	38,89%	45,78%

⁽¹⁾ T2 – Sepilho; T3 – Sepilho+brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz+brachiaria.

Fonte: A autora.

Nota-se que as reduções de volume foram expressivas em todos os tratamentos.

Sabe-se que as minhocas exercem ação mecânica dentro dos vermireatores, alterando o volume aparente do material. No entanto, sabe-se também que parte do substrato, ingerido como alimento, é convertida em CO₂ e H₂O por ação das enzimas contidas no metabolismo das minhocas. Além disso, suas dejeções, também conhecidas como coprólitos, apresentam volumes menores que do alimento original, propiciando assim, em um balanço geral, a redução do volume (GODOY, 2006).

Como a brachiaria já havia sido quase que totalmente decomposta na etapa de pré-compostagem, esperava-se que sua presença nos tratamentos colocados nos vermireatores não fosse mais um grande diferencial para a redução de volume. Para os tratamentos T2 e T3 os valores de redução atingidos foram praticamente iguais, confirmando tal hipótese. Já para os tratamentos T4 e T5 a diferença mostrou-se mais significativa. O tratamento de casca de arroz consorciado à brachiaria (T5) reduziu cerca de 7% a mais que o sem a gramínea (T4). Possivelmente este fato é decorrente das características do substrato de T5 que foram previamente melhoradas para a ação das minhocas.

Dentre as reduções de volume pelo processo de vermicompostagem relatadas na literatura, Amorim et al. (2005) obtiveram redução média de 14,4% ao aplicar a técnica para dejetos caprinos em diferentes estações do ano. Godoy (2006), seu estudo com a mesma técnica aplicada a biossólidos proveniente de uma estação de tratamento de esgoto, poda de grama e serragem obteve redução no volume entre 17 e 33%. Nota-se, então, que os valores de redução de volume obtidos neste estudo estão acima dos encontrados em outros trabalhos, mesmo que para outros resíduos.

A redução de peso pode ser observada no Gráfico 6.

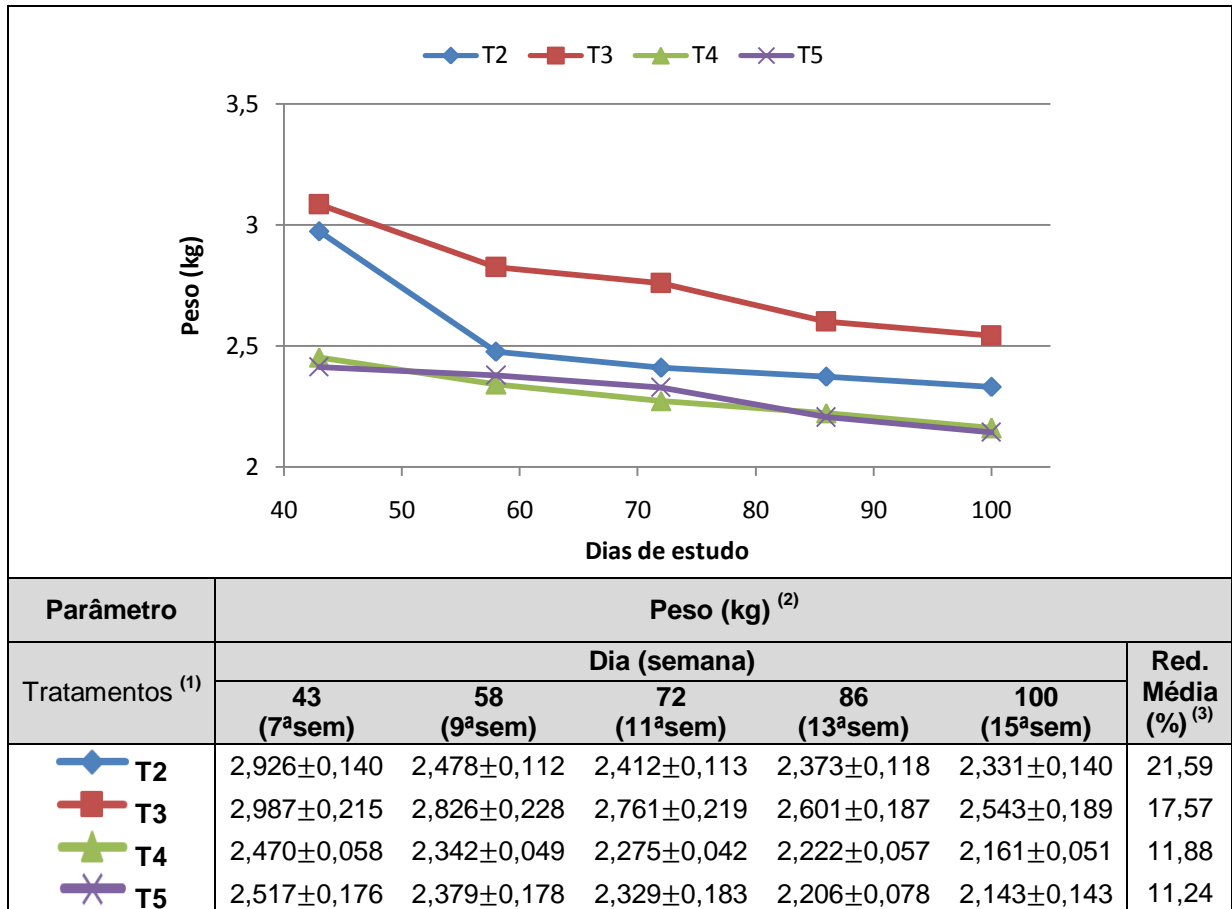


Gráfico 6 – Redução de peso médio dos vermicorretores

⁽¹⁾ T2 – Sepilho; T3 – Sepilho+brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz+brachiaria.

⁽²⁾ Peso na base seca.

⁽³⁾ Red. Média (%) – Redução média, em porcentagem.

Fonte: A autora.

Em todos os tratamentos houve a redução de peso à medida que o material foi sendo degradado e mineralizado. Por meio do Gráfico 6 é possível perceber que as reduções dos tratamentos T4 e T5 foram muito similares e menos expressivas se comparadas com as dos tratamentos T2 e T3. É possível notar também que a partir da 9ª semana todos os tratamentos mantiveram a mesma tendência de redução.

Amorin (2002) afirma que após a aplicação da técnica de vermicompostagem espera-se redução média de cerca de 50% no peso do material. Amorim et al. (2005), vermicompostando dejetos de caprinos, obtiveram diferentes valores de redução de peso para as quatro estações do ano variando entre 41,6 e 55,6%. No entanto, Tang et al. (2007) observaram reduções de 20 a 37% na casca de arroz aplicada junto a dejetos de bovinos. Cabe ressaltar que nos dois trabalhos o percentual de redução leva em consideração todo o processo (pré-compostagem e vermicompostagem juntos). Deste modo, observado o processo por completo, os

resultados de redução de volumes obtidos aqui são de 45,88, 47,02, 19,89 e 37,85%, respectivamente para T2, T3, T4 e T5, sendo constatada grande proximidade com os valores encontrados nos dois estudos anteriormente citados, mesmo se tratando de resíduos diferentes.

A Tabela 17 apresenta a variação do peso específico dos materiais.

Tabela 17 – Aumento do peso específico médio dos vermireatores

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾			
		T2	T3	T4	T5
Peso específico (kg.m ⁻³)	1 (1ª semana)	160,39	137,90	119,69	103,03
	43 (7ª semana)	117,22	119,66	98,94	100,83
	100 (15ª semana)	164,19	176,33	141,70	158,36
	Aumento médio (%)	40,08%	47,37%	43,21%	57,06%

⁽¹⁾ T2 – Sepilho; T3 – Sepilho+brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz+brachiaria.

Fonte: A autora.

Todos os tratamentos apresentaram aumento em seus pesos específicos, o que segundo Sbizzaro (2013) é um fator considerado muito importante quanto à logística, armazenamento e transporte dos compostos orgânicos. Pode-se notar também que os tratamentos com T3 e T5 obtiveram aumentos percentuais superiores a T2 e T4, respectivamente. Uma possível explicação para este fato pode estar relacionada à aceleração da degradação proporcionada na pré-compostagem, que veio refletir na determinação final da variação do peso específico.

5.2.3 Aspecto do material

Ao término do período de vermicompostagem, os tratamentos T2 e T3 apresentavam-se totalmente descaracterizados (Figura 31-a e 31-b, respectivamente), restando-lhes do material de origem apenas os pedaços maiores de madeira, mas já em estágio avançado de degradação.

Já nos tratamentos T4 e T5, confeccionados por casca de arroz sem e com brachiaria, a diferença visual de degradação do substrato foi maior (Figura 31-c e 31-d, respectivamente). Naquele onde não foi feito o consórcio com a brachiaria (T4), a casca de arroz estava praticamente inalterada. Isso já era esperado visto que a ação das minhocas sobre este resíduo é dificultada devido suas próprias características, como teor de sílica, por exemplo (DAROS, 2010).



Figura 31 – Aspecto dos resíduos após a vermicompostagem

Nota: Indicação dos tratamentos: a – T2; b – T3; c – T4; d – T5.
Fonte: A autora.

5.2.4 Análises físico-químicas

5.2.4.1 pH e Condutividade Elétrica

No Gráfico 7 estão apresentados os valores de pH no decorrer do processo de vermicompostagem, considerando os quatro tratamentos aos quais foi possível aplicar a técnica.

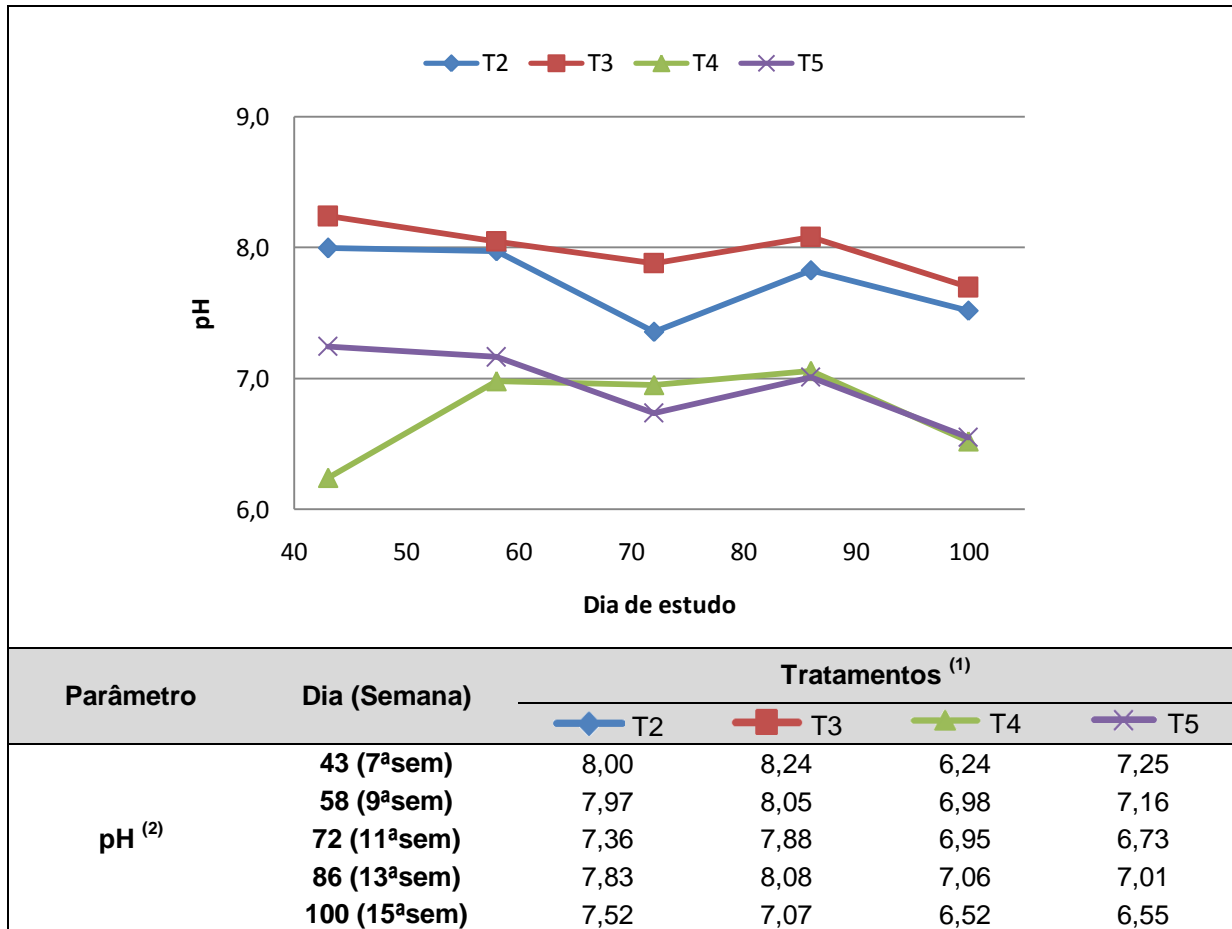


Gráfico 7 – Monitoramento do pH durante a vermicompostagem

⁽¹⁾ T2 – Sepilho; T3 – Sepilho+brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz+brachiaria.

⁽²⁾ pH em água destilada (7,4; 6,76; 8,13; 7,51 e 7,18, respectivamente, para os cinco dias de análise).

Fonte: A autora.

A vermicompostagem fornece um material estabilizado, especialmente quanto a pH, em tempo menor, se comparado com a compostagem (CASTILHO et al., 2008). Por meio do monitoramento do pH foi possível constatar que o tratamento T3 apresentou os maiores valores médios deste parâmetro em todos os dias de análise. Por outro lado, o tratamento T4 apresentou os menores valores médios, com exceção da 11ª semana (72º dia de estudo).

Uma observação pertinente é a proximidade de valores entre os tratamentos que possuíam o mesmo resíduo (sepilho ou casca de arroz). Os tratamentos T2 e T3 apresentaram-se em todas as análises com valores alcalinos, tendo T2 um valor médio ao longo do período de 7,73 e T3 de 7,99. Já os tratamentos T4 e T5 seguiam a tendência de serem mais ácidos, com valores médios de pH no processo de 6,75 e 6,94, respectivamente.

Segundo Carlesso et al. (2011) as minhocas têm preferência por matéria orgânica pouco ácida. A espécie *Eisenia foetida*, particularmente, é considerada

ácido-tolerante, pois possui glândulas calcíferas que permitem o controle da acidez dos resíduos (LOURENÇO, 2010). Estas indicações caracterizariam os tratamentos T4 e T5 como melhores para o desenvolvimento das minhocas quanto ao parâmetro pH.

Contudo, há indicações de que as minhocas toleram valores para pH entre 5 e 8, com prejuízo às suas atividades apenas quando estão fora desta faixa (LOURENÇO, 2010). Assim, os tratamentos T2 e T3 também apresentavam condições aceitáveis para a sobrevivência da espécie.

Segundo o MAPA – Instrução Normativa nº 25, de 23/07/2009 (BRASIL, 2009) – o valor de pH mínimo aceitável para a comercialização de vermicomposto no Brasil é igual a 6,0. Deste modo, para o parâmetro pH, todos os tratamentos deste estudo atendem tal legislação.

O Gráfico 8 apresenta o monitoramento da C.E. durante a vermicompostagem, também considerando os quatro tratamentos aos quais foi possível aplicar a técnica.

A condutividade elétrica dos quatro tratamentos apresentou a mesma tendência: queda nas primeiras oito semanas de vermicompostagem e elevação significativa na última análise. Segundo Edwards (2004) e Lourenço (2010) o nível adequado para a sobrevivência de minhocas em um resíduo está situado entre 500 e 1200 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, intervalo este onde estão compreendidos todos os valores obtidos para os tratamentos testados.

Os valores médios da C.E. foram de 1064, 974, 815 e 893 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ respectivamente para os tratamentos T2, T3, T4 e T5. Assim como para o pH, é possível perceber que os tratamentos com os mesmos resíduos mantiveram proximidade entre suas médias.

É notório também que na última análise os valores de C.E. aumentaram. O aumento dos sais solúveis evidenciado é, provavelmente, devido à mineralização da matéria orgânica pelas minhocas e pelos micro-organismos presentes em seu intestino que se intensificou com o aumento da população das minhocas ocorrida ao longo do processo, em especial os indivíduos jovens.

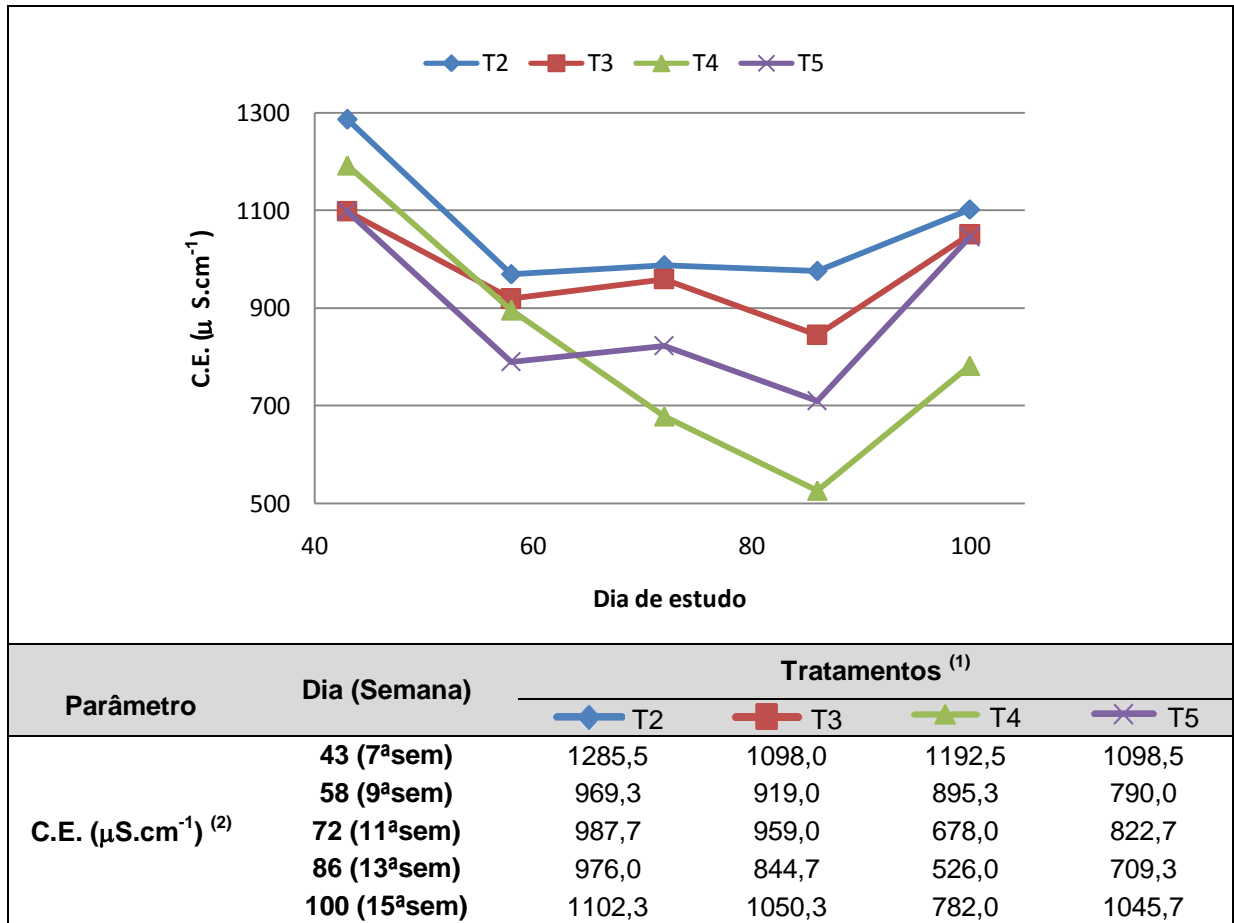


Gráfico 8 – Monitoramento da condutividade elétrica durante a vermicompostagem

⁽¹⁾ T2 – Sepilho; T3 – Sepilho+brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz+brachiaria.

⁽²⁾ C.E. em água destilada (2,74; 0,54; 1,07; 0,77; 0,81 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, respectivamente, para os cinco dias de análise).

Fonte: A autora.

5.2.4.2 Série de sólidos

O Gráfico 9 apresenta as variações de sólidos voláteis (SV) e fixos (SF) durante a vermicompostagem.

Seguindo a mesma tendência da pré-compostagem, os tratamentos T3 e T5, constituídos de sepilho e brachiaria e casca de arroz e brachiaria, respectivamente, apresentaram maiores reduções de SV que os tratamentos T2 e T4, onde não havia o consórcio com a brachiaria.

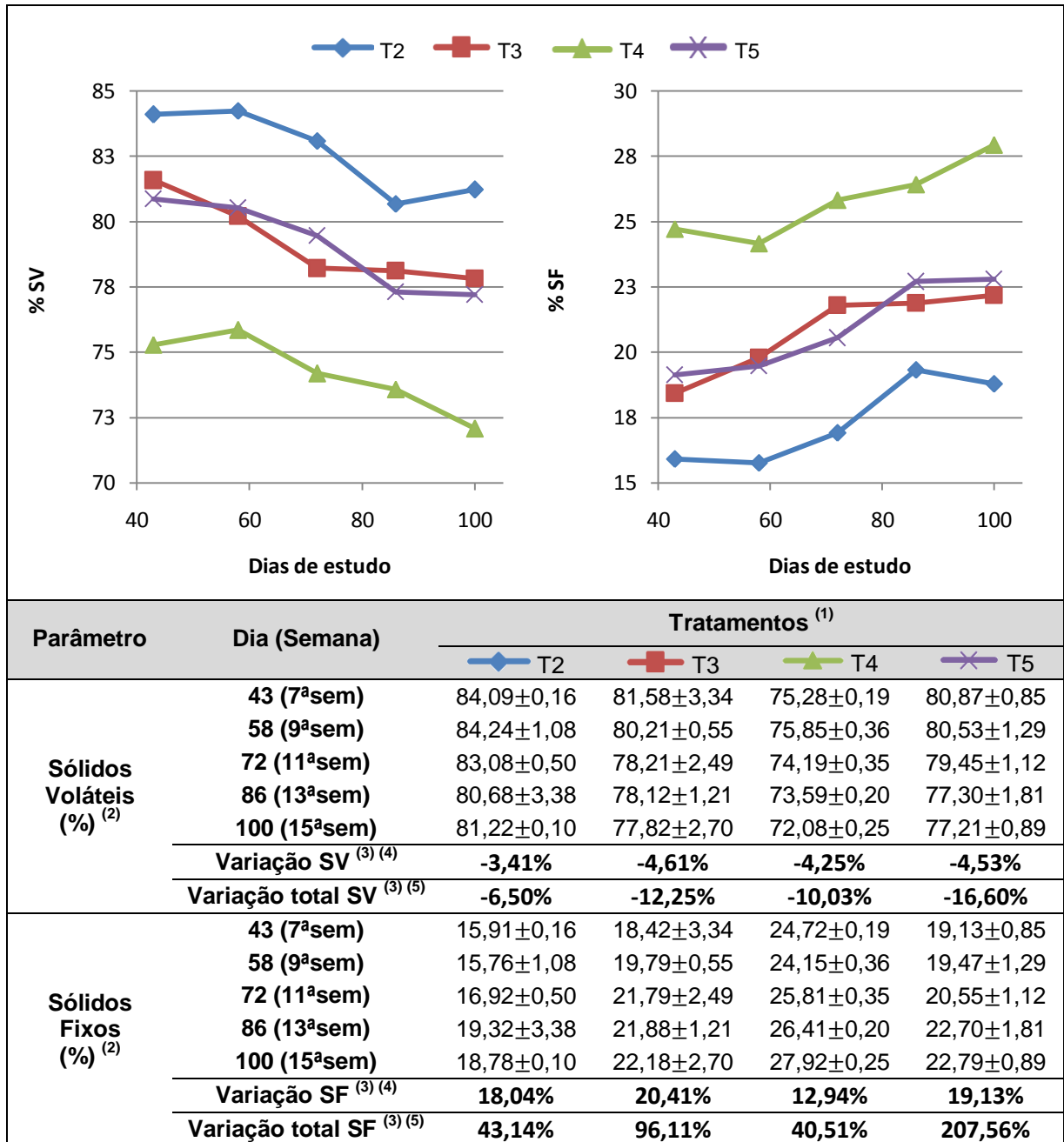


Gráfico 9 – Monitoramento dos sólidos voláteis e fixos durante a vermicompostagem

⁽¹⁾ T2 – Sepilho; T3 – Sepilho+brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz+brachiaria.

⁽²⁾ As porcentagens de SV e SF expressam a média aritmética da triplicata.

⁽³⁾ Varição – Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição.

⁽⁴⁾ Considerando apenas a etapa de vermicompostagem.

⁽⁵⁾ Considerando as etapas de pré-compostagem e vermicompostagem.

Fonte: A autora.

Amorim et al. (2005), ao realizarem a vermicompostagem de dejetos caprinos analisando o efeitos das estações do ano sobre o processo, alcançaram uma média de redução de SV entre 11 e 26%. Em sua metodologia, a redução foi avaliada desde a disposição do material em leira até a etapa final da vermicompostagem. Realizando esta mesma projeção, os seja, considerando a pré-

compostagem e a vermicompostagem realizadas neste trabalho, os tratamentos deste estudo teriam as seguintes reduções de SV: 6,50, 12,25, 10,03 e 16,60%, respectivamente para os tratamentos T2, T3, T4 e T5. Nota-se, então, que os valores de redução foram menores dos que os de Amorim et al. (2005), sendo que apenas os tratamentos compostos com brachiaria apresentaram-se dentro do intervalo encontrado pelos autores.

5.2.4.3 Carbono total, Nitrogênio total e Relação C/N

O Gráfico 10 demonstra a variação ocorrida com o carbono total e nitrogênio total nos tratamentos durante a vermicompostagem.

Assim como era esperado, em todos os tratamentos houve redução da porcentagem de carbono total, porque durante o processo de vermicompostagem as minhocas fixam parte do carbono em sua biomassa, ou seja, utilizam parte do carbono para seu crescimento. Outra parte é transformada em CO₂, assim como na compostagem, e perdida para o meio externo. Assim, pode-se dizer que houve mineralização do carbono, processo que é causado não somente pela alimentação das minhocas, mas também pela ação conjunta destas com os micro-organismos existentes no vermirreator (DORES-SILVA et al., 2011).

Os dois tratamentos que estavam consorciados com brachiaria – T3 e T5 – resultaram em perdas de carbono total superiores aos tratamentos sem a mesma associação – T2 e T4, respectivamente, seguindo também a tendência da pré-compostagem.

A variação do nitrogênio total ocorreu conforme esperado, com aumento da concentração. Durante o processo de mineralização e respiração, tanto dos micro-organismos quanto das minhocas, a matéria orgânica evolui, havendo, desta maneira, uma concentração dos nutrientes, como no caso específico o nitrogênio (DORES-SILVA et al., 2011). Outros dois pontos importantes são os acréscimos por conta dos excrementos das minhocas, que são ricos em nitrogênio, e oriundos do próprio corpo destes anelídeos, que liberam expressiva quantidade deste nutriente quando morrem (BATTIROLA et al., 1998).

Também como ocorreu na pré-compostagem, os tratamentos onde a brachiaria estava presente – T3 e T5 – apresentaram menores perdas de nitrogênio que os tratamentos onde havia apenas o sepilho e a casca de arroz.

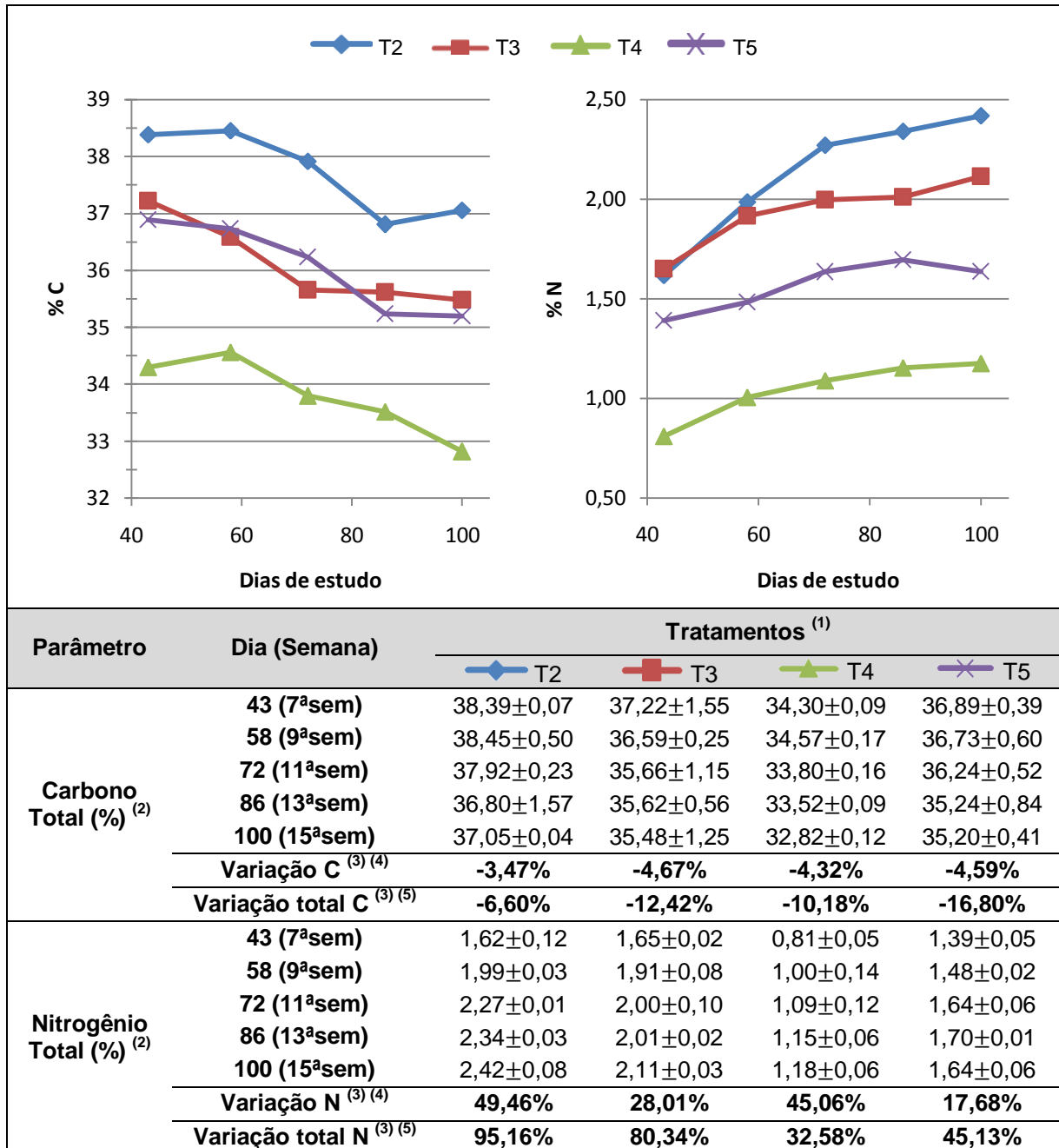


Gráfico 10 – Monitoramento dos teores de Carbono Total e do Nitrogênio Total na vermicompostagem

⁽¹⁾ T2 – Sepilho; T3 – Sepilho+brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz+brachiaria.

⁽²⁾ As porcentagens de SV e SF expressam a média aritmética da triplicata.

⁽³⁾ Variação – Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição.

⁽⁴⁾ Considerando apenas a etapa de vermicompostagem.

⁽⁵⁾ Considerando as etapas de pré-compostagem e vermicompostagem.

Fonte: A autora.

Analisando sob a ótica de aplicação do vermicomposto ao solo, a Instrução Normativa nº 25/2009, do MAPA, impõe que a porcentagem mínima de carbono orgânico deve ser de 10%, enquanto que para o nitrogênio total é de 0,5% (BRASIL, 2009). Seguindo a metodologia de Carmo et al. (2012), os teores finais de carbono orgânico foram de 32,45, 31,01, 28,57 e 30,75%, respectivamente para T2, T3, T4 e T5. Deste modo, tanto para o carbono quanto para o nitrogênio os valores obtidos nos vermicompostos deste estudo satisfazem as condições da legislação.

O Gráfico 11 mostra as relações C/N para os quatro tratamentos estudados durante a vermicompostagem. Todos os tratamentos apresentaram tal redução da relação C/N, o que está em consonância com o que é previsto por Kiehl (1985). Os trabalhos de Aquino et al (1992), Godoy (2006), Oliveira et al. (2008) e Dores-Silva et al. (2011) também apresentaram o mesmo comportamento.

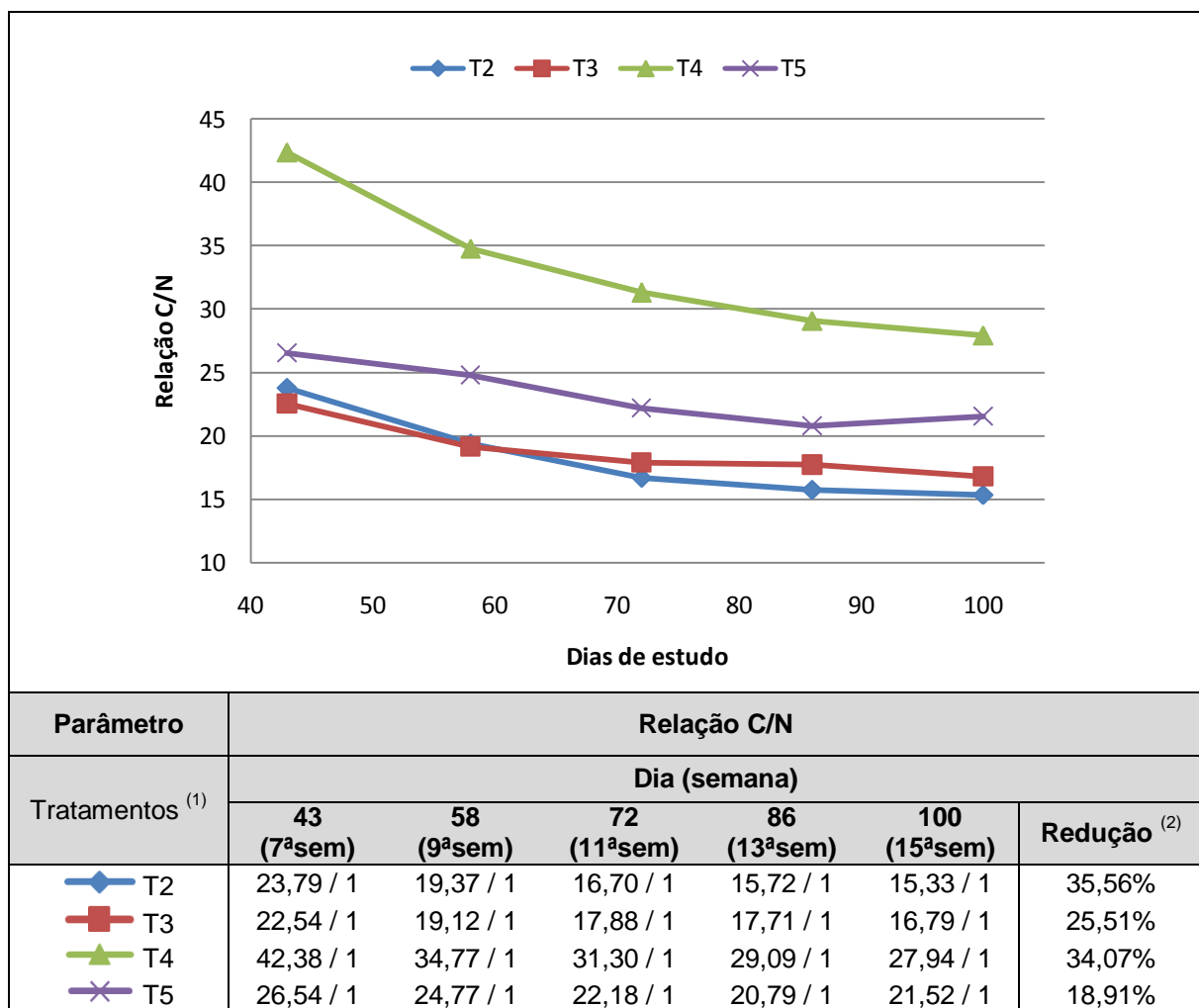


Gráfico 11 – Monitoramento da Relação Carbono-Nitrogênio durante a vermicompostagem

⁽¹⁾ T2 – Sepilho; T3 – Sepilho+brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz+brachiaria.

⁽²⁾ Redução da 15ª semana em relação a 7ª.

Fonte: A autora.

Para Dores-Silva et al. (2011), a relação C/N é um dos indicativo da maturidade e grau de estabilização de um composto. A aceleração no processo de humificação promovido pelas minhocas resulta na diminuição significativa na razão C/N. A Instrução Normativa nº 25/2009 propõe que o valor máximo para a relação, aceitável para a comercialização de vermicomposto no país, é igual a 14 (BRASIL, 2009). Sendo assim, nenhum dos tratamentos estaria apto a ser comercializado após os 100 dias de estudo. A alternativa cabível seria prolongar o tempo de vermicompostagem, visto que os tratamentos seguem em tendência de diminuição de valores de relação C/N ao longo do tempo.

5.2.5 Análise estatística: Vermicompostagem

A relação (C/N) é um bom indicativo da maturidade e grau de estabilização de um composto (KIEHL, 1985; DORES-SILVA et al., 2011) Devido a sua importância optou-se por fazer a análise estatística desse parâmetro, a fim de demonstrar a variação ocorrida, por tratamento, ao longo do período de aplicação da técnica de vermicompostagem. A Tabela 18 apresenta o resultado de tal análise estatística.

Tabela 18 – Análise estatística da variação dos parâmetros C, N e relação C/N

TRATAMENTOS ⁽¹⁾	Variação dos parâmetros físico-químicos ⁽²⁾		
	Redução %C	Aumento %N	Redução % C/N
T1 ⁽³⁾	6,6 a	19,6 a	22,0 a
T2	3,3 a	49,6 b	35,6 b
T3	4,6 a	28,0 a	25,6 a
T4	4,6 a	45,0 b	34,0 b
T5	4,3 a	17,6 a	19,0 a

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Teste estatístico de Scott-Knott. Letras iguais nas colunas implicam em equivalência estatística dos valores, ao nível de 5% de significância.

⁽³⁾ O tratamento T1 não contava com a presença de minhocas nos reatores, porém suas análises foram realizadas da mesma maneira que nos demais tratamentos a fim de comparação.

Fonte: A autora.

É possível perceber que as reduções percentuais médias de carbono não foram significativamente diferentes entre os tratamentos, inclusive comparando os

resultados com o tratamento T1 (sem a presença das minhocas). Já para o aumento de nitrogênio e a redução de C/N, observou-se que os tratamentos T2 e T4 diferenciaram-se dos demais. Considerando que os tratamentos T3 e T5 continham os mesmos resíduos que T2 e T4, respectivamente, porém acrescidos de brachiaria, é possível inferir que a gramínea presente nos tratamentos prejudicou a mineralização do nitrogênio. Rocha et al. (2012) também indicam em seu trabalho esta tendência de perda de nitrogênio quando se utiliza a brachiaria.

Decorrente direta da diferença estatística observada para o nitrogênio, a relação C/N também diferiu para os tratamentos T2 e T4, expressando uma maior porcentagem de variação.

Outro ponto importante quanto aos compostos orgânicos são as reduções de volume e peso e conseqüente aumento do peso específico obtidos pela aplicação da técnica de tratamento sobre o resíduo. A análise estatística feita para estes parâmetros pode ser observada na Tabela 19.

Tabela 19 – Análise estatística da variação de volume, peso e peso específico

TRATAMENTOS ⁽¹⁾	Variação dos parâmetros ⁽²⁾		
	Redução % Volume	Redução % Peso	Aumento % Peso Específico
T1 ⁽³⁾	51,6 a	34,0 c	36,3 a
T2	43,3 a	20,3 b	40,7 a
T3	42,3 a	14,6 a	48,0 a
T4	39,0 a	14,6 a	43,0 a
T5	45,6 a	12,6 a	58,0 a

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Teste estatístico de Scott-Knott. Letras iguais nas colunas implicam em equivalência estatística dos valores, ao nível de 5% de significância.

⁽³⁾ O tratamento T1 não contava com a presença de minhocas nos reatores, porém suas análises foram realizadas da mesma maneira que nos demais tratamentos a fim de comparação.

Fonte: A autora.

A redução percentual média do volume nos cinco tratamentos não diferiu estatisticamente, ao nível de 5% de significância. Já quanto ao peso, o tratamento T1 e o tratamento T2 diferenciaram-se entre si e também dos demais, o que certamente está relacionado às próprias características dos materiais dos tratamentos T3, T4 e T5, os quais possuíam os menores pesos iniciais, reduzindo em percentuais menores também. Por fim, o aumento percentual de peso específico também não sofreu diferenciação estatística a 5 % de significância. Estas constatações confirmam a viabilidade da logística, armazenamento e transporte de

compostos orgânicos, uma vez que todos os tratamentos atingiram com a vermicompostagem, valores equiparáveis de aumento de peso específico (SBIZZARO, 2013).

5.2.6 Comportamento das minhocas na vermicompostagem

O Gráfico 12 apresenta os valores obtidos nas contagens de minhocas (indivíduos sexualmente maduros¹⁴), por vermireator, durante o período de vermicompostagem.

O período indicado por '42-45' indica os três primeiros dias onde foram realizadas a introdução inicial e a primeira reintrodução de minhocas depois de feita a adaptação com o plástico firme ao fundo do vermireator para uma maior manutenção da umidade do substrato. A contagem do dia 49 foi realizada para conferir se a ação anterior havia sido eficaz, no entanto ainda percebeu-se fuga acentuada em T2 e T4. Diferentes explicações podem ser dadas ao comportamento destes dois tratamentos. Para o tratamento T2, o processo de vermicompostagem iniciou-se com C.E. próxima à $1300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, valor ainda dentro do relatado como suportável pelas minhocas, mas elevado se comparado com os demais apresentados neste trabalho. Já para o tratamento T4, a explicação mais provável está relacionada à própria característica de difícil degradação da casca de arroz por meio da ação das minhocas. Uma vez que as minhocas encontraram dificuldade em obter o carbono necessário para sua assimilação e crescimento da biomassa, saíram do reator em busca de melhores fontes de alimentação. Os reatores do tratamento T5, alocados próximo aos reatores do tratamento T4, foram o destino das minhocas fugidas, uma vez que ali se encontrava uma fonte de carbono mais degradada, o que facilitava a sua assimilação, e justifica a observação de 34 minhocas no vermireator R2 no 49º dia de estudo.

¹⁴ Indicados pela presença de clitelo.

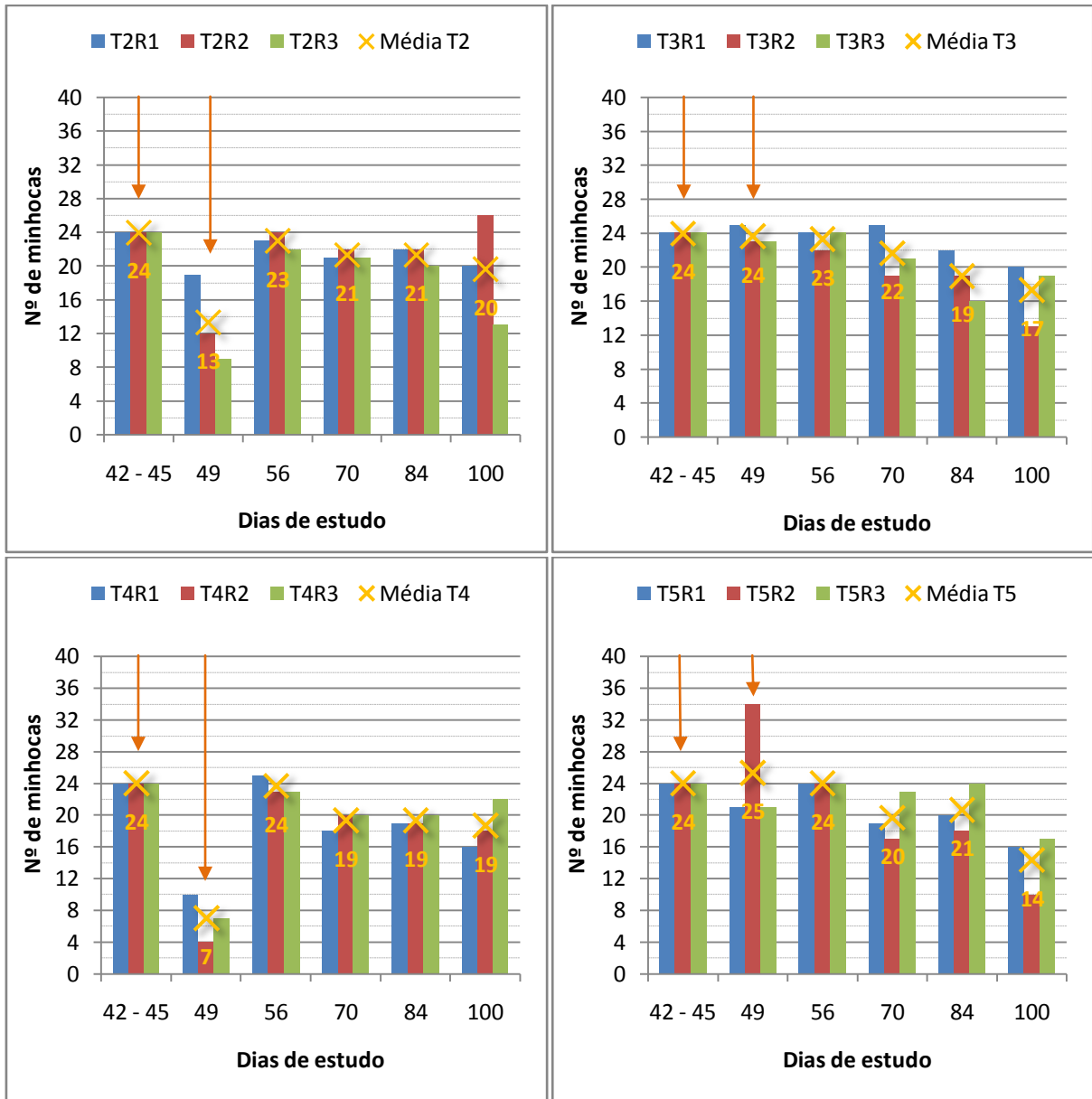


Gráfico 12 – Contagem das minhocas nos vermifirreos

Nota: Ti – indicam o tratamento; Ri – Indicam a repetição (triplicata); X e valores em amarelo indicam as médias simples de minhocas por tratamento.

Nota: Setas em laranja indicam a introdução ou reintrodução das minhocas.

Fonte: A autora.

Neste momento o TNT foi colocado para que se evitasse novamente a fuga das minhocas pelas laterais do vermifirreos. A partir daí os demais dias de estudo indicados no gráfico referem-se aos momentos de contagem sequenciais a fim de perceber a adaptação da espécie no substrato. Além das minhocas maduras sexualmente era observado se havia indivíduos jovens e/ou casulos no substrato, indicando que a reprodução estava acontecendo. Já na contagem do 56º dia de estudo foi verificada a presença de ambos (jovens e casulos) nos tratamentos T2, T3 e T5. Na contagem do 70º dia eram notadas todas as fases de desenvolvimento da

Eisenia foetida (Figura 32) nos quatro tratamentos, com destaque positivo para o tratamento T5, com grande número de indivíduos jovens, e negativo para o T4, com poucas aparições.



Figura 32 – Fases de desenvolvimento da *Eisenia foetida* observadas na vermicompostagem

Nota: A – Indivíduos jovens; B – casulos.

Fonte: A autora.

No 100º dia de estudo foi realizada também a contagem dos indivíduos jovens e casulos. O Gráfico 13 apresenta as médias simples dos valores obtidos para as repetições de cada tratamento.

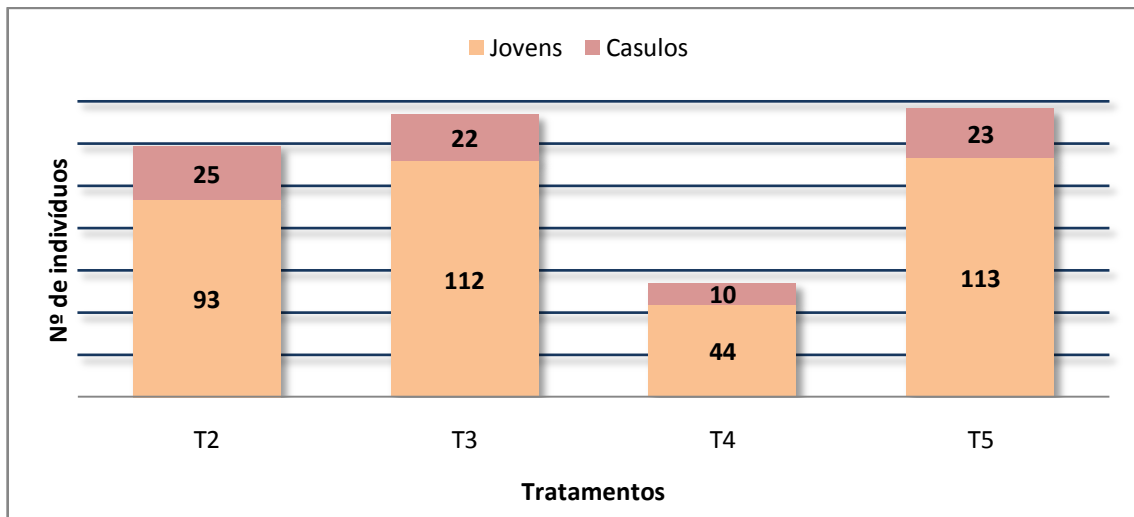


Gráfico 13 – Número de indivíduos jovens e casulos encontrados na contagem final

Fonte: A autora.

É possível notar que o tratamento T5 foi o mais propício à reprodução da espécie e muito parecido com T3. Já o T4 mostrou-se ser o menos propício. Esta diferença tão significativa infere que a brachiaria auxiliou nas características do

substrato a ponto de melhorar suas condições para o desenvolvimento das minhocas.

O mesmo pode ser notado para os tratamentos com sepilho – T2 e T3. O tratamento T2 – sepilho sem a adição da brachiaria – se mostrou mais estável quanto ao número de minhocas sexualmente maduras, porém apresentou um número de indivíduos jovens e casulos menor que o tratamento T3. Assim, reforça-se o benefício da brachiaria inclusive para a reprodução da *Eisenia foetida*.

5.3 COMPOSTAGEM

5.3.1 Temperatura

Os perfis de temperatura dos cinco tratamentos durante a compostagem, bem como seus valores de médias semanais estão apresentados no Gráfico 14.

Primeiramente vale destacar que a etapa de compostagem é uma continuação da pré-compostagem analisada anteriormente neste trabalho. Deste modo, no que se refere à temperatura, todos os tratamentos já apresentaram, no período dos primeiros 42 dias, a fase termofílica (acima de 50°C).

Durante esta segunda etapa, onde se prosseguiu com os materiais em leiras, o tratamento T1 continuou com a temperatura mais elevada até por volta do 60º dia de estudo. Este período de degradação ativa também foi constatado por Carneiro (2012) ao compostar resíduos agroindustriais – dentre eles resíduo de incubatório, casca de milho, farelo de trigo, lodo de flotor, cinza de caldeira e fração sólida de dejetos e dos resíduos de lavagem dos caminhões. Somente a partir do 80º dia o tratamento T2 superou T1 (em valores) e manteve a maior temperatura média dentre os tratamentos.

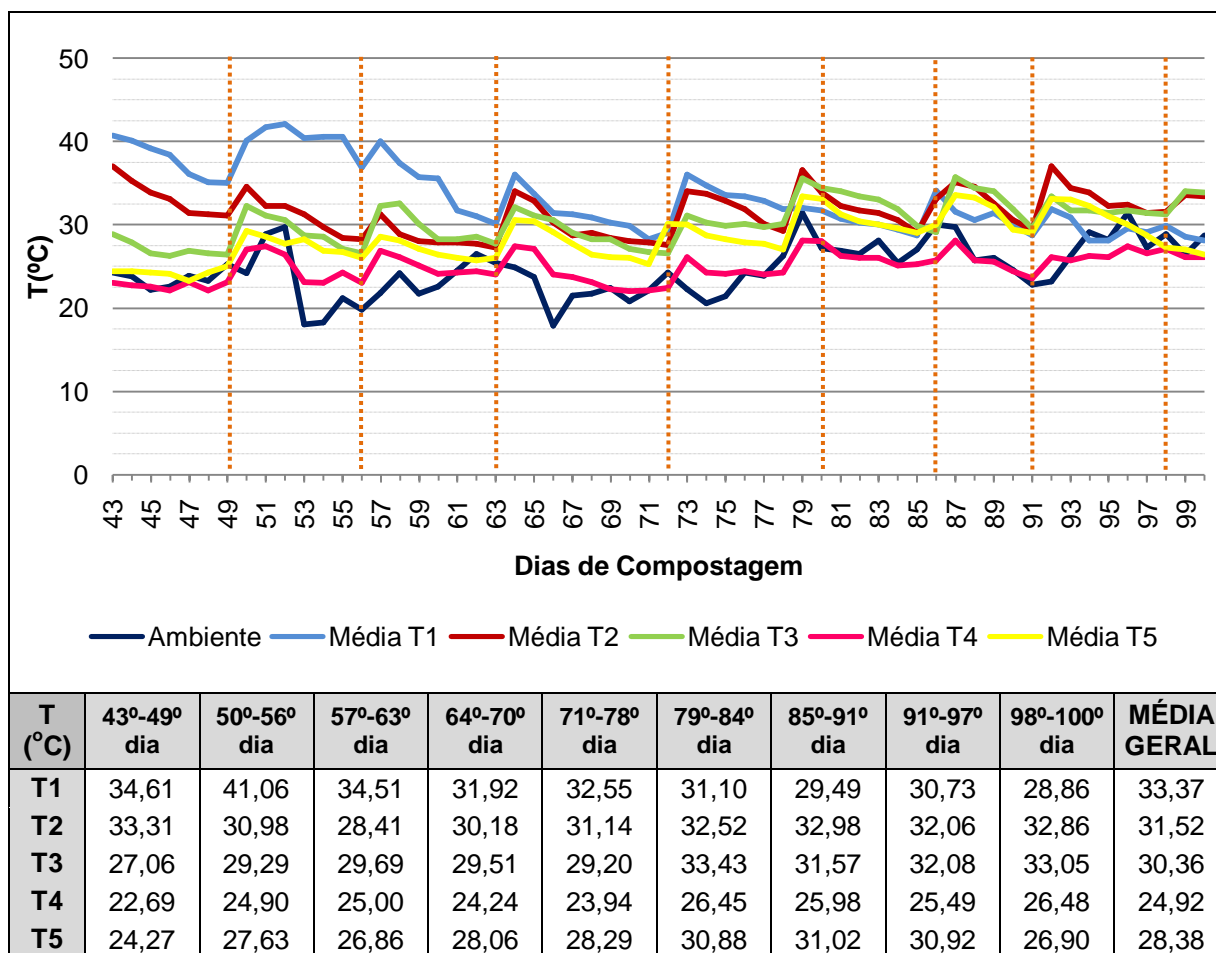


Gráfico 14 – Monitoramento da temperatura nos cinco tratamentos durante a compostagem

Nota: Linhas tracejadas na vertical indicam os dias em que foram realizados os revolvimentos.

Nota: Valores representam as média dos pontos monitorados.

Fonte: A autora.

O tratamento T4 foi o que apresentou as menores médias semanais e também média geral de temperatura durante as duas etapas (pré-compostagem e compostagem). Comportamento semelhante foi observado por Costa et al. (2005) quando em seu trabalho os autores percebem que os valores de temperatura média de suas leiras tenderam a ser sempre menores nos tratamentos com boa aeração. A casca de arroz, material muito volumoso, que se encontrava praticamente inalterado ainda no início da compostagem, é de difícil compactação, característica esta que garante uma aeração maior deste tratamento comparado aos demais. Observa-se também que o segundo tratamento com as menores médias é o tratamento T5, ratificando a influencia da casca de arroz neste parâmetro.

Seguindo a mesma tendência da pré-compostagem, a maioria das vezes em que se realizava o revolvimento da pilha os valores médios de temperatura se elevavam. Tal observação corrobora com as constatações de Brito et al. (2008) e

Carneiro (2012) que, ao estudarem a influência da frequência de revolvimento sobre leiras de compostagem, verificaram elevações expressivas nos valores médios de temperatura após a aeração manual do material. No entanto cabe ressaltar que nesta segunda etapa as leiras ficaram mais suscetíveis às variações da temperatura ambiente. Quando era constatado mudança abrupta na temperatura ambiente, as pilhas sofriam decréscimo mais significativo em seus valores médios de temperaturas, fato este que pode ser observado mais sutilmente na pré-compostagem.

Brito et al. (2008), ao compostarem a fração sólida do dejetos de exploração de pecuária leiteira com e sem adição de palha, diferenciando pilhas estáticas e com revolvimento, e Barbieri et al. (2009), compostando bagaço de cana-de-açúcar de indústrias do setor sucroalcooleiro, atingiram, aos 100 dias de estudo, médias de temperatura próximas à temperatura ambiente, condizente com o que foi observado no presente estudo.

5.3.2 Redução de volume e peso

A redução de volume no processo de compostagem pode ser observada na Tabela 20.

Tabela 20 – Redução de volume nas leiras de compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
Volume (m ³)	43 (7 ^a semana)	0,1713	0,2247	0,1599	0,2266	0,2585
	100 (15 ^a semana)	0,0952	0,1695	0,1161	0,2132	0,1637
	Redução ⁽²⁾	44,42%	24,57%	27,39%	5,91%	23,90%
	Redução Total ⁽³⁾	79,38%	40,65%	64,45%	19,96%	44,17%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Considerando apenas a etapa de compostagem.

⁽³⁾ Considerando apenas a somatória das etapas de pré-compostagem e compostagem, uma vez que houve retirada do material para ser colocado nos vermicompostores.

Fonte: A autora.

Conforme se pode observar na Tabela 20, as maiores reduções totais de volume foram obtidas para os tratamentos T1 (79,4%), T3 (64,5%) e T5 (44,2%), valores estes que estão em consonância com o observado por Pires (2010), que diz que ao final do processo de compostagem espera-se que o material reduza até 80% seu volume.

Para o tratamento T1, a explicação desta expressiva redução pode estar relacionada à longa fase de degradação ativa sofrida pelo tratamento, evidenciada pelas elevadas temperaturas que permaneceram por um maior período de tempo se comparado aos demais. Já para T3 e T5, seguindo a mesma tendência da pré-compostagem, os tratamentos acrescidos de brachiaria demonstraram uma maior redução de volume do que os tratamentos sem a gramínea – T2 e T4, respectivamente. A inferência feita a partir disso é que muito mais do que a redução de seu próprio volume, a brachiaria auxiliou na degradação do material consorciado (sepilho e casca de arroz) possibilitando uma maior redução do volume do conjunto.

O tratamento T4 foi o que apresentou a menor redução de volume na compostagem, como também já havia ocorrido na pré-compostagem, culminando em uma redução total de volume menor que 20%. A casca de arroz, material de lenta biodegradação, permanece inalterada por longos períodos de tempo (DAROS, 2010). Provavelmente por conta disso, seu volume não foi reduzido no intervalo percentual esperado para a compostagem, o que acaba por demonstrar que a brachiaria seria uma boa alternativa de associação para que se obtenha um menor volume ao final do processo.

O Gráfico 15 apresenta um comparativo das reduções de volume nas duas etapas realizadas (pré-compostagem e compostagem) para cada um dos tratamentos.

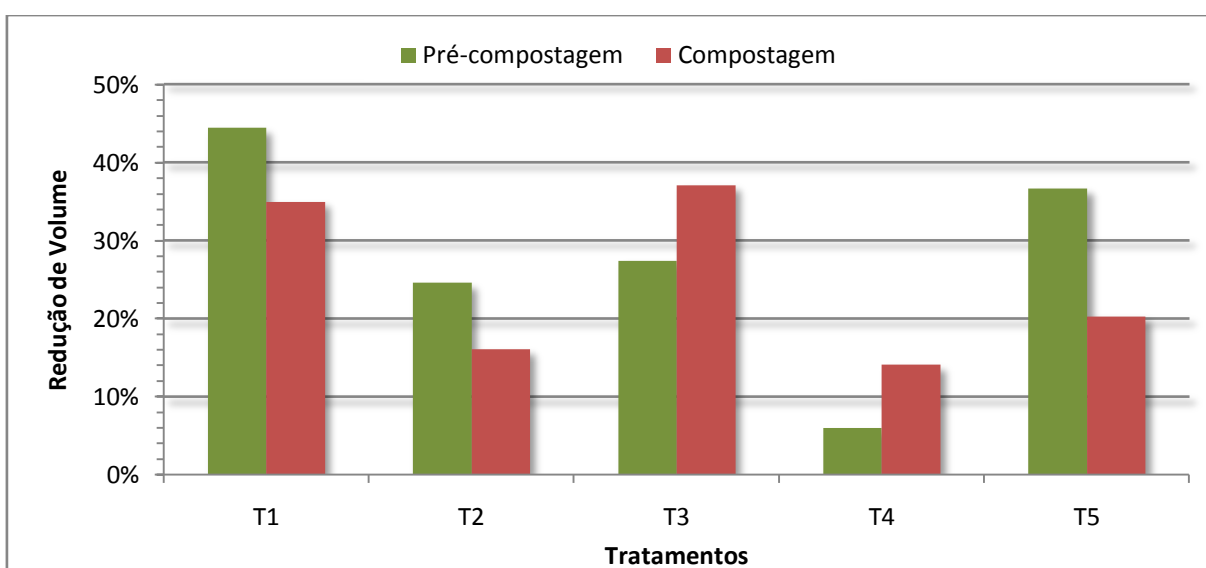


Gráfico 15 – Comparativo da redução percentual de volume nas etapas de pré-compostagem e compostagem

Nota: T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

Fonte: A autora.

Por meio do Gráfico 15 é possível constatar que T1, T2 e T5 sofreram suas maiores reduções de volume durante a pré-compostagem, enquanto que T3 e T4 foram durante a compostagem. Para T1 e T2 tal constatação pode estar relacionada à intensa fase de degradação ativa dos resíduos, pela ação de micro-organismos. Já para T3 e T5, ambos com brachiaria em sua composição, a redução muito significativa na primeira etapa seria explicada pela redução do volume da gramínea. No entanto, considerando que para as duas esta redução foi expressiva na primeira etapa, o que determinou a diferença dos percentuais de redução demonstradas pelo gráfico foram os outros resíduos associados nos tratamentos. Para a casca de arroz do tratamento T5 não se esperava grandes reduções após a degradação da brachiaria (que ocorreu na pré-compostagem). Rocha et al. (2012) já haviam mencionado tal característica do resíduo. No entanto, para T3 esperava-se uma redução progressiva do material que estava sendo compostado. Assim, mesmo depois de o volume da brachiaria ser plenamente reduzido, o sepilho continuou sua redução, apresentando então, devido ao maior tempo de realização da segunda etapa, a redução de seu volume.

A redução de peso pode ser observada na Tabela 21.

Tabela 21 – Redução de peso nas leiras de compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
Peso (kg) ⁽²⁾	43 (7ª semana)	21,5	28,9	22,7	25,2	23,6
	100 (15ª semana)	18,0	23,9	19,7	25,0	21,2
	Redução ⁽³⁾	16,28%	17,30%	13,22%	0,79%	10,17%
	Redução total ⁽⁴⁾	63,34%	41,59%	42,67%	8,80%	36,78%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Peso na base seca.

⁽³⁾ Considerando apenas a etapa de compostagem.

⁽⁴⁾ Considerando apenas a somatória das etapas de pré-compostagem e compostagem, uma vez que houve retirada do material para ser colocado nos vermicompostadores.

Fonte: A autora.

A redução total de peso do tratamento T1 se destacou. Pode-se afirmar que a maior redução de peso foi devido à maior degradação da matéria orgânica evidenciada pelas mais elevadas temperaturas observadas e mantidas por um maior período de tempo, consequência direta da intensa atividade microbiana.

Para os tratamentos confeccionados com sepilho observa-se que em T2 a redução do peso na compostagem foi um pouco maior quando comparado com T3.

A temperatura também pode ter influenciado na obtenção deste resultado, visto que a média da primeira semana de compostagem foi significativamente maior em T2. No entanto, tais tratamentos equiparam-se quanto à redução total de peso observados por Komar et al. (2011), os quais atingiram reduções entre 30 e 50% ao compostarem camas de equinos saturadas confeccionadas de material palhoso e/ou aparas de madeira, durante 100 dias. Os valores também corroboram com trabalhos realizados com outros tipos de dejetos, como o de Costa (2005), compostagem de dejetos de bovinos, e Sbizarro (2013), compostagem de dejetos de bovino, ovino e palha de cana-de-açúcar.

Já os tratamentos T4 e T5 divergiram bastante. Era esperado que o tratamento T4 tivesse a menor redução de peso visto sua difícil degradação pela ação dos micro-organismos presentes (MAYER, 2006; STEFFEN, 2008; DAROS, 2010). Deste modo, a maior redução de peso no tratamento T5 enfatiza que a aceleração do processo causada pela brachiaria por meio da maior aeração no início da pré-compostagem culminou em um material pré-compostado com melhores características, que também auxiliaram diretamente na redução de peso nesta etapa de compostagem.

O Gráfico 16 faz um comparativo das reduções de peso obtidas nas etapas de pré-compostagem e compostagem.

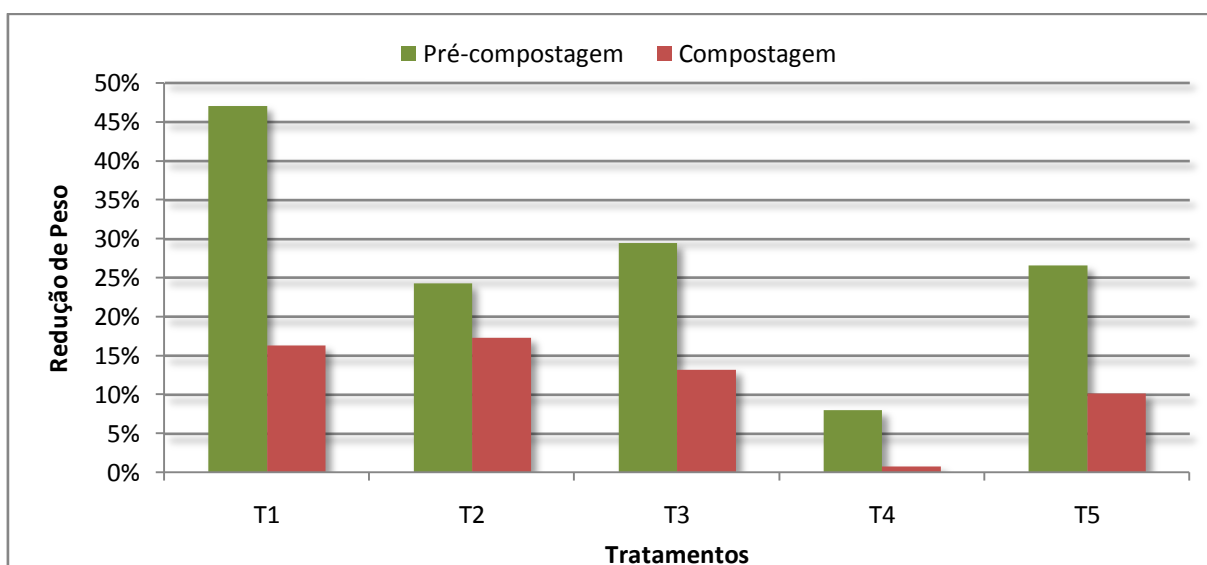


Gráfico 16 - Comparativo da redução percentual de peso nas etapas de pré-compostagem e compostagem

Nota: T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

Fonte: A autora.

Nota-se, por meio do Gráfico 16, que para todos os tratamentos a redução de peso foi mais expressiva na etapa de pré-compostagem, inferindo que a temperatura pode ser fator determinante para a degradação aeróbia dos resíduos. Cabe ressaltar que a diminuição dos revolvimentos pode ter reduzido a agilidade da degradação. Este fato, relacionado principalmente à menor introdução de oxigênio na leira de compostagem, foi caracterizado como fator limitante para o pleno desenvolvimento do processo nos trabalhos de Costa et al. (2005), Brito et al. (2008) e Carneiro (2012).

A Tabela 22 apresenta a variação do peso específico dos materiais. Todos os tratamentos apresentaram aumento em seus pesos específicos, característica desejada para se viabilizar a logística, o armazenamento e o transporte dos compostos orgânicos (SBIZARRO, 2013). Battiola et al. (1998) também relataram aumento no peso específico de seus compostos oriundos de resíduos orgânicos domésticos, esterco bovino e cama de frangos.

Tabela 22 – Aumento do peso específico das leiras de compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
Peso específico (kg/m ³)	1 (1ª semana)	160,39	137,90	119,69	103,03	123,70
	43 (7ª semana)	125,51	128,62	141,96	111,21	91,30
	100 (15ª semana)	189,08	141,00	169,68	117,26	129,51
	Aumento total ⁽²⁾	17,88%	2,25%	41,77%	13,81%	4,69%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Considerando as etapas de pré-compostagem e compostagem.

Fonte: A autora.

De um modo geral, a associação da brachiaria aos resíduos de madeira e arroz (T3 e T5) culminou em resultados contrários. Para T3, a brachiaria – com menor peso que o sepilho – ao reduzir expressivamente o volume, contribuiu para a elevação do peso específico. Em contrapartida, para T5, mesmo a brachiaria reduzindo da mesma maneira seu volume, acabou por influenciar negativamente no resultado final de aumento de peso específico uma vez que no início apresentava-se mais pesada que a casca de arroz.

5.3.3 Aspecto do material

Ao final da compostagem os materiais dos três primeiros tratamentos apresentavam-se descaracterizados, enquanto que dos dois últimos, não. Na Figura 31 estão apresentados os aspectos dos materiais ao final da compostagem.

O tratamento T1 apresentou-se ainda com granulometria perceptível, mas com características de textura e cor totalmente diferentes do momento de montagem das leiras. Os tratamentos T2 e T3 apresentavam apenas alguns poucos pedaços maiores de madeira, os quais não foram totalmente degradados, mas mostravam-se em estado avançado de decomposição. Nestes dois tratamentos, o material se mostrava homogêneo e com bom aspecto – cor escura e brilhante quando úmida, além de um cheiro agradável –, características esperadas para um bom composto orgânico (KIEHL, 1985).

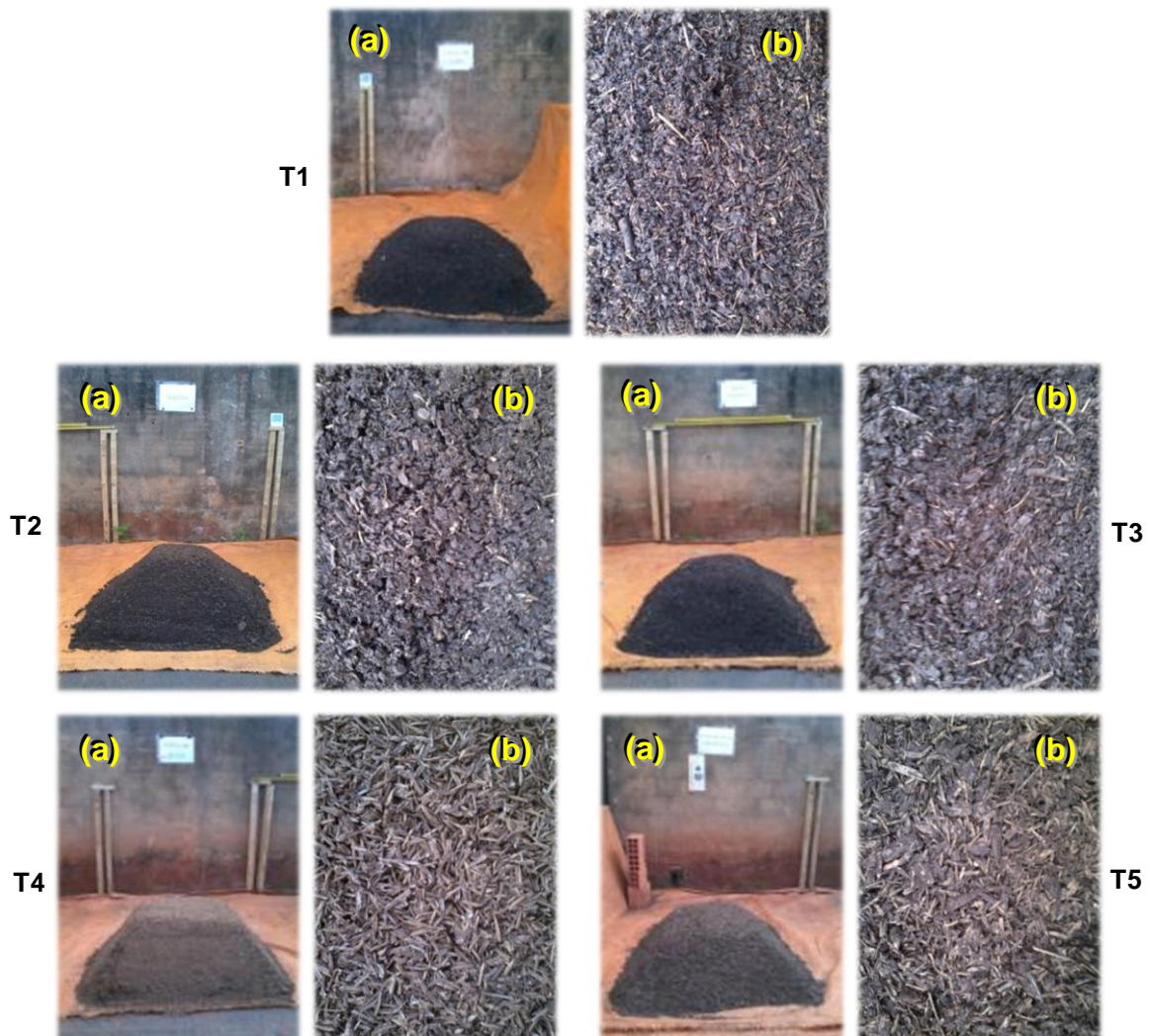


Figura 33 - Aspecto dos resíduos ao final da compostagem

Nota: (a) Aspecto final da leira; (b) Aspecto final do material.

Fonte: A autora.

Especialmente para os dois últimos tratamentos (T4 e T5), confeccionados com a casca de arroz, as características apresentadas pelas pilhas demonstram que, além da necessidade de um período maior de realização da compostagem, o material requer ser colocado junto a resíduos ou dejetos com maiores teores de matéria orgânica biodegradável. Pode-se observar que o tratamento T5 teve uma descaracterização maior que o tratamento T4, o que permite a inferência de que a matéria orgânica acrescida a T5 – a brachiaria – culminou em maior degradação da casca de arroz. Assim, a associação deste resíduo a carcaças de frango, por exemplo, como relatado por Abreu et al. (2011), culminaria em uma massa final de compostagem mais homogênea e com melhor aspecto visual do composto. Em seu trabalho, estes mesmos autores ainda relatam sobre a possibilidade da casca de arroz ser reutilizada por inúmeras vezes como substrato de compostagem, visto sua persistência por vezes inalterada, enquanto que os resíduos colocados junto a ela sofrem total degradação.

5.3.4 Análises físico-químicas

5.3.4.1 pH e Condutividade Elétrica

Na Tabela 23 estão apresentados os valores de pH no início e no final do processo considerado como compostagem.

Tabela 23 – Valores de pH no período da compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
pH ⁽²⁾	43 (7ª semana)	9,20	8,00	8,24	6,24	7,25
	100 (15ª semana)	8,42	7,62	7,89	6,26	6,77

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ pH em água destilada (7,4 e 7,74, respectivamente, para os dois dias de análise).

Fonte: A autora.

Segundo Kiehl (1985) o pH de um composto tende a diminuir no início do processo de compostagem e em seguida aumenta e se estabiliza em meio alcalino, geralmente entre 7,0 e 8,0, que é quando o composto apresenta-se no processo de

maturação. O mesmo autor explica que esse parâmetro fornece boa informação sobre o estado de decomposição da matéria orgânica que foi submetida a um processo de compostagem. Para efeito de interpretação prática, Costa et al. (2005) explicam que no processo de compostagem, considera-se que a matéria-prima obrigatoriamente se acidifica, permanece próxima à neutralidade para indicar que o composto está bioestabilizado e demonstra tendência alcalina para o composto humificado. No entanto, os autores ressaltam a importância desta informação fornecida pelo pH ser complementada por outras, como a relação C/N para que se determine exatamente as etapas pelas quais o composto está passando.

A partir da Tabela 23 é possível notar que na 15ª semana deste estudo o valor do pH dos tratamentos T1, T2 e T3 apresentavam-se na faixa referida por Kiehl (1985). No entanto, os tratamentos T4 e T5 ainda apresentaram valores inferiores, indicando que necessitam de um maior tempo de reação dos ácidos orgânicos com bases liberadas da matéria orgânica, até se gerar compostos alcalinos, parâmetro indicativo do momento de cura do composto (COSTA et al., 2005; SILVA, 2009).

Segundo a Instrução Normativa nº 25/2009 do MAPA, o valor de pH mínimo aceitável para compostos no Brasil é igual a 6,0 (BRASIL, 2009). Sendo assim, mesmo com os valores diferenciando-se uns dos outros, todos os tratamentos deste estudo atendem a legislação em vigor.

A Tabela 24 apresenta os valores de condutividade elétrica inicial e final para o processo de compostagem.

Tabela 24 – Valores de condutividade elétrica no período da compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
C.E. ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) ⁽²⁾	43 (7ª semana)	1702,50	1286,50	1098,00	1192,50	1098,50
	100 (15ª semana)	2643,50	1700,00	1234,50	1077,50	1235,00
	Varição ⁽³⁾	+55,27%	+32,14%	+12,43%	-9,64%	+12,43%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ C.E. em água destilada (2,74 e 0,87 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, respectivamente, para os dois dias de análise).

⁽³⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição.

Fonte: A autora.

A maioria dos valores de condutividade elétrica aumentou do início para o final da compostagem. A exceção foi o tratamento T4. A explicação para estas constatações pode estar relacionada ao volume da leiras. Segundo Souza et al. (2008) uma redução de volume expressiva acarreta na concentração de sais e

tende a aumentar a condutividade aparente do material. O tratamento com o maior aumento de C.E. evidenciado (T1) é também o tratamento que apresentou maior redução de volume. Em contrapartida, o único tratamento que teve redução da C.E. foi o que obteve a menor redução de volume durante a aplicação desta técnica.

5.3.4.2 Série de sólidos

A variação dos sólidos voláteis (SV) e fixos (SF) durante a compostagem pode ser observada na Tabela 25.

Tabela 25 – Variação dos sólidos voláteis e fixos no processo de compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
SV (%)	43 (7ª semana)	76,64	84,09	81,57	75,28	80,87
	100 (15ª semana)	72,95	79,49	76,64	73,25	76,60
	Variação SV ⁽²⁾	-4,82%	-5,48%	-6,05%	-2,69%	-5,27%
	Variação total SV ⁽³⁾	-16,03%	-8,49%	-13,58%	-8,57%	-17,26%
SF (%)	43 (7ª semana)	23,36	15,91	18,42	24,72	19,13
	100 (15ª semana)	27,05	20,51	23,36	26,75	23,40
	Variação SF ⁽²⁾	15,80%	28,91%	26,82%	8,21%	22,32%
	Variação total SF ⁽³⁾	90,97%	50,10%	89,68%	32,62%	180,48%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Considerando apenas a etapa de compostagem.

⁽³⁾ Considerando as etapas de pré-compostagem e compostagem.

Fonte: A autora.

Um ponto notável é que os tratamentos com sepilho apresentaram, durante todo o processo, maiores teores de SV que os tratamentos com casca de arroz. Este comparativo assemelha-se ao constatado por Komar et al. (2011) ao compostar durante 100 dias cama de equinos saturadas confeccionadas com materiais semelhantes ao deste trabalho.

Assim como na a pré-compostagem, nesta etapa de compostagem houve a redução de sólidos voláteis em todos os tratamentos. Pereira Neto (2007) afirma que é esperada uma redução média total de 40% nos SV durante todo o processo (pré-compostagem e compostagem). No entanto, por meio da tabela é possível perceber que os valores percentuais de redução total foram inferiores ao previsto, atingindo valores abaixo dos 20% de redução. Mesmo não atingindo o percentual esperado

pela literatura, o processo como um todo alcançou resultados que corroboram com os de Komar et al. (2011), que encontraram variações de 7 a 16% também na compostagem de cama de equinos saturadas.

Os tratamentos constituídos de sepilho e brachiaria e casca de arroz e brachiaria, T3 e T5, respectivamente, apresentaram reduções percentuais totais maiores que os tratamentos T2 e T4, onde havia os mesmos resíduos, porém sem a gramínea. A explicação disso pode estar relacionada ao fato da gramínea auxiliar na compostagem de ambos os materiais aos quais foi acrescida (ROCHA et al., 2012).

5.3.4.3 Carbono total, Nitrogênio total e Relação C/N

A Tabela 26 demonstra a variação ocorrida com o carbono total e nitrogênio total nos tratamentos durante compostagem.

Tabela 26 – Monitoramento dos teores de Carbono Total e Nitrogênio Total na compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
% C	43 (7ª semana)	34,93	38,39	37,22	34,30	36,89
	100 (15ª semana)	33,23	36,25	34,93	33,36	34,92
	Variação C ^{(2) (3)}	- 4,87%	- 5,57%	- 6,15%	- 2,74%	- 5,34%
	Variação total C ^{(2) (4)}	-16,02%	-8,62%	-13,77%	-8,70%	-17,47%
% N	43 (7ª semana)	2,42	1,62	1,65	0,81	1,39
	100 (15ª semana)	2,75	2,56	2,23	1,09	1,94
	Variação N ^{(2) (3)}	13,56%	58,36%	34,80%	34,76%	39,48%
	Variação total N ^{(2) (4)}	73,65%	88,63%	75,57%	25,64%	62,39%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição.

⁽³⁾ Considerando apenas a etapa de compostagem.

⁽⁴⁾ Considerando as etapas de pré-compostagem e compostagem.

Fonte: A autora.

Como na pré-compostagem, houve redução da porcentagem de carbono total em todos os tratamentos, conforme previsto por Kiehl (2004). Também seguindo a tendência observada na etapa anterior, as maiores reduções de carbono total foram observadas para os tratamentos T5, T1 e T3, nesta ordem. Os tratamentos T3 e T5 – consorciados com brachiaria – obtiveram perdas de carbono total superiores aos tratamentos T2 e T4, respectivamente. Tal fato se explica pela aceleração da degradação dos materiais de T3 e T5 em comparação aos outros (T2

e T4), o que ocasiona uma mais rápida assimilação do elemento pelos micro-organismos e eliminação em forma de gás carbônico (CO₂) (BARREIRA, 2005). Para T1, a expressiva redução do teor de carbono certamente está relacionada à prolongada fase de degradação ativa evidenciada pelas elevadas temperaturas constatadas.

Segundo a metodologia de Carmo et al. (2012), os valores percentuais de carbono orgânico para o 100º dia de estudo são 28,94, 31,72, 30,51, 29,07 e 30,49%, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Segundo a Instrução Normativa nº25/2009 do MAPA, o valor do teor de carbono mínimo para compostos é igual a 15% (BRASIL, 2009), parâmetro este atendido por todos os tratamentos.

A variação do nitrogênio total também ocorreu conforme previa Kiehl (2008), com aumento aparente do nutriente em detrimento da degradação acentuada do carbono. Komar et al. (2011), ao estudarem a compostagem de cama de equinos confeccionadas com palha e aparas de madeira (separadamente) obtiveram valores de aumento do teor de nitrogênio total variando entre 142 e 56%, respectivamente para os resíduos citados. Orrico Junior et al. (2012), ao estudarem a compostagem de dejetos bovinos alimentados com diferentes relações volumoso:concentrado, perceberam aumentos relativos de nitrogênio entre 60 e 70%. Já o trabalho de Muniz et al. (2001), de compostagem de palhas de milho e feijão acrescidos ou não de restos de frutas, apresentou média de aumento relativo de nitrogênio inferiores a 45-60%. Deste modo, os resultados apresentados pelo presente trabalho estão, de certa maneira, próximos aos encontrados na literatura para vários tipos de dejetos.

Particularmente para as características evidenciadas para os tratamentos com casca de arroz, Abreu et al. (2011) elucidam que, ao compostar carcaças de aves em diferentes substratos, percebeu-se aumento relativo do teor de nitrogênio superior a 75% para a composteira confeccionada com este resíduo, resultado este bem diferente do encontrado neste trabalho para o tratamento puro de casca de arroz. No entanto, a explicação para tal fato é associada à escassez de matéria orgânica facilmente degradável no tratamento. Ratificando tal hipótese, percebe-se que quando acrescida de brachiaria, o valor do percentual de aumento relativo do nitrogênio no tratamento resulta acima dos 62%, valor este mais próximo ao encontrado por Abreu et al. (2011).

Analisando os compostos orgânicos obtidos quanto a sua possibilidade de aplicação no solo, a Instrução Normativa do MAPA de nº25/2009 indica que o valor mínimo do teor de nitrogênio deve ser igual ou superior a 0,5% (BRASIL, 2009). Tal requisito é atendido por todos os tratamentos.

A Tabela 27 apresenta as relações C/N inicial e final, bem como sua variação percentual.

Tabela 27 – Valores das relações C/N no período da compostagem

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos ⁽¹⁾				
		T1	T2	T3	T4	T5
C / N	1 (1ª semana)	26,83 / 1	31,94 / 1	34,53 / 1	40,95 / 1	37,39 / 1
	43 (7ª semana)	14,43 / 1	23,79 / 1	22,54 / 1	42,29 / 1	26,52 / 1
	100 (15ª semana)	10,53 / 1	12,38 / 1	13,70 / 1	26,59 / 1	15,72 / 1
	Redução C/N ⁽²⁾	27,03%	47,95%	39,19%	37,24%	40,78%
	Redução total C/N ⁽³⁾	60,75%	61,24%	60,32%	35,07%	57,96%

⁽¹⁾ T1 – Casca de café; T2 – Sepilho; T3 – Sepilho + brachiaria; T4 – Casca de arroz; T5 – Casca de arroz + brachiaria.

⁽²⁾ Considerando apenas a etapa de compostagem.

⁽³⁾ Considerando as etapas de pré-compostagem e compostagem.

Fonte: A autora.

Contemplando as duas etapas – Pré-compostagem e Compostagem – todos os tratamentos apresentaram reduções da relação C/N. Os trabalhos de Amorim (2002), Cekmecelioglu et al. (2005), Brito et al. (2008); Barbieri et al. (2009), Abreu et al. (2011); Bernardi (2011), Komar et al. (2011), Carneiro (2012) também apresentaram tal comportamento.

As reduções percentuais encontradas aqui estão próximas às obtidas por: a)

- Komar et al. (2011) – valores entre 30 e 50% para a compostagem de camas de equinos saturadas confeccionadas de aparas de madeira e/ou material palhoso;
- Costa et al. (2005) – aproximadamente 80% ao compostar, por 100 dias, resíduos de algodão e conteúdo ruminal;
- Brito et al. (2008) – 59,2% compostando por 150 dias a fração sólida do esterco bovino associada a palha de cevada;
- Barbieri et al. (2009) – 68,3% com 100 dias de compostagem de bagaço de cana de açúcar e esterco bovino; e
- Carneiro (2012) – 69,1% compostando diversos resíduos agroindustriais, dentre eles resíduo sólido de suíno e material palhoso.

Segundo a determinação da Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009, do MAPA compostos já maturados devem atender a exigência de relação C/N máxima de 20. Nota-se que apenas o tratamento T4 não atingiu tal valor, necessitando, portanto, de um maior tempo de processo ou introdução de material nitrogenado (mais dejetos) para auxiliar na degradação da fração carbono ainda presente na casca praticamente inalterada.

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM

Sucintamente, os principais resultados finais obtidos para os compostos formados a partir das diferentes técnicas de tratamento das camas de equinos – compostagem e vermicompostagem – estão apresentados na Tabela 28. Observa-se que se o objetivo do tratamento de resíduos for redução de volume, peso, aumento do peso específico e obtenção de um composto final com menor condutividade elétrica, a técnica mais indicada é a vermicompostagem.

Quanto aos teores de carbono total, carbono orgânico e nitrogênio total dos compostos e vermicompostos, os valores obtidos foram muito semelhantes. No entanto, a compostagem demonstrou ser a técnica mais adequada para a obtenção da relação C/N desejada para adubação orgânica, atingindo os parâmetros definidos pela Instrução Normativa nº25/2009 (BRASIL, 2009) para todos os tratamentos, exceto T4. Já a vermicompostagem, para os tratamentos estudados, não atendeu ao requisito relação C/N final do adubo orgânico, inviabilizando assim sua comercialização como tal.

Com relação aos tratamentos, observou-se que a brachiaria auxilia no processo de degradação do material, sendo interessante do ponto de vista de descaracterização do resíduo e condução do processo (maior aeração proporcionada). As duas composições com casca de arroz (mesmo aquela compostada com a brachiaria) apresentaram-se desfavoráveis em relação aos demais tratamentos, uma vez que este resíduo se mostrou extremamente resistente à decomposição. Por isso, o tratamento que seria indicado para aplicação em larga escala é a composição sepilho e brachiaria.

Tabela 28 – Comparação entre os resultados finais obtidos pelas diferentes técnicas

Parâmetro	Compostagem					Vermicompostagem				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Tratamento										
Redução de Volume (%) ⁽¹⁾	44,42	24,57	27,39	5,91	36,67	-	43,11	42,22	38,89	45,78
Redução de Peso (%) ⁽¹⁾	16,28	17,30	13,22	0,79	10,17	-	21,59	17,57	11,88	11,24
Aumento Peso específico (%) ⁽¹⁾	50,64	9,63	19,52	5,44	41,85	-	40,08	47,37	43,21	57,06
pH final	8,42	7,62	7,89	6,26	6,77	-	7,52	7,70	6,52	6,55
C.E. final	2643,50	1700,00	1234,50	1077,50	1235,00	-	1102,33	1050,33	782,00	1045,67
% final CT	33,23	36,25	34,93	33,36	34,92	-	37,05	35,48	32,82	35,20
% final CO	28,94	31,72	30,51	29,07	30,49	-	32,45	31,01	28,57	30,75
% final NT	2,75	2,56	2,23	1,09	1,94	-	2,42	2,11	1,18	1,64
Relação C/N final	10,53 / 1	12,38 / 1	13,70 / 1	26,59 / 1	15,72 / 1	-	15,33 / 1	16,79 / 1	27,94 / 1	21,52 / 1

⁽¹⁾ Analisando apenas as porcentagens reduzidas após a diferenciação das técnicas.

Nota: Parâmetros destacados (amarelo) constam na IN-25/09; Resultado em verde – dentro do limite permitido; Resultados em vermelho – fora do limite permitido.

Fonte: A autora.

6 CONCLUSÕES

A partir deste estudo conclui-se para a etapa de pré-compostagem que:

- Todos os tratamentos atingiram a fase termofílica, indicando a possível sanitização dos resíduos;
- Todos os tratamentos sofreram redução de volume e peso, com destaque para T1;
- Ao término desta fase os materiais já estavam parcialmente descaracterizados, exceto os tratamentos com casca de arroz;
- Houve redução dos SV, CT e CO em todos os tratamentos, com destaque para os tratamentos que continham brachiaria;
- A perda real de N foi menor nos tratamentos com sepilho (T2 e T3). Contudo, os tratamentos que continham brachiaria também apresentaram perdas menores deste nutriente, inferindo que a gramínea auxiliou na mineralização do mesmo.

Quanto ao processo da vermicompostagem e o comportamento das minhocas da espécie *Eisenia foetida*, os principais resultados obtidos foram:

- O tratamento T1 não foi propício à sobrevivência das minhocas;
- As reduções de volume não tiveram diferenças significativas nos tratamentos e todos os vermicompostos apresentaram aumento em seus pesos específicos;
- Ao término do período, os tratamentos T2 e T3 apresentavam-se totalmente descaracterizados, enquanto que os tratamentos T4 e T5, não;
- Todos os vermicompostos atendem a indicação da legislação quanto ao pH e N total;
- Houve redução dos SV, CT, CO e relação C/N para todos os tratamentos, no entanto, os valores ainda não atingiram teores condizentes para aplicação agrícola.
- Os tratamentos T3 e T5 tiveram o maior número de minhocas ao término do processo;

Quanto ao processo da compostagem, os principais resultados obtidos foram:

- Ao final deste processo os materiais de T1, T2 e T3 apresentaram-se descaracterizados, enquanto que dos T4 e T5, não.
- O processo ocorreu em meio alcalino para T1, T2 e T3 e ácido para T4 e T5;
- Houve redução dos SV, CT e CO para todos os tratamentos, com destaque para os tratamentos aos quais foi associada à brachiaria.
- Os valores mínimos de %CO mostraram-se condizentes com o que é exigido para aplicação agrícola;
- Com exceção do T4, todos os tratamentos apresentaram diminuição significativa da relação C/N neste período, o que possibilitou que todos os tratamentos atingissem o valor necessário para aplicação agrícola.

Por fim, tanto na vermicompostagem quanto na compostagem observou-se que a brachiaria auxiliou diretamente na degradação dos resíduos aos quais foi acrescida – sepilho e casca de arroz – uma vez que possibilitou maior aeração. Considerando que a casca de arroz é de difícil degradação, o material mais recomendado como cama de equinos, para fins de tratamentos dos resíduos após o uso, é o sepilho acrescido de brachiaria. Quanto ao sistema de tratamento, a compostagem se mostrou mais eficiente que a vermicompostagem do ponto de vista do atendimento aos parâmetros legais para aplicação do adubo no solo para as condições e tempo vivenciados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Pecuária Brasileira**. 2013. Disponível em: < http://www.abiec.com.br/3_pecuaria.asp >. Acesso em 23 jun. 2013.

ABREU, P.G. de; et al. Casca de arroz e palhada de soja na compostagem de carcaças de frangos de corte. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.33, n.1, p.51-57. Maringá - PR. 2011

AIRAKSINEN, S.; HEINONEN-TANSKI, H.; HEISKANEN, M.L. Quality of different bedding materials and their influence on the compostability of horse manure. **Journal of Equine Veterinary Science**, v.21, n.3, p. 125-130, 2001.

AMORIM, A.C. **Caracterização dos dejetos de caprinos**: reciclagem energética e de nutrientes. 2002, 108f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2002.

AMORIM, A.C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K.T. Compostagem e vermicompostagem de dejetos de caprinos: efeito das estações do ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.57-66, jan./abr 2005.

ANDERSON, M. Performance of bedding materials in affecting ammonia emissions from pig manure. **J. agric. Engineering Res.** v.65, p.213-222, 1996.

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.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20ed. Washington: American Public Health Association, 1998. 1193p.

AQUINO, A.M.; ALMEIDA, D.J.; SILVA, V.F. Utilização de minhocas na estabilização de resíduos orgânicos: Vermicompostagem. **Comunicado técnico – Embrapa Agrobiologia**. n.8, p.1-6, jun.-dez.1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.007 – Resíduos Sólidos**: Amostragem. São Paulo, SP, 2004.

BACHA, C.J.C. **Definição e importância da agropecuária e do agronegócio na economia brasileira.** ESALQ - USP, São Carlos. 2009. 55p.

BARBIERI, R.H.T.; BARCELOS, I.S. Produção de fertilizante orgânico a partir do bagaço de cana-de-açúcar: Uma alternativa para o gerenciamento do resíduo oriundo de indústrias sucroalcooleiras. In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. **Anais...** Uberlândia, 2009. 5p.

BARBOSA, J.D.; OLIVEIRA, C.M.C.; TOKARNIA, C.H.; PEIXOTO, P.V. Fotossensibilização hepatógena em eqüinos pela ingestão de *Brachiaria humidicola* (*Gramineae*) no Estado do Pará. **Pesq. Vet. Bras.** v.26, p.147-153, jul./set. 2006.

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

BATTIROLA, D.M.; TORRES; V.S.; SCHERER, E.E. Avaliação da compostagem do lixo orgânico e do esterco bovino por diferentes agentes biológicos. **Biotemas**, v.11, n.2. p.71-84. 1998.

BERGMANN, J.A.G.; COSTA, M.D.; MOURÃO, G.B.. Formação estrutura genética da raça pônei Brasileira. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.49, p.251-259, 1997.

BERNARDI, F.H. **Uso do processo de compostagem no aproveitamento de resíduos de incubatório e outros de origem agroindustrial.** Dissertação – Mestrado em Engenharia Agrícola – Centro de Ciências Exatas e Tecnologias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos.** São Carlos: EDUSP, 1999. 109p.

BORNHAUSEN, E.B.C. **Uso de Oligochaetas como indicador de alteração química em solos submetidos à adição de resíduos de suinocultura e mineração de carvão.** 2010, 50f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Equídeos.** Página na Web. MAPA/ACS, 2013. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/equideos> >. Acesso em 22 jun. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, de 23/07/2009**. Disponível em: < <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=20542> > Acesso em 13 nov., 2013.

BRITO, L.M.; AMARO, A.L.; MOURÃO, I.; COUTINHO, J. Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino. **R. Bras. Ci. Solo**, vol.32. p.1959-1968, 2008.

CARDOSO, T.F. **O estudo das administrações de centros hípicas, visando o emprego estrutural nos centros hípicas militares**. Monografia (Pós-graduação em Equitação) – Escola de Equitação do Exército, Exército Brasileiro. Rio de Janeiro, 2010.

CARLESSO, W.M.; RIBEIRO, R.; HOEHNE, L. Tratamento de resíduos a partir de compostagem e vermicompostagem. **Revista Destaques Acadêmicos**. CETEC/UNIVANTES, ano 3, n.4, p.105-110, 2011.

CARMO, D.L. do; SILVA, C.A.. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.36, n.4, p. 1211-1220, 2012.

CARNEIRO, J.L. **Compostagem de resíduos agroindustriais: revolvimento, inoculação e condições ambientais**. Mestrado – Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2012.

CASTILHOS, R.M.V. et al. Distribuição e caracterização de substâncias húmicas em vermicompostos de origem animal e vegetal. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.32, Número Especial, p.2669-2675, 2008.

CEKMECELIOGLU, D.; DEMERCI,A.; GRAVES,R. E.; DAVITT, N .H.Applicability of optimized in-vessel food waste composting for windrow systems. **Bioresource Technology**, v.91, p.479 – 346, 2005.

CESTONARO, T. et al. Vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovino de corte: Aspectos da estabilização do resíduo. In: X Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola e XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. **Anais...** Londrina, 2012. 4p.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada; CNA, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **PIB do Agronegócio** – Dados de 1994 a 2011. Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: < <http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/> > Acesso em 22 maio 2013.

COSTA, M. D. **Caracterização demográfica e estrutura genética da raça Mangalarga Marchador**. 2002. 99f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária). – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2002.

COSTA, M.S.S.M. et al. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.13, n.1, p.100–107, 2009.

CUNHA-QUEDA, A.C.F. et al. Estudo da evolução de atividades enzimáticas durante a compostagem de resíduos provenientes de mercados horto-frutícolas. Lisboa. **Anais...** Lisboa, p.193-208, 2003.

DAROS, P. **Análise de fertilizantes orgânicos preparados a partir de resíduos gerados no processo de parboilização do arroz**. 2010, 107f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2010.

DIAZ, L.F.; SAVEGE, G.M. Factors that affect the process. In: Diaz, L.F.; De Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W. (Org). **Compost Science and Technology**. 1ed. Stentiford. 2007. p.49-56.

DIAZ, M. J.; MADEJÓN, E.; LÓPEZ, R.; CABRERA, F. Composting of vinasse and cotton gin waste by using two diferente systems. **Resources, Conservation and Recycling**. v.32,p. 235-248, 2002.

DINIZ FILHO, E.T.; et al. A prática da compostagem no manejo sustentável de solos. **Revista Verde**. Mossoró. v.2, n.2, p.27-36, jul.-dez. 2007.

DORES-SILVA, P.R.; LANDGRAF, M.D; REZENDE, M.O.O. Acompanhamento químico da vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico. **Química Nova**, v.34, n.6, p.956-961, 2011.

EDWARDS, C.A. **Earthworm ecology**. Rev. ed. of: Earthworm ecology / edited by Clive A. Edwards2nd ed. 417p. 2004.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Soja. **Procedimento Operacional Padrão: Coleta, Tratamento e Descarte de Resíduos**. 21p. 2012.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para compostagem de bio sólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 79p.

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

FLEMING, K.; HESSEL, E.F.; VAN DEN WEGHE, H.F.A. Evaluation of Factors Influencing the Generation of Ammonia in Different Bedding Materials Used for Horse Keeping. **Journal of Equine Veterinary Science**, v.28, n.4, p. 223-231, 2008.

GARLIPP, F.; HESSEL, E.F.; WEGHE, H.F.A.V.D. Characteristics of gas generation (NH₃, CH₄, N₂O, CO₂, H₂O) from horse manure added to different bedding materials used in deep litter bedding systems. **Journal of Equine Veterinary Science**, v.31, p.383-395, 2011.

GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES. **Lombricultivo (Lombriz Roja Californiana)**. 2011. Disponível em: < <http://grn-36678.blogspot.com.br> > Acesso em 26 jul. 2013.

GODOY, J.R.R. **Vermicompostagem de biossólido obtido de fossas sanitárias, utilizando a *Eisenia foetida* Savigny**. 2006, 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais da Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2006.

GOMES, J.J.A. et al. Composição química de composto orgânico preparado com esterco de equino e leucena. (*Leucaena leucocephala* Lam de Wit). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.3, n.1, p.71-77, 2008.

GONÇALVES, V.P. **Eliminação de *Escherichia coli* shigatoxigênica não-O157 em compostagem de esterco bovino**. 2006. 70f. Tese (Doutorado em Microbiologia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2006.

GUERRA, P.; MEDEIROS, S.A.F. Cavalo: velocidade de R\$ 7,3 bi por ano. **Agroanalysis – Revista de agronegócios da FGV**. Dezembro, 2012. Disponível em: < http://www.agroanalysis.com.br/materia_detalhe.php?idMateria=114 > Acesso em 14 jul. 2013.

HERBETS, R.A.; COELHO, C.R. de A.; *MILETTI, L.C.; MENDONÇA, M.M. de. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. **Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal**, v.6, n.1, jun. 2005.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de dados Agregados: Pecuária – Efetivo de rebanho (1970 – 2006)**. 2013a. Disponível em: <

<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?t=2&z=t&o=24&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1> > Acesso em 14 jun. 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Séries históricas**: Temas e subtemas – Agropecuária – Rebanhos e Produção Animal (dados anuais) – Efetivo dos rebanhos por tipo de rebanho (1974-2011). 2013b. Disponível em: < <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=1&op=0&vcodigo=PPM01&t=efetivo-rebanhos-tipo-rebanho> > Acesso em 14 jun. 2013.

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

ITAPEMA, H. **A importância de uma boa cama de para seu cavalo**. Mundo dos Cavalos. Agosto, 2011. Disponível em: < <http://www.mundodoscavalos.com.br/artigo/a-importancia-de-uma-boa-cama-para-seu-cavalo> > Acesso em 14 jun. 2013.

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

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

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

KOMAR, S.; MISKEWITZ, R.; WESTENDORF, M.; WILLIAMS. C.A. Effects of bedding type on compost quality of equine stall waste: Implications for small horse farms. **Journal of Animal Science**. Vol. 90, p.1069-1075. 2011.

LACERDA, A. et al. **A técnica da compostagem e seu uso na agricultura**. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, SP. Maio, 2012.

LAMIM, S.S.M. et al. Caracterização química e física de vermicomposto e avaliação de sua capacidade em adsorver cobre e zinco. **Química Nova**, v.21, n.3, p.278-283. 1998.

LANDGRAF, M.D.; MESSIAS, R.A.; REZENDE, M.O.O. **A importância ambiental da vermicompostagem: vantagens e aplicações**. São Carlos: Rima, 2005. 106 p.

LAZCANO, C.; GÓMEZ-BRANDÓN, M.; DOMÍNGUEZ, J. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. **Chemosphere** **72**. p.1013–1019. 2008.

LIMA, R. A. S.; SHIROTA, R.; BARROS, G. S. C. **Estudo do complexo do agronegócio cavalo**. Piracicaba: CEPEA/ESALQ/USP, 2006, 251p.

LOUREIRO, D.C. et al. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para produção de insumo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.7, p.1043-1048, jul. 2007.

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

LUCHESE, E.B. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002. 2.ed. 182p.

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

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

MAYER, F.D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J.E. Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz. **XIII SIMPEP** - Bauru, SP. nov. 2006.

NUNES, M.U.C. Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade. **Circular técnico – Embrapa Tabuleiros Costeiros**, Aracaju, n.59, 7p. dez. 2009.

OLIVEIRA, E.C.A. de; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B.. **Compostagem**. Piracicaba, 2008. 32p.

OLIVEIRA, E.M. de; SANTOS, M.J.dos. Influência das minhocas sobre as características químicas de composto, vermicomposto e solo. **Revista de Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 074-081, jan/abr 2009.

OLIVEIRA, P.A.V.; HIGARASHI, M.M. Unidade de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos: Projeto de controle de degradação ambiental decorrente da suinocultura em Santa Catarina. **Documento 114 – Embrapa Suínos**. 39p. Junho, 2006.

ORRICO JUNIOR, M.A.P. AMORIM ORRICO, A.C. LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaça de aves. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v.30, n.3, p.538-545, maio-jun. 2010.

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

ORSOLINI, A. **Sanidade animal**: Manejo e controle sanitário são fundamentais na criação de equinos. Portal Dia de Campo. Fevereiro, 2010. Disponível em: < <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?secao=Gest%E3o&id=21162> > Acesso em 14 jun. 2013.

PAULUS, G.; MÜLLER, A.M.; BARCELLOS, L.A.R. **Agroecologia aplicada**: Práticas e métodos para a agricultura de base ecológica. EMATER/RS. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Porto Alegre, RS. Dez,2000.

PEIXOTO R T G. **Compostagem: Opção para manejo orgânico do solo**. IAPAR, Londrina, PR. 1988. 15 p.

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, mar/maio, 2013.

PEREIRA NETO, T. J. **Manual de compostagem**: processo de baixo custo. Universidade Federal de Viçosa. 2007.

PETRIC. I.; SESTAN, A.; SESTAN, I. Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure. **Process Safety and Environmental Protection**, v.87, p.206-212, 2009.

PIRES, C.P.N. **Cama das bais**: Problema ou solução? III Ciclo de atualização do Cavalo Atleta. Exército Brasileiro e Embrapa Solos. 41p.

PROCÓPIO, A. M.; BERGMANN, J.A.; G. COSTA, M.D. Formação e demografia da raça Campolina. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária de Zootecnia**. Belo Horizonte, v.55, n.3, 2003.

QUEIROZ, F. F. **Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas. Estudo de caso de Londrina**. Mestrado: Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade estadual de Londrina. Londrina, 2007.

REICHERT, G.A.; BIDONE, F.R.A. Dinâmica de uma população de minhocas, durante o processo de vermicompostagem, quando submetida a rega com lixiviado de aterro sanitário. **XXVII Congresso...**, ABES, 8p. 2000.

ROCHA, C. P.; ELÓI JUNIOR, J. J.; FISCHER, J. Análise da eficiência sanitária no tratamento de carcaças avícolas através da compostagem no município de São Sebastião do Oeste-MG. Conexão Ci.: **R. Cient. UNIFOR-MG**, Formiga, v.7, n.2, p.14-27, jul./dez. 2012

RODRIGUES, S. **A pecuária brasileira**. Agromania Produtos Agropecuários. 2012. Disponível em: < <http://www.agromaia.com.br/shownot.php?idb=197> > Acesso em 24 jun. 2013.

RODRIGUES, V.C. et al. Produção de minhocas e composição mineral do vermicomposto e das fezes procedentes de bubalinos e bovinos. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras. v.27, n.6, p.1409-1418, nov./dez., 2003.

SANCHES, A.P.C. **Aplicação do processo de compostagem na estabilização de resíduos de aviário**. 2007, 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade de Aveiro, Lisboa - Portugal, 2007.

SANTOS, J.C.A.; RIET-CORREA, F.; SIMÕES, S.V.D.; BARROS, C.S.L. Patogênese, sinais clínicos e patologia das doenças causadas por plantas hepatotóxicas em ruminantes e eqüinos no Brasil. **Pesq. Vet. Bras.**, v.28, p.1-14, janeiro, 2008.

SARMAH, A. K. Potential risk and environmental benefits of waste derived from animal agriculture. In: (org.) ASHWORTH, G. S.; AZEVEDO, P. **Agricultural wastes** – Agriculture Issues and Policies Series. Nova Science Publishers, p.01-17, 2009.

SBIZZARO, M. **Vermicompostagem a partir de dejetos de ovinos e bovinos com palha de cana-de-açúcar**. 2013. 134f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2013.

SCHENK, M.A.M.; NUNES, S.G.; SILVA, J.M. **Ocorrência de fotossensibilização em equinos mantidos em pastagem de *Brachiaria humidicola***. Comunicado técnico, COT N^o. 40, Maio/91.

SCHNORR, S. **Estudo de caso de compostagem de resíduos de podas urbanas e vermicompostagem de esterco bovino no Centro Estadual de Educação Profissional Manoel Moreira Pena**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) – Faculdade União das Américas. Foz do Iguaçu, 2010.

SCHUNK, N. **Compostagem da cama de equinos: opção para reciclagem do material orgânico**. Sanidade Animal. 2010. Disponível em: < <http://sanidaderural.blogspot.com.br/2013/06/compostagem-da-cama-de-equi-nos-opcao.html> > Acesso em 14 jun. 2013.

SILVA, A.G. **Métodos de produção de composto orgânico a partir de matéria prima vegetal e animal**. 2008, 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura) – Escola Agrotécnica Federal de Muzabinho. Muzabinho, 2008.

SILVA, M. O. S. A. **Análises físico-químicas para controle das estações de tratamento de esgoto**. São Paulo: CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1977, 56p.

SILVA, L.N da. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos agroindustriais**. 2007, 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Cascavel, 2007.

SILVA, W.L.A. **Agronegócio brasileiro: uma oportunidade de investimentos**. 2004. Disponível em < <http://www.geomundo.com.br/geografia-30105.htm> > Acesso em 25 jun.2013.

SOUTO, P. C. et al. Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, p. 125-130, 2005.

SOUZA, P.V.D. de; SPIER, M.; SILVA, D.S. de; SCHÄFER, G. Caracterização química de bagaço de cana -de-açúcar com diferentes tamanhos de partículas e períodos de compostagem. **VI Encontro Nacional sobre Substratos para Plantas - Materiais Regionais Como Substrato**. Realização: Embrapa Agroindústria Tropical, SEBRAE/CE e UFC. Fortaleza – CE. Setembro, 2008.

SOUZA, R.C. et al. Compostagem utilizando esterco bovino, bagaço de cana-de-açúcar e lodo de esgoto como prevenção de impacto ambiental no município de Campo Mourão – PR. In: I Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. **Anais...** Bauru, 2010. 5p.

STEFFEN, G.P.K. **Substratos à base de casca de arroz e esterco bovino para a multiplicação de minhocas e produção de mudas de alface, tomateiro e boca-de-leão.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência Do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. 2008.

TANG, J.C.; SHIBATA, A.; ZHOU, Q.; KATAYAMA, A. Effect of temperature on reaction rate and microbial community in composting of cattle manure with rice straw. **Journal of Bioscience and Bioengineering.** V.104, nº4, p. 312-328, 2007.

TIAGO, P.V.; MELZ, E.M.; SCHIEDECK, G. Comunidade de bactérias e fungos de esterco antes e após vermicompostagem e no substrato hortícola após uso de vermicomposto. **Revista de Ciências Agrônômicas,** Fortaleza, v. 39, n. 02, p. 187-192, Abr./ Jun., 2008.

TEIXEIRA, L.B. et al. Comparação de composto orgânico de Barcarena com adubos orgânicos tradicionais quanto às propriedades químicas. **Comunicado técnico – Embrapa Amazônia Oriental.** n.70, ago.2002.

TRAUTMANN, N.; OLYNCIW, E.. Compost Microorganisms – The Phases of Composting. In: **Cornell Composting, Science & Engineering.** 2005. Disponível em: < <http://compost.css.cornell.edu/microorg.html> > Acesso em 16 mar. 2013.

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2.Ed. Porto Alegre: Dpto. de solos da UFRGS. 1995, 174p.

TUOMELA, M.; VICKMAN, A.; HATAKKA, A. ITÄVAARA, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology.** Vol. 72, Issue 2, p. 169–183. 2000.

UGWUANYI, J. O. Reprocessing and protein enrichment of agricultural wastes by Thermophilic Aerobic Digestion (TAD). In: (org.) ASHWORTH, G. S.; AZEVEDO, P. **Agricultural wastes** – Agriculture Issues and Policies Series. Nova Science Publishers, p. 29-76, 2009.

VALENTE, B.S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arquivo de Zootecnia.** p.59-85, 2009.

VIEIRA, E.R. **Aspectos econômicos e sociais do complexo agronegócio do cavalo no estado de Minas Gerais**. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

VON ZUBEN, K.A. Manejo de dejetos em granjas de postura comercial. **Revista Avicultura Comercial**, n.5, p.19-22, 2005.

WARTELL, B.A.; KRUMINS, V.; ALT, J.; KANG, K.; SCHWAB, B.J.; FENNELL, D.E. Methane production from horse manure and stall waste with softwood bedding. **Bioresource Technology**. Vol. 112, p. 42–50, May 2012.