

Compostagem e vermicompostagem de camas de equinos

Flávia Gonçalves

Tatiane Cristina Dal Bosco

Resumo: O tratamento de resíduos agropecuários é uma preocupação para os produtores que mantêm animais em confinamento. Criadores de equinos buscam alternativas para destinarem corretamente as camas saturadas. 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. Neste capítulo serão relatados os resultados de um trabalho que teve o objetivo de analisar o tratamento de cinco camas de equinos por meio da compostagem e da vermicompostagem. 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 resíduos que compunham os tratamentos foram colocados nas baias e permaneceram até sua saturação. Assim que retirado, os resíduos foram pré-compostados em leira, por 42 dias. Parâmetros físicos (temperatura, redução de volume e peso) e físico-químicos (pH, condutividade elétrica, série de sólidos, teores de carbono e nitrogênio e relação C/N) foram monitorados. 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 por mais 58 dias. Os mesmos parâmetros analisados para a pré-compostagem foram analisados durante a compostagem e a vermicompostagem, acrescentando-se a contagem de minhocas. Os resultados mostraram que 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. Para aplicação em larga escala, recomenda-se a compostagem de sepilho e *brachiaria* visto as melhores

características apresentadas ao longo do processo e a facilidade de execução técnica em uma propriedade rural.

Palavras-chave: Dejeito de equino. *Eisenia foetida*. Resíduos agropecuários.

1 Introdução

O cenário favorável da equinocultura no Brasil é impulsionado pela nova visão que a sociedade tem do animal. Há algum tempo o cavalo, antes tido apenas como meio de transporte ou animal de trabalho, passou a ser utilizado também para fins de lazer, esportes e terapia. Estas vertentes impulsionam outros elos da cadeia produtiva, como insumos, medicamentos e cuidados veterinários, além de diversas atividades financeiras paralelas, como leilões e apólices de seguro animal (VIEIRA, 2011).

A criação de cavalos em confinamento, no entanto, resulta em preocupações para os produtores frente às novas e mais rígidas leis ambientais, sobretudo àquelas relacionadas ao correto tratamento e destinação do resíduo sólido gerado. Um cavalo (455 kg) produz uma média de 0,023 m³ de dejetos por dia, com peso superior a 22,7 kg (USDA-NRCS, 2000). Além do esterco e da urina, o resíduo típico desta atividade apresenta também materiais utilizados como cama para a forração das baias onde os animais permanecem, cuja característica varia com base na gestão local (KOMAR et al., 2012). Diversos materiais são utilizados para tal finalidade, como: casca de arroz, sepilho, gramíneas, dentre outros.

A cama saturada de equinos requer atenção especial ao ser tratada, uma vez que é rica em alguns nutrientes que podem causar a contaminação do meio ambiente (GONÇALVES, 2014). Por isso, na busca por técnicas ambientalmente corretas para tratamento e destinação deste tipo de resíduo, a compostagem e a vermicompostagem se destacam por resultar em matéria orgânica mais estabilizada, ser de baixo custo de implantação e manutenção, além de muito eficientes quanto à eliminação de possíveis patógenos, redução de massa e volume do resíduo; concentração de nutrientes e valorização orgânica dos resíduos (COSTA et al., 2009; LARNEY et al., 2006; LARNEY et al., 2008).

Diversos pesquisadores já estudaram a aplicação dessas técnicas para os mais diversos tipos de resíduos: dejetos bovinos, ovinos, caprinos, suínos e aves. No entanto, poucos são os estudos realizados para investigar sua viabilidade no tratamento de camas de equinos saturadas (GONÇALVES, 2014).

Assim, o objetivo deste capítulo é apresentar os dados obtidos a partir da aplicação dos processos de compostagem e vermicompostagem em diferentes camas de equinos saturadas visando, principalmente, seu gerenciamento após o uso.

2 Material e métodos

O trabalho contou com uma etapa de pré-compostagem, conforme recomendada Lazcano et al. (2008), seguida das etapas de compostagem e vermicompostagem conduzidas separada e simultaneamente (Figura 3.1).

O experimento foi realizado em um “hotel de cavalos”, local cada vez mais comum para o confinamento de equinos, onde os proprietários visitam periodicamente os animais, porém o trato e a guarda são de responsabilidade dos empregados.

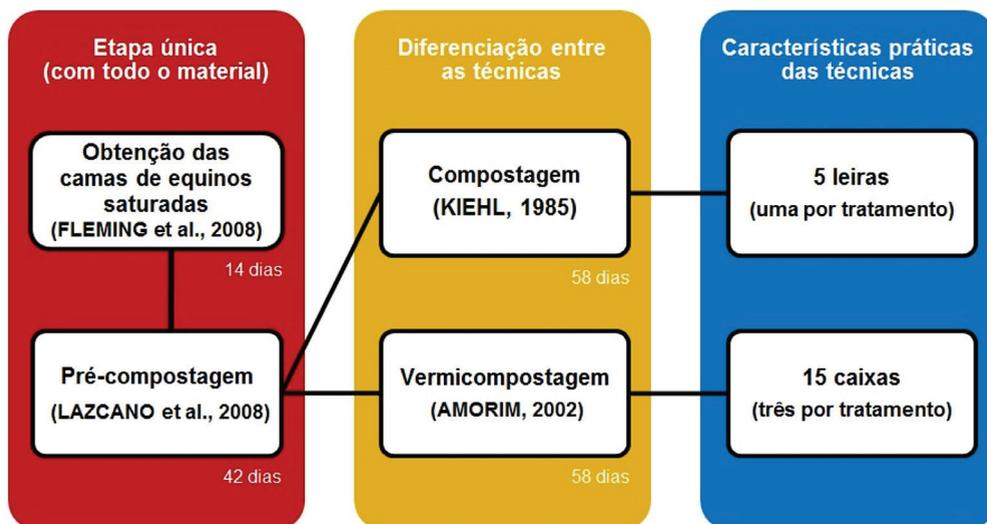


Figura 3.1 Etapas do experimento em campo.

Iniciou-se o estudo com a preparação e saturação das camas de equinos. Na busca por materiais para a confecção das camas priorizou-se aqueles que são resíduos de outra atividade e que comumente são utilizados para esta finalidade. Deste modo, os substratos escolhidos para compor as camas foram: casca do café – pergaminho do grão (proveniente do beneficiamento da cultura); casca de arroz (obtida do beneficiamento da cultura); sepilho (resíduo da produção madeireira); e *brachiaria* (resíduo de capina do próprio local de realização do estudo).

A *brachiaria* utilizada, da espécie *Brachiaria humidicola*, neste caso, caracteriza-se como resíduo uma vez que não pode ser oferecida como trato animal, devido a sua potencial toxicidade. Ela responde por ser a causa da fotossensibilização hepática em diversas espécies, dentre elas os equinos (SANTOS et al., 2008). Sendo assim, tomou-se o cuidado de aparar a gramínea com o tamanho de aproximadamente dez centímetros e secá-la ao sol para que se tornar-se o menos palatável possível aos cavalos.

Os tratamentos avaliados consistiram em:

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

As baias do estábulo, com dimensões de 2,5 m x 2 m, receberam uma cama de espessura mínima de 15 cm de altura, a fim de não comprometer o bem-estar animal. Animais com a mesma dieta alimentar e mesmas atividades diárias foram alocados nas baias, visando reduzir diferenças significativas na quantidade e qualidade do dejetos e urina dispostos na cama. As camas permaneceram nas baias por 14 dias, tempo este que, segundo Fleming et al. (2008), é suficiente para sua saturação.

2.1 Pré-compostagem

Assim que retirado das baias, cada resíduo (cama saturada) foi homogeneizado e colocado em forma de leira trapezoidal. O volume inicial das leiras de pré-compostagem (Figura 3.2) foi padronizado em 0,363m³. O peso inicial foi de 58,22, 50,06, 43,45, 37,40 e 44,90 kg, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5.



Figura 3.2 Leiras montadas para a pré-compostagem.

As leiras da pré-compostagem foram monitoradas por 6 semanas (42 dias). *In loco* foram monitoradas a temperatura, a umidade aparente, a aeração e as reduções de volume e peso das leiras. A temperatura era aferida diariamente com um termômetro tipo espeto, em sete pontos uniformemente distribuídos na leira. A temperatura ambiente era monitorada com o auxílio de um Termohigrômetro, do qual se retirava a temperatura máxima e mínima diária. A umidade aparente era constatada pela sensibilidade do tato ao material, no qual se verificava a necessidade de adicionar água à leira – teste este conhecido como “Teste da Mão” (NUNES, 2009). A aeração da leira ocorreu a cada três dias via revolvimento manual do material, com auxílio de enxada e pá (Figura 3.3).



Figura 3.3 Revolvimento da leira de pré-compostagem e umidificação.

Para o acompanhamento da redução do volume utilizou-se o método da cubicagem (Figura 3.4). Para a redução do peso, utilizando uma balança e o mesmo recipiente utilizado para o monitoramento do volume, coincidindo seus dias de determinação, procedia-se a pesagem do material. O resultado foi expresso em massa seca. Para isso, após cada pesagem, uma amostra do material era levada ao laboratório para a determinação em estufa (secagem da amostra a 105°C por 24 horas), e posterior desconto, do teor de umidade (umidade real).



Figura 3.4 Determinação do volume na pré-compostagem.

Nota: Um recipiente indeformável, de área da base conhecida, era preenchido completamente quantas vezes se faziam possíveis. Quando o volume de material ainda a ser considerado não era o suficiente para preencher a caixa, a altura atingida pelo mesmo era verificada e o volume final se dava pela somatória do volume das caixas completas com o volume (calculado) da caixa incompleta.

2.2 Vermicompostagem

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) e eram forrados com tela para re-

tenção do composto nas caixas. Em cada vermireator foi adicionado material o suficiente para preencher uma altura de 0,15 m, perfazendo um volume inicial de, aproximadamente, $0,025\text{m}^3$ para todos os tratamentos. O vermireator ainda foi pesado sem e com o composto para a obtenção do peso inicial do material. Assim, foram aferidos os pesos iniciais, na base seca, em kg: $3,7\pm 0,1$; $2,9\pm 0,2$; $3,0\pm 0,2$; $2,5\pm 0,1$ e $2,5\pm 0,2$ kg para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente.

As minhocas utilizadas neste estudo foram da espécie *Eisenia foetida*, mesma espécie utilizada por Amorim et al. (2005) e Dores-Silva (2011). Foram introduzidas 24 minhocas por vermireator, valor este proporcional à metodologia utilizada por Cestonaro et al. (2012).

Ressalta-se aqui que pouco tempo depois de colocadas nos vermireatores foi observada a fuga de minhocas em todos os tratamentos, em especial para o tratamento T1. Decidiu-se, então, por forrar o fundo das caixas com um plástico duro, revestir as caixas com TNT e inserir novamente as 24 minhocas em cada vermireator.

O monitoramento da vermicompostagem teve duração de 8 semanas (58 dias) e foi realizado levando em consideração a contagem de minhocas quinzenalmente, além dos mesmos parâmetros da pré-compostagem, exceto a aeração, uma vez que esta passa a ser consequência da presença das minhocas (DORES-SILVA et al., 2011). Para o parâmetro de temperatura optou-se por aferir três pontos distribuídos no vermireator. Para o monitoramento do volume, também foi adotada a cubicagem, porém feita no próprio vermireator, observando-se a variação da altura do composto após a recolocação do material no reator quando na ocorrência da contagem das minhocas¹. A redução de peso dos vermireatores também foi acompanhada, na base seca, nos mesmos dias em que eram realizadas contagens de minhocas e determinações de volume.

2.3 Compostagem

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 volume, em m^3 , e peso, em kg, inicial para este processo foram, respectivamente: 0,17 e 21,5 para o tratamento T1; 0,23 e 28,9 para T2; 0,16 e 22,7 para T3; 0,23 e 25,2 para T4 e 0,22 e 23,6 para T5.

Assim como a vermicompostagem, o monitoramento da compostagem teve duração de 8 semanas (58 dias). Os parâmetros monitorados e as metodologias

1 Deste modo, minimizava-se a diferença de volume propiciada pela ação mecânica das minhocas de perfazer espaços vazios no substrato (afofamento do material).

adotadas foram os mesmos que os apresentados na pré-compostagem (temperatura, umidade aparente, aeração, volume e peso).

2.4 Monitoramento

O acompanhamento da aplicação das técnicas de pré-compostagem, vermicompostagem e compostagem se deu por meio do monitoramento dos principais parâmetros a serem avaliados durante estes processos, segundo Kiehl (1985). A umidade e a série de sólidos foram determinadas segundo o procedimento de APHA, AWWA e WEF (2012), por meio do Método da mufla. O teor de carbono orgânico e total foram obtidos adaptando-se a metodologia proposta por Carmo e Silva (2012)². Para a determinação do nitrogênio utilizou-se a metodologia Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1997), com a digestão sulfúrica em bloco digestor. Por fim, para as determinações de pH e condutividade elétrica seguiu-se metodologia conforme Tedesco et al. (1995).

2.5 Análise estatística

O delineamento experimental para a vermicompostagem foi o inteiramente casualizado. Realizou-se, portanto, análises de variância e comparação de médias pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de significância. Utilizou-se o programa SISVAR[®].

3 Resultados e discussão

3.1 Pré-compostagem

As características das camas saturadas são apresentadas na Tabela 3.1. 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). Quanto ao pH, todos os valores estavam bem próximos ao limite superior proposto pelo mesmo autor, 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 mS cm⁻¹, ideal para o bom desenvolvimento das minhocas, resultados que ratificaram a afirmação de Lazcano et al. (2008) de que a pré-compostagem é essencial para a vermicompostagem.

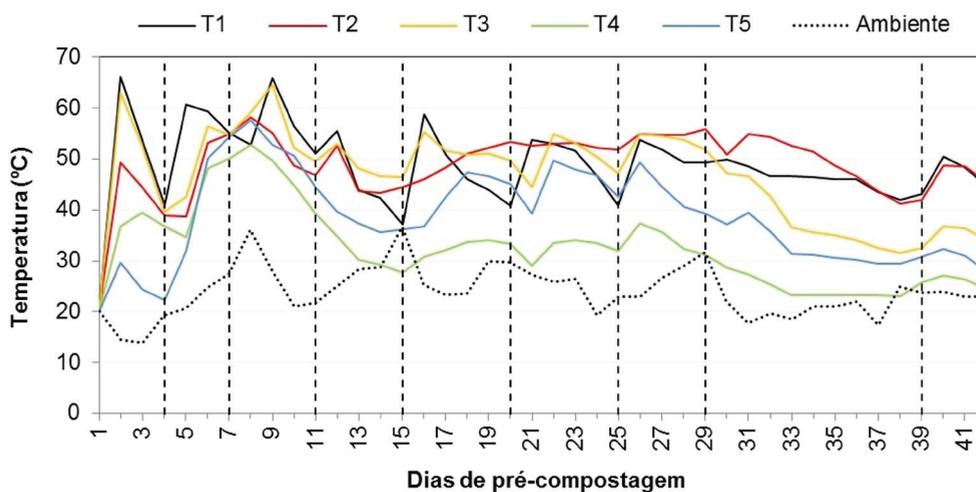
² CT = (0,463 x SV) - 0,550; CO = (0,425 x SV) - 2,064

Tabela 3.1 Caracterização inicial das camas de equino saturadas.

Tratamento	Parâmetros				
	C _{Total} (%)	N _{Total} (%)	C/N	pH ¹	C.E. ¹ (μS cm ⁻¹)
T1	39,58	1,47	27 / 1	9,61	961
T2	39,67	1,24	32 / 1	9,30	1733
T3	40,51	1,17	35 / 1	9,40	1401
T4	36,55	0,89	41 / 1	9,47	1474
T5	42,32	1,13	37 / 1	8,44	824

Nota1: Em água destilada (pH da água destilada = 7,17; C.E. da água = 1,78 mS cm⁻¹).

Os perfis de temperatura média dos tratamentos durante a pré-compostagem estão apresentados na Figura 3.5.

**Figura 3.5** Monitoramento da temperatura durante a pré-compostagem.

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

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; para T3 e T5 esta duração foi por volta de 30 dias, enquanto T4 permaneceu em temperaturas elevadas apenas por 15 dias. Fialho (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.

Na maioria das vezes em que era realizada a aeração das leiras, os materiais sofriam elevação de temperatura. Isso é explicado por Barreira (2005) que afirma que um ambiente aeróbico propicia uma decomposição mais rápida da matéria orgânica e consequente acréscimo na temperatura pela plena atividade dos microrganismos.

O tratamento T1, logo no segundo dia de processo, atingiu a máxima de 70°C. Durante todo o processo de pré-compostagem sua temperatura média manteve-se superior a 40°C, indicando elevada atividade microbiana (KIEHL, 1985).

Os tratamentos T2 e T3, sepilho sem e com associação à *brachiaria*, respectivamente, apresentaram perfis de temperatura diferentes. Ambos atingiram temperaturas elevadas, porém 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 e SILVA, 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*.

Quanto aos tratamentos T4 e T5, confeccionados por casca de arroz sem e com *brachiaria*, respectivamente, também foi possível observar diferenças expressivas. Para o tratamento T4, a média da temperatura da leira foi superior a 50°C apenas no 8º dia. Após o 30º dia houve a estabilização e a aproximação da temperatura do tratamento à temperatura ambiente. O tratamento T5 somente após o primeiro revolvimento, no 4º dia de processo, teve sua temperatura elevada. No 6º dia, atingiu-se a 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).

Os resultados relacionados à redução de volume e peso durante a pré-compostagem podem ser observados na Tabela 3.2. O tratamento T3 apresentou a maior redução de volume (37,06%), seguido por T1 (34,96%) e T5 (20,27%), nesta ordem. A explicação pode estar relacionada ao fato de que os tratamentos T3 e T5 – 1ª e 3ª maiores reduções – continham *brachiaria*, material volumoso que é de fácil degradação (ROCHA et al., 2012). Para T1, as elevadas temperaturas, que demonstravam degradação ativa da massa, possibilitaram também a expressiva redução do volume. Em contrapartida, T2 e T4 apresentaram as menores reduções de volume, devido à dificuldade encontrada pelos microrganismos em degradar elementos como a celulose, presente no sepilho, e a sílica, presente em grande quantidade na casca de arroz (MAYER et al., 2006; STEFFEN, 2008; ABREU et al., 2011).

Tabela 3.2 Redução de volume e peso das leiras de pré-compostagem.

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
Volume (m ³)	1 (1ª)	0,3630	0,3630	0,3630	0,3630	0,3630
	20 (3ª)	0,3142	0,3237	0,2894	0,3351	0,3084
	29 (5ª)	0,2589	0,3084	0,2513	0,3142	0,2970
	42 (7ª)	0,2361	0,3046	0,2285	0,3105	0,2894
	Varição ⁽²⁾	-34,96%	-16,08%	-37,06%	-14,50%	-20,27%
Peso ⁽¹⁾ (kg)	1 (1ª)	58,22	50,06	43,45	37,40	44,90
	20 (3ª)	45,05	46,36	39,88	35,24	39,16
	29 (5ª)	38,10	43,84	33,96	34,45	35,79
	42 (7ª)	30,82	37,90	30,65	34,41	32,95
	Varição ⁽²⁾	-47,06%	-24,29%	-29,45%	-8,01%	-26,61%

Notas: ⁽¹⁾ Peso na base seca. ⁽²⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição da 7ª semana em relação a 1ª.

Quanto às variações de peso, T1 apresentou maior redução (47,06%) e T4, a menor (8,01%). Para o tratamento T1 novamente a maior redução de peso está relacionada à maior degradação da matéria orgânica deste tratamento evidenciado pelas temperaturas mais elevadas e intensa atividade microbiana. A leira confeccionada apenas de casca de arroz (T4) também teve comportamento já

esperado, devido aos relatos, na literatura, de baixa biodegradação do resíduo (STEFFEN, 2008; ABREU et al., 2011).

Além disso, é possível inferir também que a *brachiaria* auxiliou na redução de peso, uma vez que os tratamentos T3 e T5 demonstraram reduções maiores que 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.

Na Tabela 3.3 estão apresentados os valores de pH, condutividade elétrica, sólidos voláteis e fixos, carbono total, nitrogênio total e relação C/N no decorrer do processo de pré-compostagem, considerando os cinco tratamentos estudados.

É possível observar que todos os tratamentos iniciaram o processo em pH alcalino. Komar et al. (2012) ao compostarem camas de equinos saturadas confeccionadas com aparas de madeira e/ou material palhoso também encontraram valores elevados 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.

Tabela 3.3 Monitoramento laboratorial durante a pré-compostagem.

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
pH ⁽¹⁾	1 (1ª)	9,61	9,30	9,40	9,47	8,54
	30 (4ª)	9,58	8,05	8,04	6,56	7,22
	42 (7ª)	9,20	8,00	8,24	6,24	7,25
C.E. ⁽²⁾ (mS cm ⁻¹)	1 (1ª)	961	1733	1401	1474	824
	30 (4ª)	1045	1679	1600	1595	1265
	42 (7ª)	1702	1286	1098	1192	1098
	Varição ⁽³⁾	43,52%	-34,75%	-27,60%	-23,65%	24,94%
SV (%)	1 (1ªs)	86,88	86,87	88,68	80,12	92,58
	30 (4ª)	79,53	84,63	80,77	76,53	82,5
	42 (7ª)	76,64	84,09	81,57	75,27	80,86
	Varição ⁽³⁾	-11,79%	-3,21%	-8,02%	-6,05%	-12,66%

Continua

Tabela 3.3 Monitoramento laboratorial durante a pré-compostagem. (Continuação)

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
SF (%)	1 (1 ^a)	13,33	13,12	11,31	19,87	7,41
	30 (4 ^a)	20,46	15,36	19,22	23,46	17,49
	42 (7 ^a)	23,35	15,9	18,42	24,72	19,13
	Varição ⁽³⁾	75,17%	21,19%	62,86%	24,41%	158,16%
CT (%)	1 (1 ^a)	39,57	39,67	40,51	36,54	42,31
	30 (4 ^a)	36,27	38,63	36,84	34,88	37,64
	42 (7 ^a)	34,93	38,38	37,21	34,3	36,89
	Varição ⁽³⁾	-11,73%	-3,25%	-8,12%	-6,14%	-12,82%
NTK (%)	1 (1 ^a)	1,47	1,24	1,17	0,89	1,13
	42 (7 ^a)	2,42	1,61	1,65	0,81	1,39
	Varição ⁽³⁾	60,09%	30,27%	40,77%	-9,12%	22,91%
C/N	1 (1 ^a)	27 / 1	32 / 1	35 / 1	41 / 1	37 / 1
	42 (7 ^a)	14 / 1	24 / 1	23 / 1	42 / 1	27 / 1
	Varição ⁽³⁾	-46,21%	-25,51%	-34,73%	3,28%	-29,07%

Notas: ⁽¹⁾ pH em água destilada (7,17; 7,13; 7,4, respectivamente, para os três dias de análise); ⁽²⁾ C.E. em água destilada (1,78; 1,10; 2,74 mS cm⁻¹, respectivamente, para os dias de análise). ⁽³⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição da 7^a semana em relação a 1^a.

O tratamento T1 – casca de café – continuou com valor de pH acima de 9 após os 42 dias de pré-compostagem. T2 e T3, com sepilho, também continuaram com pH elevado. Battirola et al. (1998) verificaram que o pH manteve-se entre 7,5 e 9,0 mesmo após 90 dias de compostagem. Já os tratamentos T4 e T5, com casca de arroz, iniciaram como os outros tratamentos (alcalinos), mas terminaram próximos da neutralidade, divergindo dos demais.

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). Os tratamentos T2, T3 e T4 tiveram redução da C.E. (Tabela 3.3). 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

do parâmetro 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 C.E. pode estar relacionada à contaminação do tratamento por águas pluviais. No 29º dia, um dia antes da segunda análise de C.E., fortes chuvas danificaram a estrutura onde se aloca o experimento. Apenas o tratamento T5, que estava em um dos extremos, teve incidência significativa de água da chuva. Tal fato possivelmente alterou a condição do tratamento.

A redução de SV ocorreu em todos os tratamentos (Tabela 3.3). 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. Foi 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.

Os tratamentos T3 e T5 apresentaram maiores reduções de SV 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 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 et al. (2006). Já para o tratamento T1, que 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).

Em todos os tratamentos houve também redução da porcentagem de carbono total, como visto na Tabela 3.3. Kiehl (2004) e Barreira (2005) afirmam que as reduções de carbono observadas durante o processo de compostagem são decorrentes da assimilação deste elemento pelos microrganismos – convertidas da forma mineral para orgânica – e o restante eliminado em forma de gás carbônico (CO₂).

As maiores reduções de carbono observadas foram para T5, T1 e T3, nesta ordem. No tratamento T1 foi possível notar expressiva redução do teor de carbono.

no 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 3.4).

Tabela 3.4 Quantidade real de NT nas leiras de pré-compostagem.

Tratamento	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%

As menores reduções reais de nitrogênio foram obtidas nas leiras com sepielho (T2 e T3), fato este confirmado *in loco* pela pouca emanção de odores desagradáveis pelos tratamentos com o passar do tempo. Isso indica que o nitrogênio estava sendo mineralizado e não volatilizado em forma de amônia.

Cabe mencionar ainda que no tratamento de sepielho-*brachiaria* consorciados (T3), a redução de nitrogênio foi praticamente a metade que no tratamento apenas com sepielho (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).

A maioria dos tratamentos apresentou, ainda conforme demonstrado na Tabela 3.3, 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), Brito et al. (2008), Barbieri e Barcelos (2009) e Bernardi (2011) também apresentaram tal comportamento.

O tratamento T1 apresentou, ao final dos 42 dias de pré-compostagem, relação C/N de 14/1, 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 a relação carbono-nitrogênio, mesmo não atingindo valores tão baixos. 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 submetida à análise. 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 3.3 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.

3.2 Vermicompostagem

O processo de vermicompostagem foi iniciado simultaneamente em todos os tratamentos.

Na análise de caracterização do pré-composto do tratamento T1 verificou-se que o mesmo não apresentava condições favoráveis ao desenvolvimento das minhocas – C.E. e nitrogênio total muito elevados (ver dia 42 - 7ª semana, Tabela 3.3). Todas as minhocas reintroduzidas nos vermireatores, após a colocação do plástico rígido ao fundo e do revestimento em TNT, morreram. Optou-se então, apenas para este tratamento, esperar que condições mudassem para que novas minhocas pudessem ser inseridas novamente. Mesmo com o passar do tempo não foi verificado melhora nas condições iniciais ao pré-composto e, ao contrário, os parâmetros tidos como determinantes para a não

possibilidade da vermicompostagem, pioraram ainda mais, com o aumento da C.E. e o NT.

Considerando que o T1 não é, então, propício à vermicompostagem, seguiu-se com a aplicação da técnica apenas nos tratamentos T2, T3, T4 e T5. Os perfis de temperatura média dos quatro tratamentos durante a vermicompostagem estão apresentados na Figura 3.6.

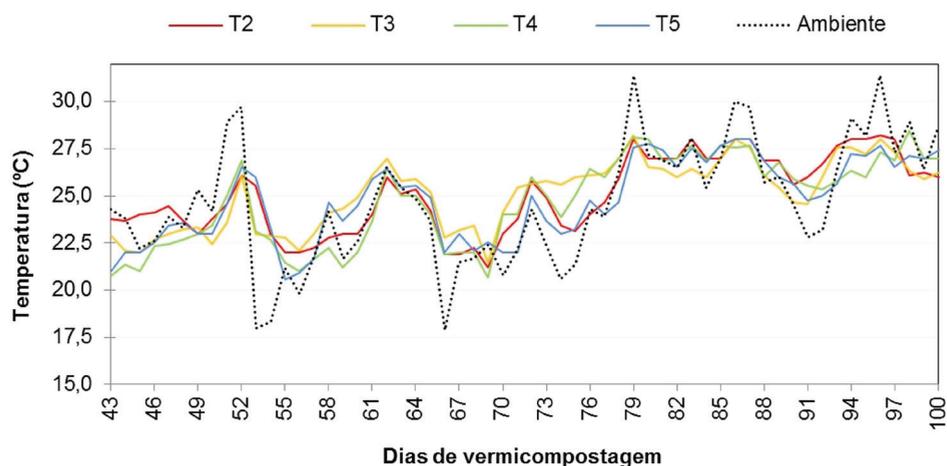


Figura 3.6 Monitoramento da temperatura durante a vermicompostagem.

O microclima do vermireator, 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).

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 que esta. 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).

Os resultados relacionados à redução de volume e peso durante na vermicompostagem podem ser observados na Tabela 3.5. É possível observar redução de volume 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 con-

vertida 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).

Tabela 3.5 Redução de volume e peso na vermicompostagem.

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos			
		T2	T3	T4	T5
Volume (m ³)	43 (7 ^a)	0,0250±0,0001	0,0250±0,0001	0,0250±0,0001	0,0250±0,0001
	100 (15 ^a)	0,0142±0,0008	0,0144±0,0012	0,0153±0,0005	0,0135±0,0011
	Variação ⁽²⁾⁽³⁾	- 43,11%	- 42,22%	- 36,67%	- 45,78%
	Total ⁽²⁾⁽⁴⁾	- 59,19%	- 79,28%	- 51,17%	- 66,05%
Peso ⁽¹⁾ (kg)	43 (7 ^a)	2,9257±0,1408	2,9866±0,2152	2,4696±0,0586	2,5167±0,1767
	100 (15 ^a)	2,3314±0,1400	2,5430±0,1892	2,1614±0,0517	2,1432±0,1436
	Variação ⁽²⁾⁽³⁾	- 20,34%	- 14,86%	- 12,48%	- 14,83%
	Total ⁽²⁾⁽⁴⁾	- 44,63%	- 44,31%	- 20,49%	- 41,44%

Notas: ⁽¹⁾ Peso na base seca. ⁽²⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição. ⁽³⁾ Considerando apenas a etapa de vermicompostagem. ⁽⁴⁾ Considerando as etapas de pré-compostagem e vermicompostagem (somatória simples).

Como a *brachiaria* já havia sido quase que totalmente decomposta na etapa de pré-compostagem, esperava-se que sua presença nos tratamentos não fosse mais um diferencial para a redução de volume nos vermireatores. 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 expressiva. Possivelmente este fato é decorrente das características do substrato de T5 que foram previamente melhoradas para a ação das minhocas.

Em todos os tratamentos houve também a redução de peso à medida que o material foi sendo degradado e mineralizado. 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 44, 44, 20 e 42%, 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.

Na Tabela 3.6 estão apresentados os valores de pH, condutividade elétrica, sólidos voláteis e fixos, carbono total, nitrogênio total e relação C/N ao decorrer do processo de vermicompostagem para T2, T3, T4 e T5.

A vermicompostagem geralmente fornece um material estabilizado, especialmente quanto a pH, em tempo menor, se comparado com a compostagem (CASTILHO et al., 2008). Foi possível observar 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, enquanto que os tratamentos T4 e T5 seguiam a tendência de serem mais ácidos.

Tabela 3.6 Variação de monitoramento laboratorial durante a vermicompostagem.

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos			
		T2	T3	T4	T5
pH ⁽¹⁾	43 (7 ^ª)	8,00±0,08	8,24±0,03	6,24±0,11	7,25±0,11
	58 (9 ^ª)	7,97±0,02	8,05±0,07	6,98±0,05	7,16±0,01
	72 (11 ^ª)	7,36±0,47	7,88±0,10	6,95±0,06	6,73±0,02
	86 (13 ^ª)	7,83±0,01	8,08±0,05	7,06±0,05	7,01±0,06
	100 (15 ^ª)	7,52±0,04	7,07±0,15	6,52±0,23	6,55±0,05
C.E. (mS cm ⁻¹) ⁽²⁾	43 (7 ^ª)	1285±86	1098±86	1192±77	1098±23
	58 (9 ^ª)	969±46	919±48	895±11	790±18
	72 (11 ^ª)	988±25	959±81	678±201	822±58
	86 (13 ^ª)	976±59	844±102	526±154	709±73
	100 (15 ^ª)	1102±16	1050±118	782±278	1046±87
	Varição ^{(4) (5)}	- 14,32%	- 4,34%	- 34,42%	- 4,81%
	Total ^{(4) (6)}	- 36,41%	- 25,03%	- 46,97%	+ 26,91%

Continua

Tabela 3.6 Variação de monitoramento laboratorial durante a vermicompostagem. (Continuação)

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos			
		T2	T3	T4	T5
SV (%)	43 (7 ^a)	84,09±0,16	81,58±3,34	75,28±0,19	80,87±0,85
	58 (9 ^a)	84,24±1,08	80,21±0,55	75,85±0,36	80,53±1,29
	72 (11 ^a)	83,08±0,50	78,21±2,49	74,19±0,35	79,45±1,12
	86 (13 ^a)	80,68±3,38	78,12±1,21	73,59±0,20	77,30±1,81
	100 (15 ^a)	81,22±0,10	77,82±2,70	72,08±0,25	77,21±0,89
	Varição ^{(4) (5)}	- 3,41%	- 4,61%	- 4,25%	- 4,53%
	Total ^{(4) (6)}	- 6,50%	- 12,25%	- 10,03%	- 16,60%
SF (%)	43 (7 ^a)	15,91±0,16	18,42±3,34	24,72±0,19	19,13±0,85
	58 (9 ^a)	15,76±1,08	19,79±0,55	24,15±0,36	19,47±1,29
	72 (11 ^a)	16,92±0,50	21,79±2,49	25,81±0,35	20,55±1,12
	86 (13 ^a)	19,32±3,38	21,88±1,21	26,41±0,20	22,70±1,81
	100 (15 ^a)	18,78±0,10	22,18±2,70	27,92±0,25	22,79±0,89
	Varição ^{(4) (5)}	18,04%	20,41%	12,94%	19,13%
	Total ^{(4) (6)}	43,14%	96,11%	40,51%	207,56%
CT (%)	43 (7 ^a)	38,39±0,07	37,22±1,55	34,30±0,09	36,89±0,39
	58 (9 ^a)	38,45±0,50	36,59±0,25	34,57±0,17	36,73±0,60
	72 (11 ^a)	37,92±0,23	35,66±1,15	33,80±0,16	36,24±0,52
	86 (13 ^a)	36,80±1,57	35,62±0,56	33,52±0,09	35,24±0,84
	100 (15 ^a)	37,05±0,04	35,48±1,25	32,82±0,12	35,20±0,41
	Varição ^{(4) (5)}	- 3,47%	- 4,67%	- 4,32%	- 4,59%
	Total ^{(4) (6)}	- 6,60%	- 12,42%	- 10,18%	- 16,80%

Continua

Tabela 3.6 Variação de monitoramento laboratorial durante a vermicompostagem. (Continuação)

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos			
		T2	T3	T4	T5
NTK (%)	43 (7 ^a)	1,62±0,12	1,65±0,02	0,81±0,05	1,39±0,05
	58 (9 ^a)	1,99±0,03	1,91±0,08	1,00±0,14	1,48±0,02
	72 (11 ^a)	2,27±0,01	2,00±0,10	1,09±0,12	1,64±0,06
	86 (13 ^a)	2,34±0,03	2,01±0,02	1,15±0,06	1,70±0,01
	100 (15 ^a)	2,42±0,08	2,11±0,03	1,18±0,06	1,64±0,06
	Varição ^{(4) (5)}	49,46%	28,01%	45,06%	17,68%
	Total ^{(4) (6)}	95,16%	80,34%	32,58%	45,13%
C/N ⁽³⁾	43 (7 ^a)	24 / 1	23 / 1	42 / 1	27 / 1
	58 (9 ^a)	19 / 1	19 / 1	35 / 1	25 / 1
	72 (11 ^a)	17 / 1	18 / 1	31 / 1	22 / 1
	86 (13 ^a)	16 / 1	18 / 1	29 / 1	21 / 1
	100 (15 ^a)	15 / 1	17 / 1	28 / 1	21 / 1
	Varição ^{(4) (5)}	- 35,56%	- 25,51%	- 34,07%	- 18,91%
	Total ^{(4) (6)}	- 51,85%	- 51,38%	- 31,77%	- 42,44%

Notas: ⁽¹⁾ pH em água destilada (7,4; 6,76; 8,13; 7,51 e 7,18, respectivamente, para os dias de análise).; ⁽²⁾ C.E. em água destilada (2,74; 0,54; 1,07; 0,77; 0,81 μScm^{-1} , respectivamente, para os dias de análise). ⁽³⁾ Valores médios para os 3 vermireatores, por tratamento. ⁽⁴⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição. ⁽⁵⁾ Considerando apenas a etapa de vermicompostagem. ⁽⁶⁾ Considerando as etapas de pré-compostagem e vermicompostagem (somatória simples).

As minhocas têm preferência por matéria orgânica pouco ácida, porém a espécie *Eisenia foetida*, particularmente, tolera ambientes com esta característica, uma vez que possui glândulas calcíferas que permitem o controle da acidez dos resíduos. Há indicações de que as minhocas toleram valores de pH entre 5 e 8, com prejuízo às suas atividades apenas quando estão fora desta faixa (LOURENÇO, 2010). Assim, todos os tratamentos apresentavam condições aceitáveis para a sobrevivência da espécie.

Segundo Edwards (2004) e Lourenço (2010) o nível adequado de condutividade elétrica para a sobrevivência de minhocas em um resíduo está situado entre

500 e 1200 mS cm⁻¹, intervalo este onde estão compreendidos todos os valores obtidos para os tratamentos testados.

Assim como para o pH, foi possível perceber que os tratamentos com os mesmos resíduos mantiveram proximidade entre suas médias (T2 e T3; T4 e T5). É notório também que a C.E. dos quatro tratamentos apresentou a mesma tendência: queda nas primeiras oito semanas de vermicompostagem e elevação expressiva na última análise. O aumento dos sais solúveis evidenciado é, provavelmente, devido à mineralização da matéria orgânica pelas minhocas e pelos microrganismos presentes em seu intestino que se intensificou ao longo do processo.

Para as reduções de sólidos voláteis (SV), observou-se a mesma tendência da pré-compostagem, onde, para os tratamentos T3 e T5, com *brachiaria*, demonstraram maiores reduções de SV que os tratamentos T2 e T4, respectivamente.

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%, considerando as fases de pré-compostagem e vermicompostagem. Avaliando pelo mesmo prisma nota-se que os valores de redução foram menores dos que os daqueles autores.

Quanto à variação do teor de carbono, assim como era esperado, em todos os tratamentos houve redução da porcentagem. Isso se dá porque durante o processo de vermicompostagem as minhocas fixam parte do carbono em sua biomassa, ou seja, utilizam parte do carbono para seu crescimento, enquanto que outra parte é transformada em CO₂, assim como na compostagem, e perdida para o meio externo (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 microrganismos 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.

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 redução da relação C/N neste trabalho apresentou-se em consonância com o que é previsto por Kiehl (1985) para todos os tratamentos.

Na Tabela 3.7 são apresentados os resultados da análise estatística dos parâmetros C, N, relação C/N, volume, peso e peso específico ao longo do período de aplicação da técnica de vermicompostagem.

Tabela 3.7 Análise estatística da variação dos parâmetros C, N, relação C/N, volume, peso e peso específico.

Tratamento	Variação dos parâmetros ⁽¹⁾ ⁽²⁾ (em %)					
	C	N	C/N	Volume	Peso	Peso Específico
T1 ⁽³⁾	-6,6 a	19,6 a	-22,0 a	-51,6 a	-34,0 c	36,3 a
T2	-3,3 a	49,6 b	-35,6 b	-43,3 a	-20,3 b	40,7 a
T3	-4,6 a	28,0 a	-25,6 a	-42,3 a	-14,6 a	48,0 a
T4	-4,6 a	45,0 b	-34,0 b	-39,0 a	-14,6 a	43,0 a
T5	-4,3 a	17,6 a	-19,0 a	-45,6 a	-12,6 a	58,0 a

Notas: ⁽¹⁾ Teste estatístico de Scott-Knott. Letras iguais nas colunas implicam em equivalência estatística dos valores, ao nível de 5% de significância. ⁽²⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição. ⁽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.

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, conseqüentemente, para 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, porém acrescidos de *brachiaria*, é possível inferir que a gramínea presente nos tratamentos ajudou a mineralização do nitrogênio.

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 comportamento/contagem das minhocas nos vermireatores ao longo do período estudado também destaca diferenças entre os tratamentos. O

conjunto de gráficos exposto na Figura 3.7 apresenta os valores obtidos nas contagens de minhocas (indivíduos sexualmente adultos³), por vermireator, durante o período de vermicompostagem.

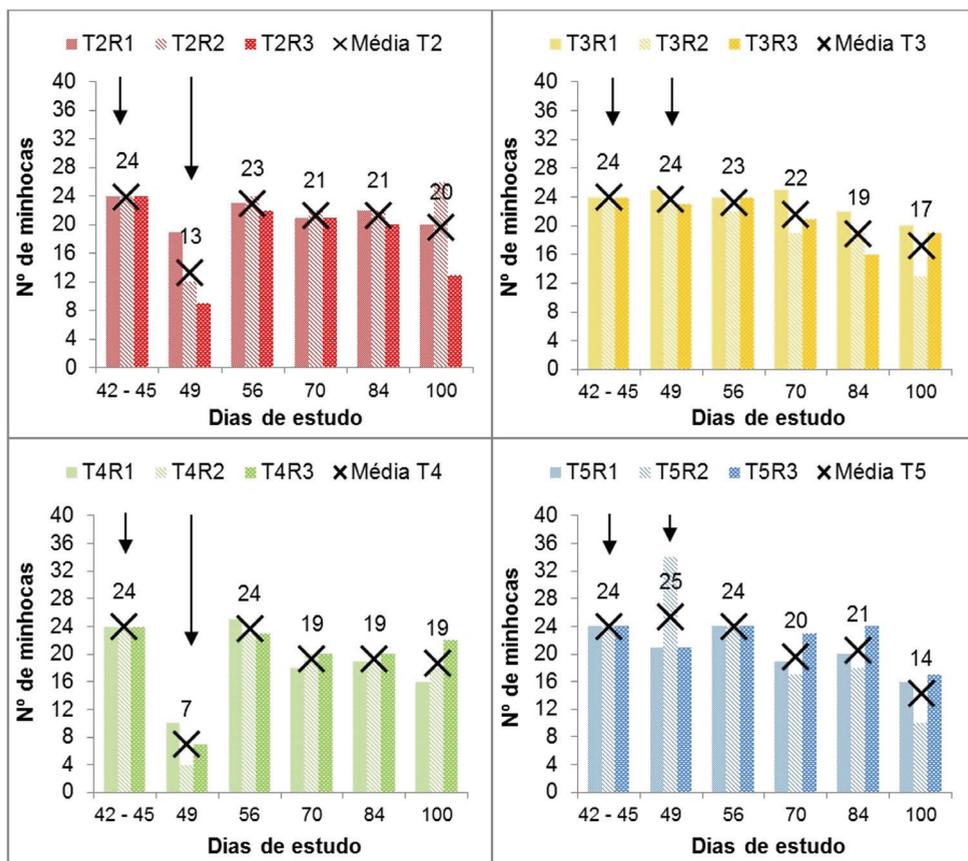


Figura 3.7 Contagem das minhocas nos vermireatores.

Notas: ⁽¹⁾ Ti – indicam o tratamento; Ri – Indicam a repetição (triplicata); X e valores indicam as médias simples de minhocas por tratamento. ⁽²⁾ Setas indicam a introdução ou reintrodução das minhocas.

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 rígido 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 comportamen-

3 Indicados pela presença de clitelo.

to destes dois tratamentos. A primeira é relacionada ao valor inicial da C.E. dos tratamentos, valor ainda dentro do relatado como suportável pelas minhocas, mas elevado se comparado com os demais. A segunda explicação possível está relacionada à própria característica de difícil degradação do sepilho e 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 dos reatores em busca de melhores fontes de alimentação. Os reatores do tratamento T5 podem ter sido 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 T5R2 no 49º dia de estudo.

Os demais dias de estudo indicados nos gráficos (Figura 3.7) referem-se aos momentos de contagem sequenciais a fim de perceber a adaptação da espécie no substrato. Além das minhocas adultas 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* nos quatro tratamentos. No 100º dia de estudo foi realizada também a contagem dos indivíduos jovens e casulos. Na Figura 3.8 apresenta-se as médias simples dos valores obtidos para as repetições de cada tratamento.

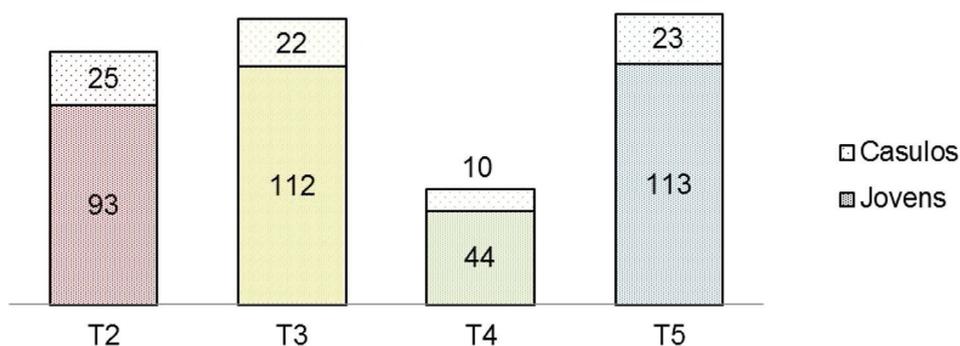


Figura 3.8 Número de indivíduos jovens e casulos encontrados na contagem final.

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, seja para o sepilho ou para a casca de arroz acrescidos de *brachiaria*. Assim, reforça-se o benefício da *brachiaria* inclusive para a reprodução da *Eisenia foetida*.

3.3 Compostagem

Os perfis de temperatura durante a compostagem estão apresentados na Figura 3.9.

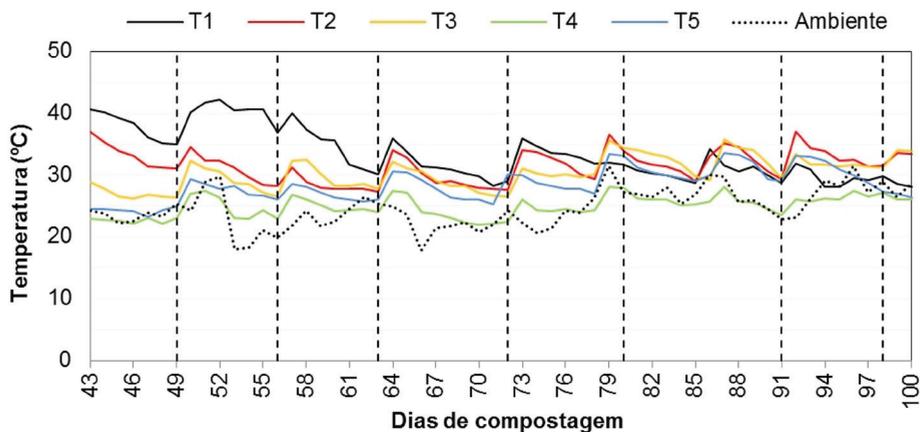


Figura 3.9 Monitoramento da temperatura durante a compostagem.

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

Vale destacar que a etapa de compostagem é uma continuação da pré-compostagem analisada anteriormente. 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, 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 flotador, 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.

O tratamento T4 foi o que apresentou as menores médias semanais de temperatura durante as duas etapas (pré-compostagem e compostagem). Comportamento semelhante foi observado por Costa et al. (2009) quando em seu trabalho os autores perceberam 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 influência 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. No entanto, cabe ressaltar que nesta segunda etapa as leiras ficaram mais suscetíveis às variações da temperatura ambiente. Os trabalhos de 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 e Barcelos (2009), compostando bagaço de cana-de-açúcar de indústrias do setor sucroalcooleiro, atingiram, aos 100 dias, médias de temperatura próximas à temperatura ambiente, condizente com o que foi observado no presente estudo.

A redução de volume e peso no processo de compostagem pode ser observada na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 Redução de volume e peso das leiras de compostagem.

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
Volume (m ³)	43 (7 ^a)	0,1713	0,2247	0,1599	0,2266	0,2585
	100 (15 ^a)	0,0952	0,1695	0,1161	0,2132	0,1637
	Variação ^{(2) (3)}	- 44,42%	- 24,57%	- 27,39%	- 5,91%	- 23,90%
	Total ^{(2) (4)}	- 79,38%	- 40,65%	- 64,45%	- 19,96%	- 44,17%
Peso ⁽¹⁾ (kg)	43 (7 ^a)	58,22	50,06	43,45	37,40	44,90
	100 (15 ^a)	45,05	46,36	39,88	35,24	39,16
	Variação ^{(2) (3)}	- 16,28%	- 17,30%	- 13,22%	- 0,79%	- 10,17%
	Total ^{(2) (4)}	- 63,34%	- 41,59%	- 42,67%	- 8,80%	- 36,78%
Peso específico (kg/m ³)	43 (7 ^a)	160,39	137,90	119,69	103,03	123,70
	100 (15 ^a)	189,08	141,00	169,68	117,26	129,51
	Variação ^{(2) (3)}	50,65%	9,63%	19,53%	5,44%	41,85%
	Total ^{(2) (4)}	17,89%	2,25%	41,77%	13,81%	4,70%

Notas: ⁽¹⁾ Peso na base seca. ⁽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 (somatória simples).

Conforme se pode observar, 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 (ABREU et al., 2011). 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.

A redução total de peso do tratamento T1 se destacou, fator este também explicado 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), que 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 Sbizzaro (2013), compostando 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 microrganismos presentes (ABREU et al., 2011). 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.

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

Na Tabela 3.9 estão apresentados os valores de pH, condutividade elétrica, sólidos voláteis e fixos, carbono total, nitrogênio total e relação C/N no início e final da compostagem.

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. No entanto, o autor ressalta 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.

Tabela 3.9 Variação de monitoramento laboratorial durante a compostagem.

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
pH ⁽¹⁾	43 (7 ^ª)	9,20	8,00	8,24	6,24	7,25
	100 (15 ^ª)	8,42	7,62	7,89	6,26	6,77
C.E. (mS cm ⁻¹) ⁽²⁾	43 (7 ^ª)	1703	1287	1098	1193	1099
	100 (15 ^ª)	2644	1700	1235	1078	1235
	Varição ^{(3) (4)}	55,27%	32,14%	12,43%	- 9,64%	12,43%
	Total ^{(3) (5)}	174,93%	- 1,93%	- 11,88%	- 26,92%	49,88%
SV (%)	43 (7 ^ª)	76,64	84,09	81,57	75,28	80,87
	100 (15 ^ª)	72,95	79,49	76,64	73,25	76,60
	Varição ^{(3) (4)}	- 4,82%	- 5,48%	- 6,05%	- 2,69%	- 5,27%
	Total ^{(3) (5)}	- 16,03%	- 8,49%	- 13,58%	- 8,57%	- 17,26%

Continua

Tabela 3.9 Variação de monitoramento laboratorial durante a compostagem. (Continuação)

Parâmetro	Dia (semana)	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
SF (%)	43 (7 ^a)	23,36	15,91	18,42	24,72	19,13
	100 (15 ^a)	27,05	20,51	23,36	26,75	23,40
	Variação ^{(3) (4)}	15,80%	28,91%	26,82%	8,21%	22,32%
	Total ^{(3) (5)}	90,97%	50,10%	89,68%	32,62%	180,48%
CT (%)	43 (7 ^a)	34,93	38,39	37,22	34,30	36,89
	100 (15 ^a)	33,23	36,25	34,93	33,36	34,92
	Variação ^{(3) (4)}	- 4,87%	- 5,57%	- 6,15%	- 2,74%	- 5,34%
	Total ^{(3) (5)}	-16,02%	-8,62%	-13,77%	-8,70%	-17,47%
NTK (%)	43 (7 ^a)	2,42	1,62	1,65	0,81	1,39
	100 (15 ^a)	2,75	2,56	2,23	1,09	1,94
	Variação ^{(3) (4)}	13,56%	58,36%	34,80%	34,76%	39,48%
	Total ^{(3) (5)}	73,65%	88,63%	75,57%	25,64%	62,39%
C/N	43 (7 ^a)	14 / 1	24 / 1	23 / 1	42 / 1	27 / 1
	100 (15 ^a)	11 / 1	12 / 1	14 / 1	27 / 1	16 / 1
	Variação ^{(3) (4)}	- 27,03%	- 47,95%	- 39,19%	- 37,24%	- 40,78%
	Total ^{(3) (5)}	- 60,75%	- 61,24%	- 60,32%	- 35,07%	- 57,96%

Notas: ⁽¹⁾ pH em água destilada (7,4 e 7,74, respectivamente, para os dois dias de análise).; ⁽²⁾ C.E. em água destilada (2,74 e 0,87 μScm^{-1} , respectivamente, para os dois dias de análise). ⁽³⁾ Resultados positivos representam aumento percentual e negativos, diminuição. ⁽⁴⁾ Considerando apenas a etapa de compostagem. ⁽⁵⁾ Considerando as etapas de pré-compostagem e compostagem (somatória simples).

A partir da Tabela 3.9 é possível notar que na 15^a 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., 2009).

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 cons-

tatações pode estar relacionada ao volume das 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.

É importante destacar 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. (2012) ao compostarem, durante 100 dias, cama de equinos saturadas confeccionadas com materiais semelhantes ao deste trabalho.

Assim como na 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% durante todo o processo (pré-compostagem e compostagem). No entanto, por meio da Tabela 3.9 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. (2010), 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).

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 microrganismos 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.

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. (2012), ao estudarem a compostagem de cama de equinos confeccionadas com palha e aparas de madeira (separadamente) obti-

veram 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%. 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).

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

As reduções percentuais encontradas aqui estão próximas às obtidas por: a) Komar et al. (2012) – valores entre 30 e 50% para a compostagem de camas de equinos saturadas confeccionadas de aparas de madeira e/ou material palhoso; b) Brito et al. (2008) – 59,2% compostando por 150 dias a fração sólida do esterco bovino associada a palha de cevada; c) Barbieri e Barcelos (2009) – 68,3% com 100 dias de compostagem de bagaço de cana de açúcar e esterco bovino; e d) Carneiro (2012) – 69,1% compostando resíduos agroindustriais.

3.4 Comparação entre as técnicas de compostagem e vermicompostagem

Sucintamente, os principais resultados obtidos para os compostos a partir das diferentes técnicas de tratamento das camas de equinos – compostagem e vermicompostagem – estão apresentados na Tabela 3.10. 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 obten-

ção 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. O período de estudo (100 dias) pode ser o responsável por tais observações, indicando que o vermicomposto requer maior tempo para atingir a maturação.

Tabela 3.10 Comparação entre os resultados finais obtidos pelas diferentes técnicas.

Tratamento	Vermicompostagem					Compostagem				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Redução de Volume (%) ⁽¹⁾	–	43,11	42,22	38,89	45,78	44,42	24,57	27,39	5,91	36,67
Redução de Peso (%) ⁽¹⁾	–	21,59	17,57	11,88	11,24	16,28	17,3	13,22	0,79	10,17
Aumento de Peso específico (%) ⁽¹⁾	–	40,08	47,37	43,21	57,06	50,64	9,63	19,52	5,44	41,85
pH final	–	7,52	7,7	6,52	6,55	8,42	7,62	7,89	6,26	6,77
C.E. final	–	1102	1050	782	1046	2644	1700	1235	1078	1235
% final CT	–	37,05	35,48	32,82	35,2	33,23	36,25	34,93	33,36	34,92
% final CO	–	32,45	31,01	28,57	30,75	28,94	31,72	30,51	29,07	30,49
% final NT	–	2,42	2,11	1,18	1,64	2,75	2,56	2,23	1,09	1,94
Relação C/N final	–	15/1	17/1	28/1	22/1	11/1	12/1	14/1	27/1	16/1

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

Nota: Parâmetros destacados constam na IN-25/09; resultados em verde – dentro do limite permitido; resultados em vermelho – fora do limite permitido.

4 Conclusões

O tratamento T1 não é tolerado pelas minhocas, e por consequência disso, a vermicompostagem não é indicada. Além disso, 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. 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

- ABREU, P.G. de; PAIVA, D. P. de; ABREU, V. M. N.; COLDEBELA, A.; CESTONARO, T. 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, 2011.
- 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*, v.25, n.1, p.57-66, 2005.
- APHA – American Public Health Association; AWWA – American Water Works Association; WEF – Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012.
- 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, 1992.
- BARBIERI, R.H.T.; BARCELOS, I.S. Produção de fertilizante orgânico a partir do bagaço de cana-deaçúcar: Uma alternativa para o gerenciamento do resíduo oriundo de indústrias sucroalcooleiras. In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. **Anais...** Uberlândia, 5p. 2005.
- 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.

- 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.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, de 23/07/2009.** 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32. p.1959-1968, 2008.
- 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.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2012.
- CESTONARO, T.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PEREIRA, D. C. E MARTINS, M. F. L. **Vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovino de corte: aspectos da estabilização do resíduo.** X Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2012 e XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Londrina, p. 1-4, 2012.
- COSTA, M.S.S.M.; COSTA, L. A. de M.; DECARLI, L. D.; PELÁ, A.; SILVA, C. J. da; MATTER, U. F.; OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.100-107, 2009.
- 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. Edwards. 2 ed. 417p. 2004.

- FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 79p. 1999.
- 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.
- 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.
- GONÇALVES, F. **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.
- 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, 2005.
- INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: Ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 156 p. 2009.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 492 p. 1985.
- KIEHL, E.J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4ªed. Piracicaba, 173p. 2004.
- KIEHL, E. J. **500 perguntas e respostas**. 1 ed . Piracicaba. Agronômica Ceres Ltda, 227 p. 2008.
- KOMAR, S., MISKEWITZ, R.; OBROPTA, C.; BAMKA, W.; MICKEL, R. Evaluation of nutrient runoff from three equine stall waste storage systems. *Applied Engineering in Agriculture*, v.26, p.827-832, 2010.

- 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**, v.90. p.1069-1075, 2012.
- LARNEY, F. J.; BUCKLEY, K. E.; HAO, X.; MCCAUGHEY, W. P. Fresh, stockpiled, and composted beef cattle feedlot manure: Nutrient levels and mass balance estimates in Alberta and Manitoba. **Journal of Environmental Quality**, v.35, p.1844-1854, 2006.
- LARNEY, F. J.; OLSON, A. F.; MILLER, J. J.; DEMAERE, P. R.; ZVMUYU, F.; MCALLISTER, T. A. Physical and chemical changes during composting of wood-chip bedded and straw-bedded beef cattle feedlot manure. **Journal of Environmental Quality**, v.37, p. 725-735, 2008.
- 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.
- LOURENÇO, N.M.G. **Características da minhoca epígea *Eisenia foetida* – benefícios, características e mais-valias ambientais decorrentes de sua utilização**. Lisboa, 5p. 2010.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba: Potafos, 319 p. 1997.
- 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, 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. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/ct_59.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2014.
- 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.
- PIRES, C.P.N. **Cama das baias: Problema ou solução?** III Ciclo de atualização do Cavalo Atleta. Exército Brasileiro e Embrapa Solos, 41p. 2010.

- PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. UFV. Viçosa, 81 p. 2007.
- QUEIROZ, F. F. **Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas. Estudo de caso de Londrina**. Dissertação (Mestrado Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade estadual de Londrina, Londrina, 2007.
- 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.: Revista Científica. UNIFOR-MG**, v.7, n.2, p.14-27, 2012
- 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. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.28, p. 1-14, 2008.
- 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.
- 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, Setembro, 2008.
- 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, 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, n.4, p. 312-328, 2007.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.Ed. Porto Alegre: Dpto. de solos da UFRGS, 174 p. 1995.

USDA-NRCS. **Agricultural Waste Field Handbook**. USDA, Washington, DC, 2000.

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.