

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE
PLANEJAMENTO, URBANISMO E AMBIENTE

MARCELA DE FELICIO MOREIRA
PRISCILA RIBEIRO DOS SANTOS

TRATAMENTO ORGÂNICO DE RESÍDUOS DE RÚMEN BOVINO

PRESIDENTE PRUDENTE – SP

2012

MARCELA DE FELICIO MOREIRA
PRISCILA RIBEIRO DOS SANTOS

TRATAMENTO ORGÂNICO DE RESÍDUOS DE RÚMEN BOVINO

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP – Campus de Presidente Prudente, como um dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Rizk

PRESIDENTE PRUDENTE – SP

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

M838t Moreira, Marcela de Felício.
Tratamento orgânico de resíduos de rúmen bovino / Marcela de Felício
Moreira, Priscila Ribeiro dos Santos. - Presidente Prudente : [s.n], 2012
x, 61f. : il.

Orientador: Maria Cristina Rizk
Trabalho de conclusão (bacharelado - Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia

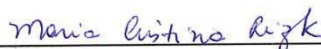
1. Compostagem. 2. Rúmen bovino. 3. Leiras aeradas. 4. Reator
mecanizado. 5. Composto orgânico. I. Rizk, Maria Cristina. II. Santos,
Priscila Ribeiro dos. III. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Ciências e Tecnologia. IV. Tratamento orgânico de resíduos de rúmen
bovino.

TERMO DE APROVAÇÃO

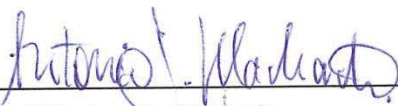
Marcela de Felício Moreira e Priscila Ribeiro dos Santos

"TRATAMENTO ORGÂNICO DE RESÍDUOS DE RÚMEN BOVINO"

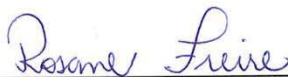
Trabalho de graduação aprovado como um dos requisitos parciais para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia, *campus* de Presidente Prudente – SP, pela seguinte banca examinadora:



Profa. Dra. Maria Cristina Rizk (Orientador)



Prof. Dr. Antônio Jaschke Machado



Profa. Msc. Rosane Freire

Presidente Prudente, 30 de novembro de 2012.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus que abençoou nossas escolhas e nossa caminhada até aqui.

Agradecemos também àqueles que nos apoiaram e nos incentivaram para a realização deste trabalho, em especial:

Principalmente aos nossos pais e familiares que nos dedicaram carinho, paciência e nos incentivaram em todos os momentos de nossa vida.

À nossa orientadora pela amizade, paciência, orientação e conhecimentos transmitidos ao longo da graduação.

Aos nossos professores pelos aprendizados adquiridos.

Aos funcionários da universidade e amigos que contribuíram para a parte prática desse trabalho.

Aos nossos amigos da universidade pela companhia e amizade que conquistamos ao longo desses anos de graduação. Assim como aos amigos, que apesar da distância, estiveram ao nosso lado durante todo esse tempo.

As empresas que nos auxiliaram no fornecimento dos resíduos para a realização do trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa concedida para desenvolvimento deste trabalho, Processo FAPESP número 2011/17545-4.

"Todo caminho da gente é resvaloso. Mas também, cair não prejudica demais – a gente levanta, a gente sobe, a gente volta. O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem."

Guimarães Rosa

RESUMO

Os resíduos orgânicos precisam ser gerenciados de forma adequada a fim de evitar a poluição ambiental e riscos à saúde pública. Assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar o processo de compostagem utilizando dois métodos: manual e mecanizado, para o tratamento de rúmen bovino. Tal resíduo é gerado em grandes proporções durante os processos de abate de bovinos, podendo ocasionar contaminação, degradação ambiental ou ainda danos à saúde pública, quando não tratado. Para o ajuste inicial dos parâmetros da compostagem, foi incorporado o resíduo de casca de café. O sistema de compostagem manual foi feito em três leiras aeradas por revolvimento manual, e o sistema de compostagem mecanizado foi feito em três reatores, acoplados a um compressor, permitindo a aeração do sistema. As proporções utilizadas em ambos os sistemas foram: 90% rúmen bovino (R) e 10% cascas de café (CC); 85% rúmen bovino e 15% cascas de café; 80% rúmen bovino e 20% cascas de café. Os parâmetros monitorados ao longo do processo de compostagem foram: temperatura, pH, umidade, matéria orgânica, resíduo mineral, carbono orgânico, nitrogênio Kjeldahl e relação C/N. Os resultados obtidos ao longo do monitoramento das leiras e reatores apresentaram comportamentos similares, exceto para os parâmetros nitrogênio Kjeldahl e relação C/N. Quando comparados com os parâmetros estabelecidos na Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, os compostos orgânicos produzidos com os melhores resultados foram: leira 2 (85% R; 15% CC) e reatores 1 (90% R; 10% CC) e 2 (85% R; 15% CC).

Palavras-chave: compostagem; rúmen bovino; leiras aeradas; reator mecanizado; composto orgânico.

ABSTRACT

The organic wastes need to be adequately managed, in order to avoid the environmental pollution and damage to the public health. So, this work aimed to study the composting process using two methods: manual and mechanized, for the treatment of bovine ruminal waste. This residue is generated in large proportions during the bovine slaughter process, and it can lead environmental degradation and contamination, or even damage to the public health, when not treated. For the initial adjustment of the composting parameters, it was incorporated the residue of coffee husks. The manual composting system was done by the manually aerated piles, while the mechanized composting system was done in a reactor coupled to a compressor that enabled the aeration of the system. The proportions used in both systems were: 90% bovine rumen (R) and 10% coffee husks (CC); 85% bovine rumen and 15% coffee husks; 80% bovine rumen and 20% coffee husks. The parameters determined during the monitoring of the composting process were: temperature, pH, moisture, organic matter, ash, organic carbon, Kjeldahl nitrogen and C/N ratio. The results obtained during the monitoring of the piles and reactors presented similar behavior, except for the parameters Kjeldahl nitrogen and C/N ratio. When compared to the “Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento”, the organic produced composts with the best results were: pile 2 (85% R; 15% CC) and reactors 1 (90% R; 10% CC) e 2 (85% R; 15% CC).

Keywords: composting; bovine rumen; aerated piles; mechanized reactor; organic compost

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de processo de compostagem	18
Figura 2 – Tendência de evolução dos parâmetros de compostagem.....	19
Figura 3 – Resíduo ruminal	24
Figura 4 – Resíduo de casca de café.....	25
Figura 5 – Montagem das leiras	26
Figura 6 – Revolvimento das leiras com auxílio de pás	26
Figura 7 – Montagem dos reatores	27
Figura 8 – Monitoramento da temperatura das leiras	32
Figura 9 – Monitoramento da temperatura dos reatores.....	34
Figura 10 – Monitoramento do pH nas leiras	35
Figura 11 – Monitoramento do pH nos reatores.....	36
Figura 12 – Monitoramento da umidade nas leiras	37
Figura 13 – Monitoramento da umidade nos reatores	38
Figura 14 – Monitoramento da matéria orgânica nas leiras	39
Figura 15 – Monitoramento da matéria orgânica nos reatores	40
Figura 16 – Monitoramento do resíduo mineral nas leiras.....	41
Figura 17 – Monitoramento do resíduo mineral nos reatores.....	42
Figura 18 – Monitoramento do carbono orgânico nas leiras	43
Figura 19 – Monitoramento do carbono orgânico nos reatores.....	44
Figura 20 – Monitoramento do nitrogênio Kjeldahl nas leiras.....	45
Figura 21 – Monitoramento do nitrogênio Kjeldahl nos reatores	46
Figura 22 – Monitoramento da relação C/N nas leiras	47
Figura 23 – Monitoramento da relação C/N nos reatores.....	48
Figura 24 – Aspecto do composto final da leira 3	49
Figura 25 – Aspecto do composto final do reator 1	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidades médias dos principais resíduos gerados em abatedouros.....	14
Tabela 2 – Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos	23
Tabela 3 – Proporção dos resíduos utilizados nas leiras manuais	25
Tabela 4 – Proporção dos resíduos utilizados nos reatores	28
Tabela 5 – Caracterização inicial dos resíduos.....	30
Tabela 6 – Caracterização das misturas dos resíduos.....	31
Tabela 7 – Valores finais dos compostos produzidos nas leiras e reatores e os valores de referência da Instrução Normativa n° 25 de 23/07/2009.....	50

ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO.....	11
2 – OBJETIVOS.....	12
2.1 – OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 – RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS.....	13
3.1.1 – Resíduos sólidos do processamento de carne bovina.....	13
3.1.2 – Resíduos de cascas de café.....	16
3.2 – COMPOSTAGEM.....	17
3.2.1 – Compostagem de resíduo ruminal bovino.....	21
3.2.2 – Degradação da celulose e lignina presentes em altos teores no rúmen.....	22
3.2.3 – Composto orgânico.....	22
4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	24
4.1 – COMPOSTAGEM CONVENCIONAL.....	24
4.2 – COMPOSTAGEM MECANIZADA.....	27
4.3 – MÉTODOS ANALÍTICOS.....	28
4.3.1 – Temperatura.....	28
4.3.2 – pH.....	29
4.3.3 – Umidade, Matéria Orgânica, Resíduo Mineral e Carbono Orgânico.....	29
4.3.4 – Nitrogênio Kjeldahl.....	29
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5.1 – CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	30
5.2 – MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	32
5.2.1 – Temperatura.....	32
5.2.2 – pH.....	35
5.2.3 – Umidade.....	37
5.2.4 – Matéria Orgânica.....	39
5.2.5 – Resíduo Mineral.....	41
5.2.6 – Carbono Orgânico.....	43
5.2.7 – Nitrogênio Kjeldahl.....	45
5.2.8 – Relação C/N.....	47
5.3 – CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO FINAL.....	49

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS	57

1 – INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Exportação de Carnes (ABIEC, 2011), a década de 2000 foi marcada pela consolidação do Brasil como potência na produção e exportação de carne bovina, onde a pecuária de corte ocupa posição de destaque no mercado mundial. Além disso, segundo dados do Conselho Nacional da Pecuária de Corte (CNPC, 2006), a taxa brasileira de abate vem acompanhando a tendência de crescimento do rebanho bovino, 22% nos últimos anos, e estimou-se o abate de 46,3 milhões de cabeças no ano de 2010.

Esse segmento contribui sistematicamente para a geração de grandes quantidades de resíduos sólidos e líquidos, produzidos desde a extração da matéria-prima até as etapas do processo industrial.

Durante o processamento desses animais, são gerados resíduos sólidos, como o conteúdo ruminal dos bovinos; e resíduos líquidos, como as águas de lavagem de carcaça e de equipamentos, e resíduos de sangue, que devem receber tratamentos específicos para que possam ser dispostos sem riscos de contaminação ou degradação do ambiente.

Costa *et al.* (2009) menciona que dentre os resíduos produzidos em frigoríficos são encontrados vísceras de animais abatidos, pedaços de carne sem valor comercial, sebo, e outros materiais, todos passíveis de tratamento biológico pela compostagem.

O tratamento biológico da fração orgânica de resíduos sólidos é uma alternativa sustentável e viável de tratamento, visto que é caracterizado pelo baixo custo, rapidez na obtenção do produto final e de simples operação. Além disso, é um processo eficiente na eliminação dos patógenos presentes nos resíduos a serem tratados, e que resulta em um produto final (adubo orgânico) ambientalmente correto e com valor agregado.

Assim, a compostagem é uma das alternativas para um saneamento eficaz, transformando resíduos potencialmente poluidores em adubo orgânico. O tratamento viabiliza o aproveitamento de resíduos gerados e a redução nos gastos com fertilizantes; além da reciclagem dos nutrientes, que passam a ser dispostos no solo na forma mineral e orgânica proporcionando melhorias nas suas características químicas, físicas e biológicas (MORALES, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2008).

2 – OBJETIVOS

2.1 – OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar o processo de compostagem para tratamento de rúmen bovino, incorporado com resíduos de cascas de café.

2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos específicos, citam-se:

- Instalação e operação de sistemas de compostagem manual e mecanizada;
- Monitoramento dos parâmetros físico-químicos do processo de compostagem;
- Análise dos compostos orgânicos obtidos e comparação com a Instrução Normativa n. 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS

Resíduos sólidos são classificados, segundo a Norma Brasileira (NBR) 10.004 de 2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como resíduos nos estados sólido e semi-sólido, resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Enquadram-se, também, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, além de determinados líquidos, cujas particularidades impeçam seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam, para isso, soluções técnica e economicamente inviáveis.

Os resíduos sólidos de agroindústrias são constituídos por materiais provenientes de usinas sucro-alcooleiras, matadouros e indústrias do processamento de carnes (vísceras e carcaça de animais), frutas e hortaliças (bagaço, tortas, refugo e restos), indústria de papel e celulose (resíduos de madeira, lodo do processo de produção e do tratamento de águas residuais), curtumes (aparas de couro e lodo do processo e tratamento de águas residuárias), etc. (SILVA, 2011).

Segundo Silva (2011), nos matadouros e frigoríficos os resíduos são frequentemente muito volumosos e representam um sério problema, por conterem alto teor de matéria orgânica. Os resíduos não tratados se comportam como focos de proliferação de insetos e de agentes infecciosos, como bactérias, fungos, entre outros.

Assim, o manejo, armazenamento e disposição inadequados dos resíduos podem contaminar o solo e as águas superficiais e subterrâneas, tornando-os impróprios para qualquer uso, bem como gerar problemas de saúde pública (PACHECO e YAMANAKA, 2008).

O reaproveitamento dos resíduos sólidos agroindustriais é uma das alternativas que pode ser adotada para a diminuição dos impactos ambientais causados pela disposição inadequada dos mesmos.

3.1.1 – Resíduos sólidos do processamento de carne bovina

O segmento industrial da cadeia produtiva de carne bovina compreende dois setores distintos: o produtivo e o de abate. As empresas que normalmente atuam no abate de animais,

são os abatedouros e os abatedouros-frigoríficos com processamento e industrialização de carnes (MORALES, 2006).

O ciclo de processamento de bovinos nesses locais começa com a chegada de gado vivo nos currais. O gado é pesado e inspecionado para verificação de defeitos e doenças. Em seguida, é conduzido para a sala de abate onde é feito o atordoamento mecânico. Posteriormente, é pendurado, pela traseira, em um transportador aéreo e levado para a remoção do vômito. Em seguida é feita a sangria, por meio de corte dos grandes vasos do pescoço, sendo retirado o sangue e realizada a remoção do couro, cabeça e mocotó. Na evisceração, a carcaça é aberta com serra elétrica manual e as vísceras retiradas. Após a lavagem, utilizando água quente, as carcaças são encaminhadas a câmaras frias ou a desossa (MORALES, 2006).

Os principais resíduos sólidos gerados em abatedouros-frigoríficos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidades médias dos principais resíduos gerados em abatedouros

Resíduos	Quantidade (kg/cabeça, bovino de 250kg)
Esterco	4,5
Pelos/partículas de couro	-
Material não-comestível (Ossos, gordura, cabeça, partes condenadas – abate)	95
Conteúdo estomacal e intestinal (bucharia e triparia)	20 - 25
Sangue - abate	15 – 20 litros

Fonte: Adaptado de Pacheco e Yamanaka (2008)

Alguns outros resíduos sólidos que são gerados em operações auxiliares e de utilidades desses empreendimentos também precisam ser considerados, sendo eles: resíduos da estação de tratamento de água (lodos e materiais retidos em filtros); resíduos da estação de tratamento de efluentes líquidos (material retido em gradeamento e peneiramento, material flotado); cinzas das caldeiras; resíduos de manutenção (solventes e óleos lubrificantes usados, resíduos de tintas, metais e sucatas metálicas); outros (PACHECO e YAMANAKA, 2008).

O conteúdo ruminal é o resíduo sólido de maior relevância gerado em matadouros frigoríficos de bovinos, logo, requer especial atenção no seu gerenciamento, devido à alta geração, a elevada umidade do material e a dificuldade de destino (ROSA, 2009).

Dentro do processo produtivo ocorre a etapa de evisceração, que envolve a retirada das vísceras abdominais e pélvicas, dos intestinos, bexiga e estômagos. Nessa etapa tem-se o esvaziamento do estômago, e então o rúmen é removido e transportado para uma área de coleta.

De acordo com Ferreira (1997) *apud* Morales (2006), o conteúdo ruminal, retirado dos animais logo após o abate, consiste em alimentos parcialmente digeridos, sendo que um animal de 400 kg produz em média 25 kg deste resíduo.

Em geral, este resíduo é destinado para o uso agrícola na adubação orgânica, porém tal uso sem que se conheçam suas características agronômicas, pode levar a alterações das características dos solos e a outras degradações ambientais (TRAUTMANN-MACHADO *et al.*, 2009).

A composição do rúmen é de forrageiras (ricas em celulose e lignina) parcialmente digeridas, utilizadas na alimentação animal, e sal mineral, fornecido como complemento alimentar aos animais.

O resíduo ruminal apresenta em sua constituição frações menos digestíveis das forrageiras, como frações de celulose e lignina que são oxidadas por microrganismos para produção de energia metabólica. Estas frações são de degradação lenta pela alta relação C/N inicial de 47/1, apesar disto, este resíduo apresenta inóculo natural da microbiota ruminal favorecendo o processo de compostagem (MORALES, 2006; PELÁEZ *et al.*, 2004).

Segundo Hobson e Stewart (1997) *apud* Rosa (2009) o rúmen é uma complexa estrutura de conteúdo heterogêneo, composto basicamente de microrganismos em suspensão no líquido livre, uma massa sólida de alimento em digestão e uma fase gasosa contendo CH₄, H₂ e CO₂. Assim, por ser material basicamente orgânico, é passível de ser tratado por meio do processo de compostagem.

A compostagem de resíduos de abatedouros e pequenos frigoríficos é assunto pouco relatado na literatura, podendo-se citar as referências sobre compostagem desses resíduos pouco utilizados como matéria-prima nesse tipo de tratamento (Kiehl, 1985) e de autores como Tritt e Schuchardt (1992), que comentam sobre a compostagem como alternativa para o tratamento dos resíduos sólidos provenientes de frigoríficos na Alemanha e Koenig e Yiu (1999) que abordam resultados de uma pesquisa sobre o manejo de resíduos em abatedouros em Hong Kong.

O rúmen possui características que leva a necessidade de misturá-lo a outro resíduo, de modo que se adquiram condições ótimas para a compostagem. Para isso, são utilizados os

resíduos estruturantes, que segundo Fernandes e Silva (1999), têm a função de conferir integridade estrutural à mistura a ser compostada.

No caso da compostagem do rúmen, o agente estruturante deve também ter a função de absorver o excesso de umidade.

Além das características intrínsecas do resíduo, a escolha do agente estruturante na compostagem também deve considerar alguns aspectos práticos, como a disponibilidade do resíduo, distâncias de transporte e características desejadas no produto final (FERNANDES e SILVA, 1999).

Para este estudo, foi escolhida a casca de café como resíduo estruturante. Este resíduo é gerado em grande quantidade devido ao processo de industrialização do café por via seca, apresentando baixo teor de umidade e, portanto, boa capacidade de absorver o excesso de umidade do rúmen.

3.1.2 – Resíduos de cascas de café

A casca de arroz, o bagaço de cana e a casca de café são frequentemente gerados no Brasil (MAGALHÃES *et al.*, 2008). Estima-se que sejam produzidas em torno de 30 milhões de sacas de casca de café anualmente, quase o equivalente à produção dos grãos de café (SOCCOL, 2002). Segundo Rocha *et al.* (2006), Isso se deve ao predomínio do processo de industrialização dos grãos por via seca, gerando como subproduto a casca de café, cujo rendimento pode atingir 50% do peso na colheita.

Frequentemente, o resíduo casca de café é devolvido à lavoura pelos produtores, levando de 12 a 18 meses para se decompor por completo no solo e levando um longo período de tempo para disponibilizar os nutrientes às culturas, podendo ainda ser danoso por ser usado naturalmente (LEITE *et al.*, 2003; AMPARO *apud* LEITE, 2003); ou empregado na alimentação de ruminantes, porém, é considerado antinutricional devido à presença de substâncias tóxicas aos animais (SOCCOL, 2002). Além disso, por muito tempo foi disposto em grandes pilhas sobre o solo de áreas marginais ou mesmo lançado em rios, causando contaminação do solo e água (MATOS e FEBRER, 2000).

A casca de café é basicamente um resíduo vegetal lignino-celulósico da agroindústria (FERNANDES e SILVA, 1997); além de ser rica em matéria orgânica, e ser fonte natural de potássio e nitrogênio (TONACO *et al.*, 2010)

Fernandes e Silva (1997) ao caracterizar físico-quimicamente a casca de café (em relação ao seu peso seco) obtiveram os seguintes resultados: pH de 5,1; umidade em torno de 10,3%; 1,6% para nitrogênio total e 46% para carbono orgânico, levando a uma relação C/N de 39/1.

Fernandes e Silva (1999) relatam os resíduos vegetais como os mais importantes resíduos estruturantes utilizados na compostagem, e dentre eles está a casca de café. Os autores relatam que os resíduos estruturantes têm a função de conferir integridade estrutural à mistura a ser compostada, absorver o excesso de umidade e pode ainda equilibrar a relação C/N da mistura.

No estudo sobre compostagem de carcaças de frango, Paiva (2008) utilizou a casca de café como material estruturante, já que a mesma apresenta alta porosidade, é resistente à compactação e mantém porosidade adequada na massa de compostagem, além da capacidade de absorver os líquidos provenientes do material principal a ser compostado, no caso as carcaças de frangos.

Leite *et al.* (2003), relataram a vermicompostagem para transformação de resíduos de casca de café e dejetos de suínos em adubo orgânico de qualidade. Os autores concluíram que o húmus produzido somente pela casca seca de café, apesar de ser um excelente adubo orgânico, necessita ainda de complemento quando for utilizado como fertilizante natural e única fonte de nutrientes ao solo, sendo assim recomendado que seja misturado a outro tipo de resíduo.

Febrer *et al.* (2002) estudaram a dinâmica de decomposição de resíduos orgânicos, como a casca de café, misturados à águas residuárias. O composto orgânico produzido com casca de café foi o que apresentou menor alteração na relação C/N; entretanto, atingiu condições mais adequadas para ser considerado como fertilizante e apresentou uma das melhores condições, sob o ponto de vista para aproveitamento agrícola. Além disso, o composto orgânico a partir da casca de café foi um dos compostos que atingiu o grau de humificação necessário.

3.2 – COMPOSTAGEM

A compostagem pode ser definida como um processo biológico de oxidação aeróbia e exotérmica de um substrato orgânico, no estado sólido, caracterizando-se pela produção de CO₂, vapor de água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável denominada húmus (BERNAL *et al.*, 1998). No processo de compostagem, tem-se a redução do volume e da massa de resíduos sólidos orgânicos e a produção de um condicionador de solos seguro, estabilizado e rico em nutrientes (ADHIKARI *et al.*, 2009).

Na matéria orgânica é encontrada uma densa população de microrganismos, que usam minerais, compostos orgânicos, água e oxigênio para o crescimento e suas atividades

metabólicas. A capacidade dos microrganismos transformarem a matéria orgânica depende de suas habilidades de produzir enzimas necessárias à degradação dos substratos (TUOMELA *et al.*, 2000). Os componentes orgânicos biodegradáveis passam por etapas sucessivas das transformações, sob a ação de diversos grupos de microrganismos, resultando num processo bioquímico altamente complexo (BETTIOL e CAMARGO, 2000). As interações entre as variáveis ambientais durante o processo apresentada na Figura 1 não são bem compreendidas e deste modo, às vezes, não são consideradas no controle do processo.

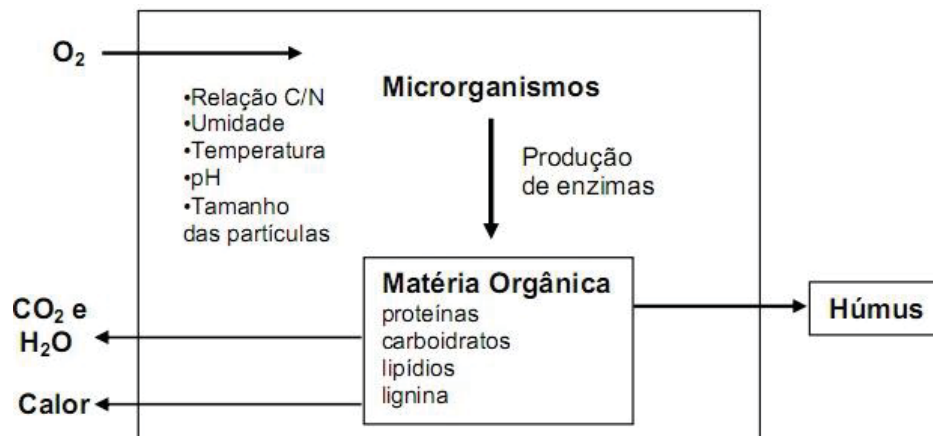


Figura 1 – Esquema de processo de compostagem

Fonte: Adaptado de TUOMELA *et al.*, 2000

Segundo Pereira Neto (1989), a compostagem pode ser efetuada em duas fases distintas: fase ativa – ocorrem reações bioquímicas de oxidação mais intensas, predominantemente termófilas; fase de maturação – ocorre o processo de humificação e o húmus resultante deste processo é considerado excelente condicionador de solos.

Fernandes e Silva (1999) relatam que os processos de compostagem podem ser divididos em três grandes grupos:

- Sistema de leiras revolvidas (*windrow*), onde a mistura de resíduos é disposta em leiras, sendo a aeração fornecida pelo revolvimento dos resíduos e pela convecção e difusão do ar na massa do composto. Uma variante deste sistema, além do revolvimento, utiliza a insuflação de ar sob pressão nas leiras.
- Sistema de leiras estáticas aeradas (*static pile*), onde a mistura a ser compostada é colocada sobre uma tubulação perfurada que injeta ou aspira o ar na massa do composto, não havendo revolvimento mecânico das leiras.

- Sistemas fechados ou reatores biológicos (*In-vessel*), onde os resíduos são colocados dentro de sistemas fechados, que permitem o controle de todos os parâmetros do processo de compostagem.

De acordo com Veras e Povinelli (2004) e Costa (2005) os principais fatores que interferem no processo de compostagem são: a aeração, a temperatura, o teor de umidade, a concentração de nutrientes, a relação carbono:nitrogênio e o pH.

A Figura 2 apresenta as tendências de evolução das principais variáveis limitantes da compostagem.

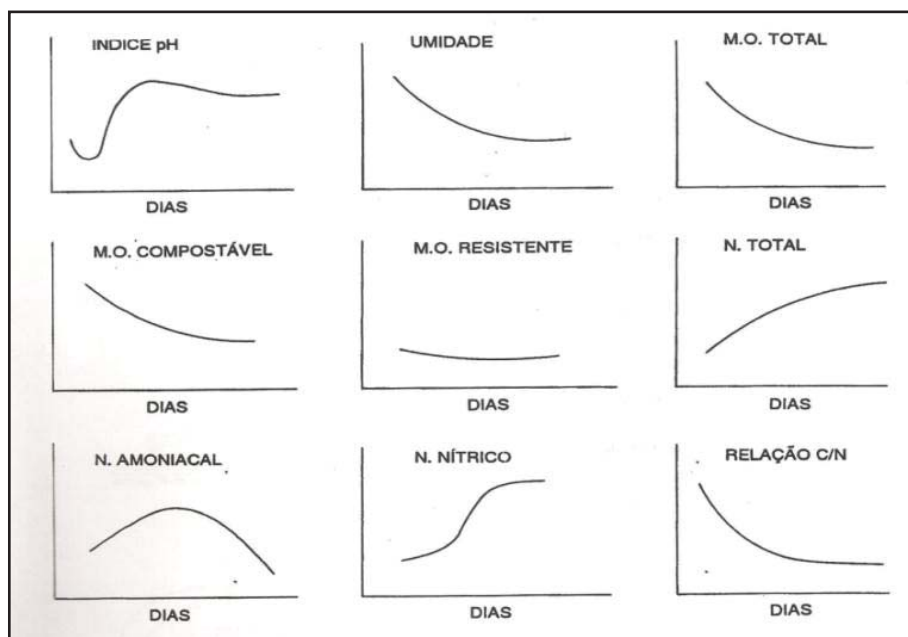


Figura 2 – Tendência de evolução dos parâmetros de compostagem

Fonte: (JARDIM *et al.*, 1995)

A aeração é necessária para a atividade biológica e, em níveis adequados, possibilita a decomposição da matéria orgânica de forma mais rápida, sem odores ruins; sendo sua eficiência dependente da granulometria, da agregação e da umidade dos resíduos (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

Além de que, o oxigênio é de vital importância para que ocorra produção de energia necessária aos microrganismos que realizam a decomposição, sendo que parte dessa energia é utilizada no metabolismo deles e o restante é liberado na forma de calor (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico, refletindo a eficiência do processo, visto que ao iniciar o processo há proliferação de diferentes grupos de microrganismos, que vão se sucedendo de acordo com as características do meio.

Há quatro importantes fases da temperatura durante o processo de compostagem: Fase mesofílica – é a fase em que predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40 °C. Tem duração média de dois a cinco dias; Fase termofílica – quando o material atinge sua temperatura máxima (> 40 °C) e é degradado mais rapidamente. Esta fase pode ter a duração de poucos dias a vários meses, de acordo com as características do material sendo compostado; Fase de resfriamento – é marcada pela queda da temperatura para valores da temperatura ambiente; Fase da maturação – é o período de estabilização que produz um composto maturado, altamente estabilizado e humificado, livre de toxicidade, que é denominado húmus. Pode ter a duração de semanas ou meses (BERNAL *et al.*, 1998).

Na fase termofílica, os microrganismos atacam as substâncias mais facilmente degradáveis, como carboidratos simples e nitrogenados solúveis. As reações de oxidação são exotérmicas, razão pela qual a temperatura aumenta, alcançando valores maiores que 40°C, predominando os microrganismos termofílicos (BRITO, 2008).

Posteriormente, a intensidade das reações químicas e a temperatura diminuem, pois as substâncias de rápida degradação vão se esgotando, atingindo então a temperatura próxima a ambiente (BRITO, 2008).

As altas temperaturas no processo de compostagem são importantes pelo fato de eliminarem organismos patogênicos, os quais pouco resistem às temperaturas elevadas, por certo período de tempo (MARAGNO *et al.*, 2007).

Outro fator de grande importância para as necessidades fisiológicas dos microrganismos envolvidos na compostagem é a umidade; sendo a faixa adequada entre 40 e 60%, e o valor de 55% é considerado uma umidade ótima (MARAGNO *et al.*, 2007).

Segundo Pereira Neto (1996), os microrganismos necessitam da presença de macro e micro nutrientes para o exercício de suas atividades metabólicas. Dentre os nutrientes utilizados pelos microrganismos, dois são de extrema importância – o carbono e o nitrogênio, cuja concentração e disponibilidade biológica de ambos afetam o desenvolvimento do processo.

A relação C/N ótima para início da compostagem está entre 30 e 40/1, propiciando intensa atividade biológica e menor tempo de compostagem (PEREIRA NETO e MESQUITA, 1992). Durante a compostagem, parte do carbono é transformada em gás carbônico e parte é usada para crescimento microbiano. As relações C/N elevadas (60/1, por exemplo) demandam maior tempo de compostagem, porém se a relação C/N for muito baixa, ou seja, teor de

nitrogênio elevado, deve-se incorporar ao material outro resíduo rico em carbono. A relação C/N igual ou inferior a 18/1 indica que o composto está semicurado e inferior a 12/1, curado ou humificado (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

O pH do composto pode ser indicativo do estado de compostagem dos resíduos orgânicos. Segundo Bertran *et al.* (2004), o pH tem um efeito na população microbiana.

Os microrganismos que atuam na compostagem têm como faixa ótima de desenvolvimento pH entre 6 a 9, portanto, quando bem conduzida, a compostagem não apresenta problemas relacionados ao controle de pH (PEIXOTO, 1981; TSUTIYA *et al.*, 2002). Caso o pH seja muito ácido, ocorre inibição do crescimento das bactérias, afetando o processo de compostagem (TSUTIYA *et al.*, 2002).

3.2.1 – Compostagem de resíduo ruminal bovino

Em seu estudo sobre compostagem, Silva (2007) utilizou resíduos agroindustriais, incluindo: resíduos de incubatório de ovos; conteúdo ruminal de bovinos; lodos; cinzas de caldeira; resíduos vegetais de cereais. Para isso, foram estudados sistemas de leiras aeradas com revolvimento manual, sendo que cada leira foi construída com camadas dos resíduos citados. O peso inicial das leiras foi de 1000 kg de massa fresca.

Os principais resultados obtidos por Silva (2007) indicaram reduções de volume entre 35 e 45%; umidade entre 45 e 55%, nitrogênio entre 0,97 e 1,93%, C/N entre 15 a 23/1, concluindo, assim, que a compostagem é um sistema eficiente no tratamento de resíduos sólidos agroindustriais, promovendo o saneamento ambiental.

Morales (2006) estudou o sistema de compostagem utilizando apenas conteúdo ruminal. Foram realizados ensaios de compostagem no verão com duração de 104 dias e no outono com duração de 92 dias. As leiras estudadas no outono tiveram uma redução de volume 10% maior do que as conduzidas no verão, sendo que a redução máxima foi de 46%.

Os principais resultados obtidos por Morales (2006) indicaram que a relação C/N final no verão foi de 18/1 e de 16/1 no outono. Com relação ao teor final de nitrogênio, obteve-se uma porcentagem de 1,27% no verão e 1,57% no outono. Os compostos produzidos apresentaram boas características físico-químicas, indicando que poderiam ser usados como adubo orgânico e condicionador de solo.

3.2.2 – Degradação da celulose e lignina presentes em altos teores no rúmen

As bactérias *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens* e *Ruminococcus albus* geralmente são consideradas como os microrganismos celulósicos predominantes no rúmen. Estas bactérias são as mais ativas na digestão da celulose de todos os organismos mesofílicos descritos em qualquer habitat. Além disso, elas têm extrema especialização nutricional, pois são capazes de utilizar celulose e seus produtos hidrolíticos como sua única fonte de energia para o crescimento. Porém tais microrganismos não conseguem digerir a celulose de maneira rápida. As maiores restrições da digestão da celulose são causadas pela estrutura da parede celular (matriz de interações) e pela limitada penetração dos microrganismos no lúmen celular (WEIMER, 1996).

Algumas ligninas consistem de polímeros fenilpropanóides, da parede celular, altamente condensados e muito resistentes à degradação (BUDZIAK *et al.*, 2003).

Susmel e Stefanon (1993), em seu estudo sobre aspectos de degradação da lignina por microrganismos do rúmen, relatam que locais de clima quente onde o grau de lignificação em plantas é extremamente variável causam imprevisíveis reduções na degradabilidade desse elemento.

Além disso, compostos orgânicos complexos como a lignina são principalmente degradados por microfungos e actinomicetos termofílicos, assim as altas temperaturas durante a fase termofílica são essenciais para sua degradação (TUOMELA *et al.*, 2000).

3.2.3– Composto orgânico

A qualidade do adubo orgânico depende de uma série de fatores como, por exemplo, tamanho de partículas, umidade, teor de matéria orgânica, teor de carbono, concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, metais pesados, salinidade, capacidade de troca catiônica, capacidade de retenção de água, porosidade, microrganismos patogênicos e grau de estabilidade do composto. Entretanto, os parâmetros mais importantes, em termos de manutenção da saúde pública, do solo e do ambiente, são aqueles relacionados aos microrganismos patogênicos; aos compostos potencialmente tóxicos, compostos orgânicos e inorgânicos; e a estabilidade e, posteriormente, aqueles relativos à imobilização e lixiviação do nitrogênio e a fitotoxicidade (LASARIDI *et al.*, 2006).

O composto orgânico é reconhecidamente um excelente condicionador para o solo, podendo proporcionar melhorias em suas propriedades físicas – aumentando a capacidade de

retenção de água e a macroporosidade; químicas – aumentando a disponibilidade de macro e micronutrientes; físico-químicas – aumentando a capacidade de troca catiônica e, biológicas – estimulando a proliferação de microrganismos úteis, agindo no controle de fitopatógenos (MAGALHÃES *et al.*, 2006).

A Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009), define fertilizante orgânico composto como: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas. A Tabela 2 apresenta as especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos, estabelecidas pelo Anexo III da referida Norma.

Tabela 2 – Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos

Garantia	Misto/Composto				Vermicomposto Classes A, B, C, D
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	
Umidade (máx.)	50	50	50	70	50
N total (mín.)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Carbono orgânico (mín.) ^(*)	15	15	15	15	10
CTC ^(*)	Conforme declarado				
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)	20	20	20	20	14
Relação CTC/C (mín.)	Conforme declarado				
Soma NPK, NP, NK, PK	Conforme declarado				

^(*) Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65 °C

Fonte: (BRASIL, 2009)

4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O resíduo ruminal bovino foi coletado no setor da “linha verde” de um frigorífico na cidade de Presidente Prudente. Em função de sua elevada umidade para o início do tratamento por compostagem, houve a necessidade de incorporação de outro resíduo para adequação de tal parâmetro, optando-se pelas cascas de café, que foram coletadas numa cooperativa agrária de cafeicultores, na cidade de Parapuã-SP.

O rúmen foi coletado em tambores metálicos de 200 litros e as cascas de café em sacos de aproximadamente 25kg e encaminhados para a FCT/UNESP.

Os resíduos foram caracterizados físico-quimicamente, para que posteriormente, fossem determinadas as proporções dos resíduos a serem tratados por meio da compostagem.

O rúmen (R) e as cascas de café (CC) foram caracterizados em termos dos seguintes parâmetros: pH, umidade, matéria orgânica, resíduo mineral, carbono orgânico, nitrogênio Kjeldahl e relação C/N, cujos métodos de análise serão apresentados no item 4.3 – Métodos Analíticos.

4.1 – COMPOSTAGEM CONVENCIONAL

O sistema de compostagem convencional foi constituído por três leiras manuais com composições distintas dos resíduos de rúmen e casca de café, sendo a massa total de resíduos em cada leira de 175 quilos. Assim, foram utilizados um total de 78,75 kg de casca de café e 446,25 kg de resíduo ruminal.

As Figuras 3 e 4 mostram os resíduos coletados.



Figura 3 – Resíduo ruminal



Figura 4 – Resíduo de casca de café

As proporções de resíduos utilizados na construção das leiras estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Proporção dos resíduos utilizados nas leiras manuais

Leiras	Proporção de resíduos	Nomenclatura
Leira 1	90% rúmen bovino 10% cascas de café	L1 – 90%R; 10%CC
Leira 2	85% rúmen bovino 15% cascas de café	L2 – 85%R; 15%CC
Leira 3	80% rúmen bovino 20% cascas de café	L3 – 80%R; 20%CC

Os resíduos de rúmen e casca de café foram dispostos em camadas para montagem das leiras com auxílio de pás, como observado na Figura 5.



Figura 5 – Montagem das leiras

As leiras de compostagem foram construídas sobre lona plástica com 1,20 metros de comprimento x 0,90 metros de largura x 0,50 metros de altura (aproximadamente), caracterizando um processo em pequena escala.

A aeração das leiras foi realizada por meio de revolvimento com auxílio de pás. No início do processo, a aeração era feita todos os dias; após 15 dias de compostagem, o revolvimento passou a ser feito a cada quatro dias, e posteriormente, com 50 dias de compostagem, semanalmente (Figura 6).



Figura 6 – Revolvimento das leiras com auxílio de pás

A temperatura de cada leira foi determinada com o auxílio de um termômetro, sendo que as medições eram realizadas em cinco pontos de cada leira a fim de se obter o valor médio da temperatura. As medições foram feitas no fim da tarde. No início do processo, as medições de temperatura eram diárias; após 15 dias de compostagem, a medição passou a ser realizada a cada quatro dias; e, com 50 dias de compostagem, semanalmente, acompanhando o revolvimento das leiras; sendo que a medição da temperatura era feita sempre antes do revolvimento.

Nos dias de precipitações pluviométricas, as leiras foram cobertas com lona plástica, a fim de evitar a penetração descontrolada de água e a perda de material. Quando verificada a baixa umidade das amostras e o aspecto seco das leiras, foi adicionada água da torneira às mesmas.

As leiras foram monitoradas a cada 15 dias por meio da análise de pH, umidade, matéria orgânica, resíduo mineral, carbono orgânico, nitrogênio Kjeldahl e relação C/N. As amostras foram coletadas por meio de amostragem composta.

4.2 – COMPOSTAGEM MECANIZADA

O sistema de compostagem mecanizada foi constituído por três reatores aerados construídos em bombonas plásticas e tambor metálico de 200 litros com tampa. Os reatores apresentaram as proporções de resíduos iguais às das leiras manuais, sendo a massa total de resíduos em cada reator de 50 Kg. Nos três reatores foi utilizado um total de 22,5 kg de casca de café e 127,5 kg de resíduo ruminal.

Da mesma forma que foi mencionado na construção das leiras, os resíduos foram dispostos em camadas no interior dos reatores (Figura 7).



Figura 7 – Montagem dos reatores

As proporções de resíduos utilizados na construção dos reatores e suas nomenclaturas estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Proporção dos resíduos utilizados nos reatores

Reatores	Proporção de resíduos	Nomenclatura
Reator 1	90% rúmen bovino 10% cascas de café	R1 – 90%R; 10%CC
Reator 2	85% rúmen bovino 15% cascas de café	R2 – 85%R; 15%CC
Reator 3	80% rúmen bovino 20% cascas de café	R3 – 80%R; 20%CC

Os reatores foram aerados cinco vezes na semana, três vezes ao dia durante 15 minutos, através de um compressor.

A temperatura média dos reatores foi determinada com o auxílio de um termômetro, sendo que as medições foram realizadas no final da tarde e em três pontos de cada reator, devido ao seu pequeno tamanho. No início, as medições de temperatura eram diárias; após 20 dias de compostagem, a medição passou a ser realizada a cada quatro dias; e, com 60 dias de compostagem, semanalmente.

Quando verificada a baixa umidade dos reatores e seu aspecto seco, foi adicionada água da torneira a eles.

Os reatores foram monitorados a cada 15 dias por meio da análise de pH, umidade, matéria orgânica, resíduo mineral, carbono orgânico, nitrogênio Kjeldahl e relação C/N. As amostras foram coletadas por meio de amostragem composta.

4.3 – MÉTODOS ANALÍTICOS

4.3.1 – Temperatura

A temperatura foi determinada com auxílio de um mini termômetro digital marca *Novus*, com sensor externo à prova de água, haste de 3m de comprimento e faixa de medição de (–) 40°C à 95°C.

4.3.2 – pH

As medidas de pH foram realizadas em um pHmetro de bancada, marca HANNA – modelo HI-221.

O pH é determinado em solução de cloreto de cálcio (CaCl_2), conforme procedimento estabelecido por Kiehl (1985).

4.3.3 – Umidade, Matéria Orgânica, Resíduo Mineral e Carbono Orgânico

A determinação do percentual de umidade, matéria orgânica, resíduo mineral e carbono orgânico foi realizada pelo método de calcinação proposto por Kiehl (1985) (Anexo I).

4.3.4 – Nitrogênio Kjeldahl

O nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio orgânico e amoniacal) foi determinado pela metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985). Segundo Silva *et al.* (2006) um dos métodos mais utilizados para a determinação de nitrogênio total, é o método Kjeldahl, assim, ao longo do presente trabalho, o uso dos termos N-Kjeldahl e N-total indicam o mesmo resultado (Anexo II).

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 – CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos na caracterização do resíduo ruminal e da casca de café.

Tabela 5 – Caracterização inicial dos resíduos

Parâmetros	Rúmen Bovino	Casca de Café
pH	6,6	4,7
Umidade (%)	83,7	14,7
Matéria Orgânica (%)	88,9	81,9
Resíduo Mineral (%)	11,1	18,1
Carbono Orgânico (%)	49,4	45,5
Nitrogênio (%)	1,1	1,2
Relação C/N	43,7	37,9

O pH do rúmen é praticamente neutro (6,6), enquanto o das cascas de café é ácido (4,7).

As concentrações elevadas de matéria orgânica e nitrogênio de ambos os resíduos favorecem o seu tratamento por compostagem. O rúmen apresentou valor de 88,9% de matéria orgânica e as cascas de café de 81,9%; já o valor de nitrogênio do rúmen era de 1,1% e das cascas de café 1,2%.

A relação C/N do resíduo ruminal (43,7) apresentou-se próxima à faixa inicial ótima para o processo de compostagem, enquanto a relação C/N das cascas de café apresentou-se dentro dessa faixa, que é de 30/1 e 40/1, propiciando intensa atividade biológica e menor tempo de compostagem (PEREIRA NETO e MESQUITA, 1992).

A umidade do rúmen apresentou-se muito elevada (83,7%), não sendo ideal para o processo de compostagem, pois os poros são ocupados pela água e a aeração é prejudicada, além de diminuir a temperatura da massa e aumentar o tempo de compostagem. Com a falta de oxigênio ocorrem reações anaeróbias, o que é indesejável e pode resultar num produto final de má qualidade (TSUTIYA *et al.*, 2002). Já a umidade das cascas de café, 14,7%, é considerada baixa e pode ajudar na estruturação e absorção excessiva de umidade da massa de compostagem.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da caracterização das misturas dos resíduos.

Tabela 6 – Caracterização das misturas dos resíduos

Parâmetros	Mistura 1 –	Mistura 2 –	Mistura 3 –
	90%R; 10%CC	85%R; 15%CC	80%R; 20%CC
pH	7,2	7,0	6,5
Umidade (%)	78,2	76,1	73,0
Matéria Orgânica (%)	87,4	88,2	88,1
Resíduo Mineral (%)	12,6	11,8	11,9
Carbono Orgânico (%)	48,5	49,0	49,0
Nitrogênio (%)	1,7	1,5	1,5
Relação C/N	30,0	32,0	33,3

Os valores de pH de todas as misturas mostraram-se próximos da neutralidade, e portanto encontram-se dentro da faixa considerada ótima para o desenvolvimento da maioria das bactérias, contribuindo para uma degradação acelerada do material orgânico e favorecendo a compostagem (PEREIRA NETO, 2004).

Quanto à umidade, pode-se observar que as misturas apresentaram valores próximos, entre 78,2 e 73,0%, sendo que a mistura com maior quantidade de casca de café teve a menor umidade. Elevados teores de umidade, superiores a 65%, fazem com que a água ocupe os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que poderá provocar aparecimento de zonas de anaerobiose (FERNANDES e SILVA, 1999). Assim, pode-se dizer que as misturas dos materiais não proporcionou um ajuste adequado para início do tratamento, porém esperava-se que a realização de uma aeração mais intensa no início da compostagem provocasse um ressecamento da massa de compostagem (TSUTIYA *et al.*, 2002) e esse parâmetro se ajustasse rapidamente.

Kiehl (1985) considera os teores de matéria orgânica superiores a 61% como “alto nível”. Assim, as altas concentrações de matéria orgânica e carbono orgânico presentes nas misturas favorecem seu tratamento por meio da compostagem, por ser basicamente um processo biológico de decomposição de materiais orgânicos por microrganismos.

É desejável que o teor de nitrogênio inicial esteja entre 1,2 e 1,5%, e os valores encontrados (1,7; 1,5 e 1,5%) estavam próximos a essa faixa.

A relação C/N no início da compostagem de todas as misturas se mostraram próximas (30,0; 32,0; 33,3) e, como os microrganismos absorvem o carbono e o nitrogênio numa proporção de 30/1, essa é a proporção ideal dos resíduos (OLIVEIRA *et al.*, 2008), e também a proporção encontrada nas misturas.

5.2 – MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

5.2.1 – Temperatura

A Figura 8 apresenta o monitoramento da temperatura das leiras durante os 105 dias do processo de compostagem.

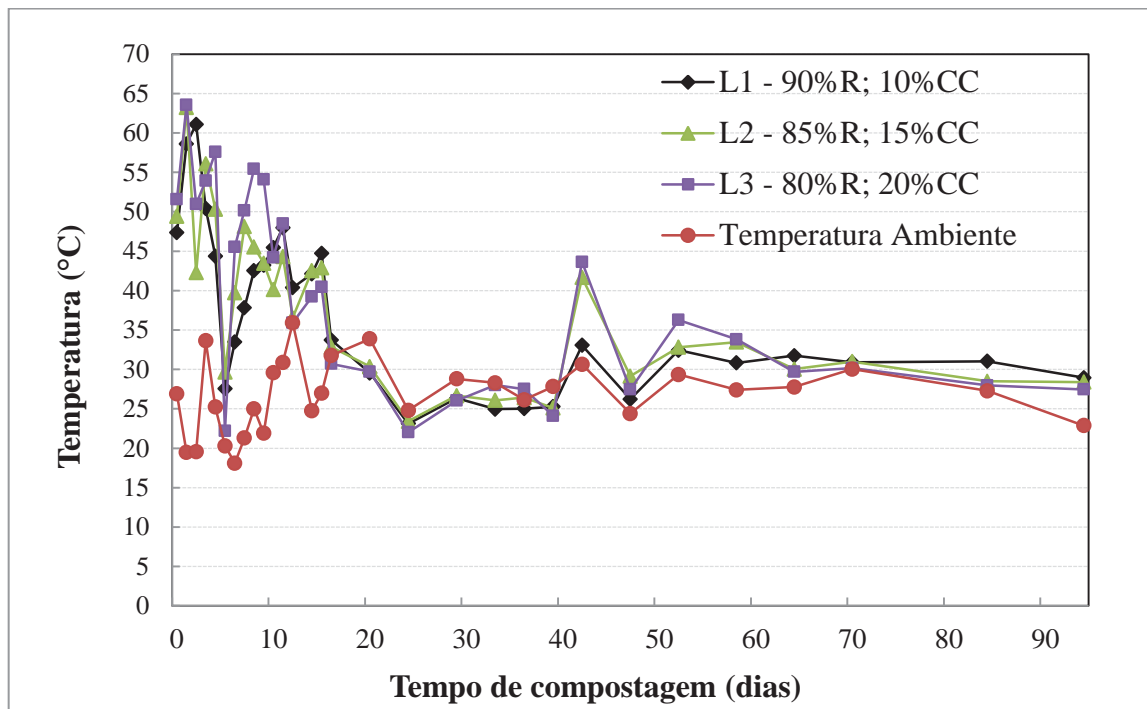


Figura 8 – Monitoramento da temperatura das leiras

As três leiras apresentaram um comportamento semelhante ao longo do processo. Todas elas iniciaram com temperaturas termofílicas, acima de 40°C e permaneceram cerca de 16 dias nessa fase, embora tenham apresentado quedas na temperatura durante esse período.

Uma queda da temperatura indica uma redução da degradação, que pode ser causada pela falta de aeração, umidade ou ainda de algum nutriente (HERBETS *et al.*, 2005).

A leira 1 (90%R; 10%CC) atingiu sua maior temperatura no terceiro dia de compostagem, de 61,08°C e sua temperatura mínima foi de 23,12°C ao longo dos 105 dias de tratamento. As temperaturas da leira caíram após o 16º dia do processo, e a partir de então permaneceram na fase mesofílica, com temperaturas entre 23 e 33°C, e próximas à temperatura ambiente.

A estabilização pode ser observada pelos valores médios de temperatura da leira próximos à temperatura ambiente, indicativo de que o processo entra em estabilização (KIEHL, 1985).

A leira 2 (85%R; 15%CC) apresentou temperatura máxima no segundo dia de compostagem, de 63,24° C e temperatura mínima de 23,42° C ao longo do processo. Assim como a leira 1, as temperaturas da leira 2 também caíram após o 16° dia do tratamento, se estabilizando com temperaturas entre 23,42 e 32,84° C. Notou-se que no 47° dia, a leira apresentou um pico de temperatura, atingindo 41,66° C, mas rapidamente já caiu para valores próximos a 30° C.

Em relação à leira 3 (80%R; 20%CC), sua maior temperatura foi atingida no segundo dia, com valor de 63,56° C; e sua temperatura mais baixa durante todo o processo foi de 22,02° C. Assim como as demais leiras, a leira 3 também apresentou quedas na temperatura durante os 16 primeiros dias, porém logo voltaram a atingir temperaturas termofílicas. Em seguida, as temperaturas se estabilizaram entre 22,02 e 36,26° C; e igualmente à leira 2, a leira 3 também apresentou um pico de temperatura no 47° dia, atingindo 43,64° C.

Quanto mais elevada a temperatura, mais rapidamente se processará a decomposição, entretanto considera-se um intervalo de temperaturas entre 45 e 70° C, tendo como ponto ótimo temperatura de 60° C (HERBETS *et al.*, 2005); como pôde ser visualizado, temperaturas nessa faixa foram alcançadas durante os primeiros 16 dias do processo de compostagem nas três leiras.

A Figura 9 apresenta o monitoramento da temperatura dos reatores durante os 105 dias do processo de compostagem.

Diferentemente das leiras, os reatores permaneceram 7 dias na fase termofílica, com início desde a montagem dos reatores. O reator 1 (90%R; 10%CC) apresentou temperatura máxima no segundo dia de compostagem, sendo de 47,3° C; e temperatura mínima de 27,1° C. As temperaturas começaram a cair a partir do 8° dia de tratamento, permanecendo em fase mesofílica; e ao final do processo, com temperaturas próximas à temperatura ambiente.

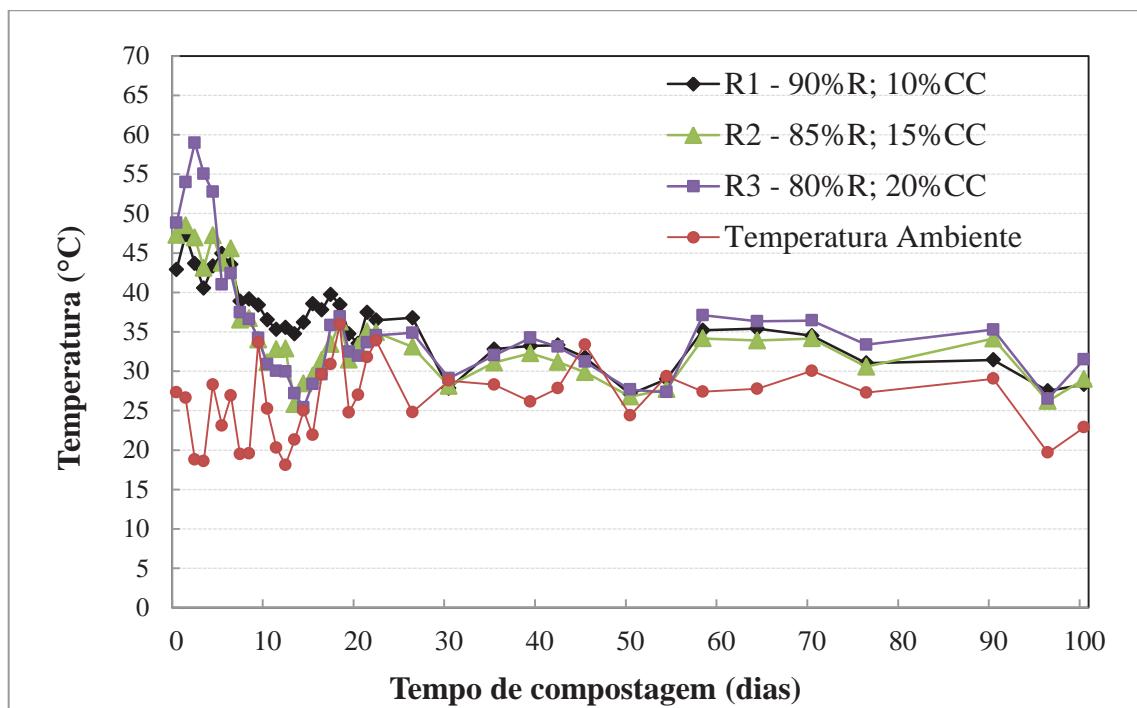


Figura 9 – Monitoramento da temperatura dos reatores

O reator 2 (85%R; 15%CC) teve sua temperatura mais alta também no segundo dia, 48,5° C; e temperatura mais baixa de 26,2° C. Já o reator 3 (80%R; 20%CC) teve temperatura máxima de 58,97° C no terceiro dia de compostagem, e mínima de 25,4° C. Assim como o reator 1, os reatores 2 e 3 tiveram reduções em suas temperaturas a partir do 8° dia de tratamento, permanecendo com temperaturas entre 25 e 38° C, que ao final do processo foram reduzindo e se aproximando da temperatura ambiente, fato que reflete a possível estabilização do composto.

Nota-se que as temperaturas dos reatores tiveram menores variações e menores valores se comparadas com as temperaturas das leiras. No estudo de Costa *et al.* (2005) as diferenças nas temperaturas apresentadas nos dois sistemas, revolvimento manual e injeção de ar, são reflexos do efeito da aeração no controle da temperatura na massa de compostagem, visto que as leiras com injeção de ar apresentaram temperaturas variando entre 50 e 55° C nas primeiras semanas (fase ativa), enquanto as leiras com revolvimento manual apresentaram temperaturas maiores.

Além disso, percebeu-se que a leira 3 (80%R; 20%CC) e o reator 3 (80%R; 20%CC) foram os sistemas que atingiram maiores valores de temperatura durante a fase termofílica, e, por sua vez, a leira 2 (85%R; 15%CC) e o reator 2 (85%R; 15%CC) tiveram temperaturas mais elevadas que a leira 1 (90%R; 10%CC) e reator 1 (90%R; 10%CC). Assim conclui-se que a porcentagem de mistura de resíduos também influenciou na temperatura do processo e na degradação do resíduo.

5.2.2 – pH

A Figura 10 apresenta o monitoramento do pH ao longo do processo nas três leiras.

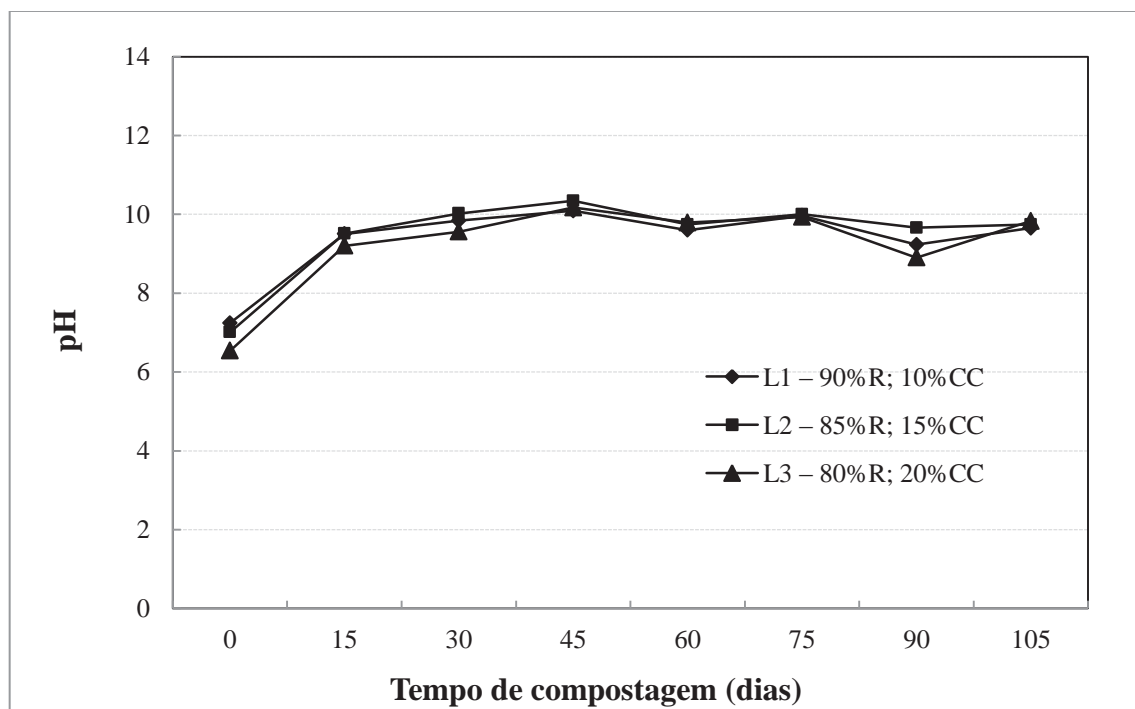


Figura 10 – Monitoramento do pH nas leiras

De acordo com Fernandes e Silva (1999) a passagem para a fase termófila é acompanhada de rápida elevação do pH, que se explica pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia. Assim, normalmente o pH se mantém alcalino (7,5-9,0), durante a fase termofílica.

Como observado no gráfico apresentado na Figura 10, houve uma rápida elevação de pH nos primeiros 15 dias, período em que predominou a fase termófila em todas as leiras, de valores praticamente neutros para valores alcalinos de aproximadamente 9,5.

Após isto, mesmo com o passar da fase termófila, o pH das leiras continuou apresentando elevações até os 45 dias, porém de maneira mais suave atingindo valores próximos a 10. E até atingir o 105º dia esse parâmetro manteve-se sem variações significativas, finalizando assim o tratamento em pH 9,6; 9,7; 9,8 para as leiras 1 (90%R; 10%CC), 2 (85%R; 15%CC) e 3 (80%R; 20%CC), respectivamente.

Nota-se que a leira 3 (80%R; 20%CC) apresentou valores de pH um pouco menores que as demais leiras, isso pode ser atribuído pelo caráter ácido da casca de café em maior quantidade nessa leira.

A Figura 11 apresenta o monitoramento do pH ao longo do processo nos três reatores.

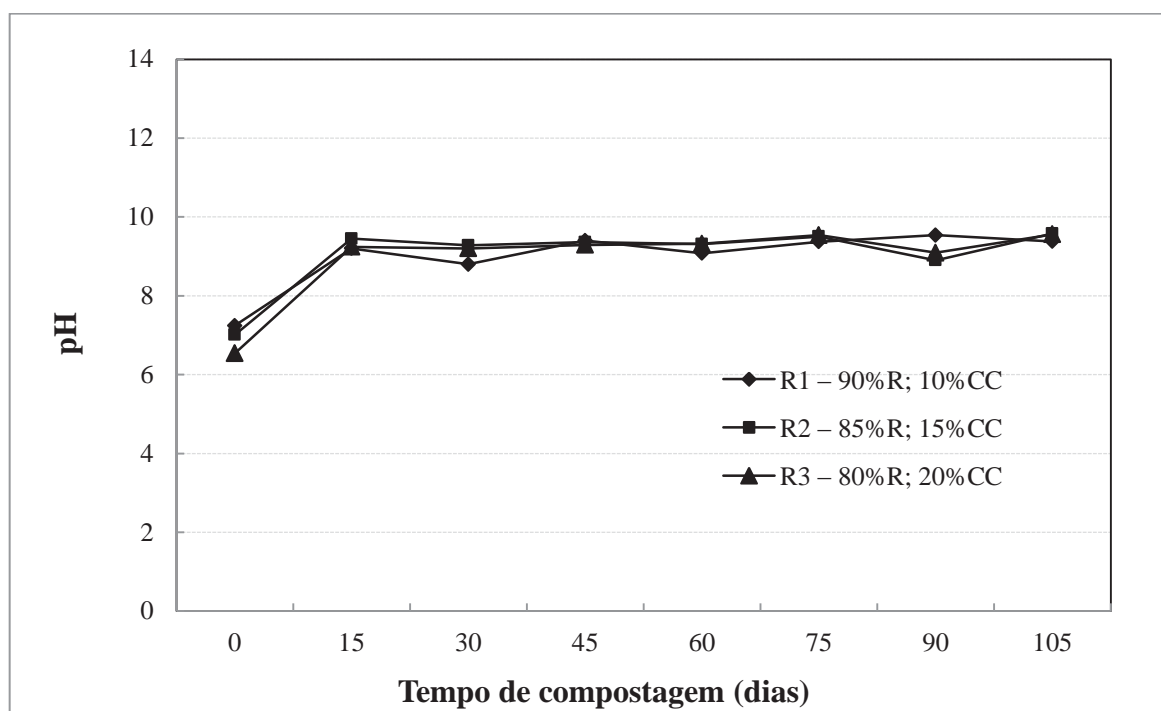


Figura 11 – Monitoramento do pH nos reatores

Os reatores apresentaram certa estabilidade nos seus valores de pH desde os 15 dias de compostagem, permanecendo todos os resultados numa faixa entre 8,9 e 9,6.

Estudando a compostagem com vários tipos de resíduos, incluindo a casca de café, Paiva (2008) relata que durante a maior parte do tempo de compostagem o pH se manteve alcalino, com máximo de 9, e ainda afirma que esse resultado pode indicar formação de gás amônia o qual pode ser perdido por a volatilização. Porém, ao longo do processo de compostagem não foram observadas quantidades baixas de nitrogênio, indicando que não houve perdas significativas desse elemento.

Segundo Graves *et al.* (2000) *apud* Paiva (2008), com pH abaixo de 5,0 e acima de 9,0 a compostagem se processa de forma lenta, como foi observado durante o estudo, podendo assim o pH alcalino ter contribuído para isso.

Com a estabilização do composto a ser produzido espera-se que o valor de pH esteja entre 8 e 9 (KIEHL, 1998). Apesar disso, o pH final dos sistemas de tratamentos se mostraram um pouco acima de 9.

5.2.3 – Umidade

A Figura 12 apresenta o monitoramento da umidade ao longo do processo nas leiras.

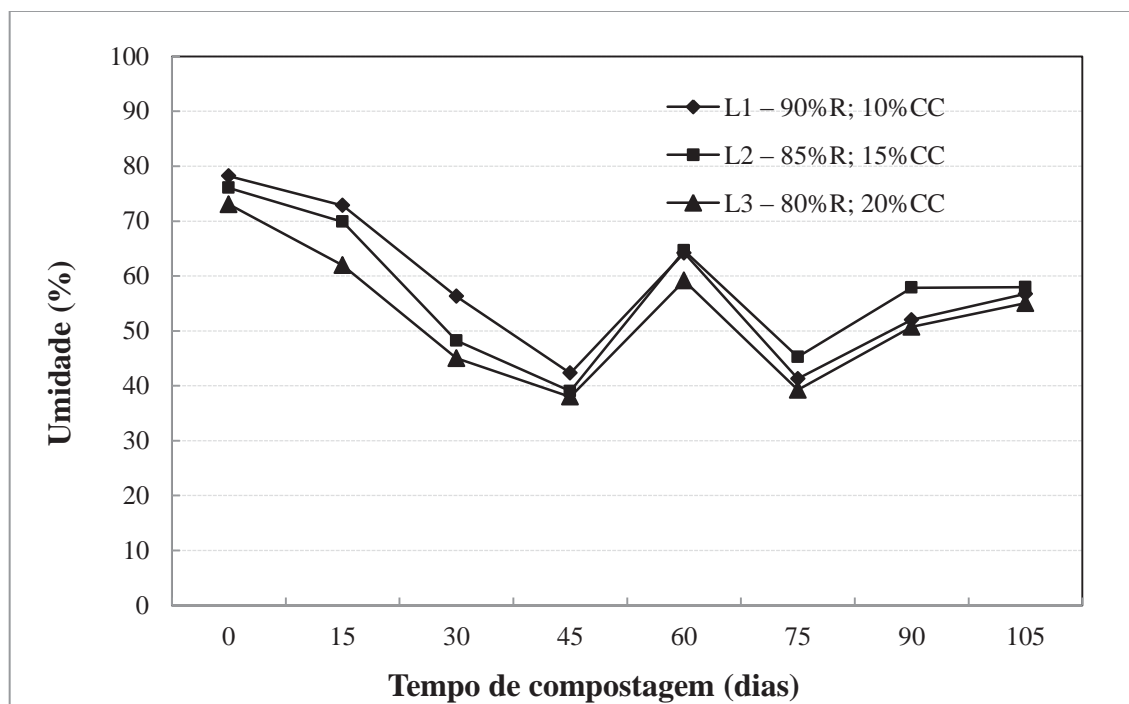


Figura 12 – Monitoramento da umidade nas leiras

Durante o monitoramento, houve formação de chorume com presença de larvas, em todas as leiras, devido à elevada umidade dos resíduos no início do experimento. Porém com a redução acentuada de umidade, o chorume cessou durante a primeira semana. Morales (2006) também observou a formação de chorume na primeira semana de compostagem, decorrente da alta umidade do resíduo ruminal, visto que as leiras foram manejadas em pátio coberto e, portanto, ficavam protegidas da chuva.

Como observado esse parâmetro sofreu reduções acentuadas, assim a leira 3 (80%R; 20%CC) já apresentava uma umidade de 61,9% aos 15 dias, ou seja, bem próxima da faixa ótima. Já as leiras 1 (90%R; 10%CC) e 2 (85%R; 15%CC) alcançaram a faixa ótima aos 30 dias do processo, com 56,3% e 48,2% respectivamente.

Além disso, a leira 3 (80%R; 20%CC) apresentou umidade menor que as demais durante toda a compostagem, justamente pela maior proporção de casca de café na sua composição.

Foi necessária a adição de água aos 45 dias de tratamento, pois as mesmas chegaram a valores próximos de 40%. Após, a adição pode-se observar picos nos valores de umidade.

Aos 105 dias foram obtidos os seguintes resultados de umidade: 56,7; 58,0 e 55,0% para as leiras 1 (90%R; 10%CC), 2 (85%R; 15%CC) e 3 (80%R; 20%CC), respectivamente.

A Figura 13 apresenta o monitoramento da umidade ao longo do processo nos reatores.

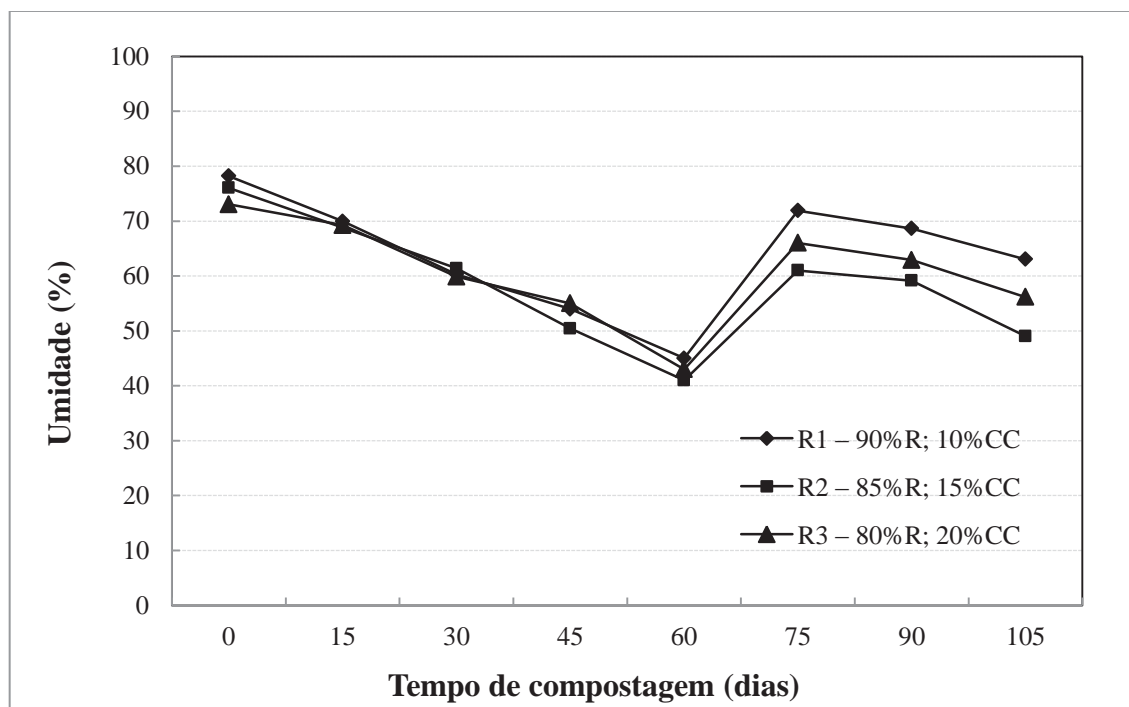


Figura 13 – Monitoramento da umidade nos reatores

Assim como observado no monitoramento das leiras, houve formação de chorume com presença de larvas nos reatores. A geração de chorume cessou após cerca de 10 dias de tratamento.

Da mesma forma que nas leiras 1 (90%R; 10%CC) e 2 (85%R; 15%CC), os três reatores alcançaram a umidade ótima aos 30 dias, com o maior valor (61,4%) no reator 2 (85%R; 15%CC).

Por serem sistemas fechados, mais preservados das condições ambientais e climáticas, os reatores perderam umidade mais vagarosamente que as leiras, assim foi necessário o ajuste desse parâmetro (adição de água) após 60 dias de tratamento.

Os resultados de umidade obtidos após os 105 dias foram de 63,0; 49,0 e 56,2% para os reatores 1 (90%R; 10%CC), 2 (85%R; 15%CC) e 3 (80%R; 20%CC), respectivamente.

5.2.4 – Matéria Orgânica

A Figura 14 apresenta os resultados de matéria orgânica monitorados ao longo de 105 dias do processo de compostagem nas leiras.

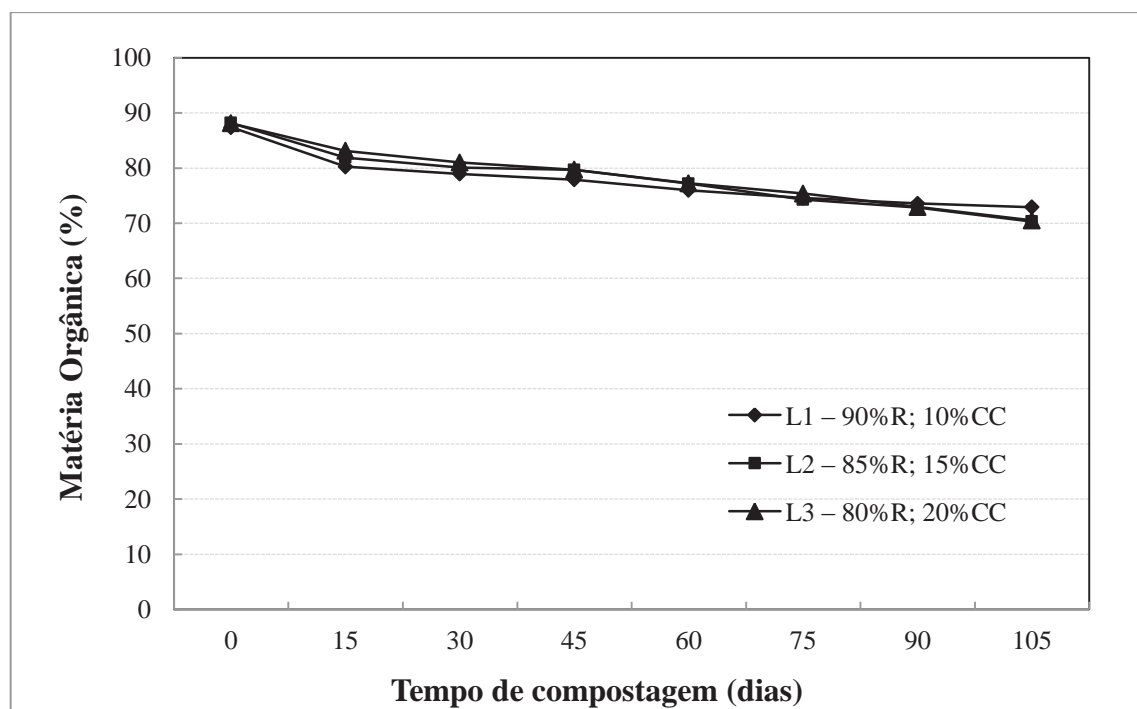


Figura 14 – Monitoramento da matéria orgânica nas leiras

O objetivo do monitoramento da matéria orgânica foi para se determinar o valor de carbono orgânico, pois esse parâmetro é encontrado pela relação de matéria orgânica (%) por 1,8.

As três leiras tiveram um padrão similar ao longo do processo de compostagem, sendo que a maior taxa de degradação da matéria orgânica ocorreu nos primeiros 15 dias do tratamento, a leira 1 (90%R; 10%CC) reduziu 7,1%, a leira 2 (85%R; 15%CC) reduziu 6,3% e a leira 3 (80%R; 20%CC) 3,5%. A fase inicial do processo, com predominância de altas temperaturas (fase termófila), é a que propicia a decomposição mais rápida da matéria orgânica quando há um conteúdo mínimo de oxigênio de 5%, portanto, garantindo uma decomposição aeróbia e ausência de mal odor e vetores (KIEHL, 1985).

Ao final do processo de compostagem, a leira 1 (90%R; 10%CC) apresentou uma redução da matéria orgânica de 14,5%, a leira 2 (85%R; 15%CC) de 17,9% e a leira 3 (80%R; 20%CC) uma redução de 17,6%. No estudo de Morales (2006), a taxa de redução da matéria orgânica da compostagem dos resíduos sólidos do abate de bovinos foi de 8,5% e 11,3%.

Pode-se notar que na fase termofílica, quanto menor o teor de resíduo de café na leira maior foi sua degradação de matéria orgânica, assim a leira 1 (90%R; 10%CC) teve a maior taxa de degradação. Porém ao fim do processo de compostagem, as leiras que tiveram maior taxa de degradação foram aquelas com maiores quantidades de casca de café.

Os valores finais de matéria orgânica foram de 72,9; 70,3 e 70,5% na leiras 1 (90%R; 10%CC), 2 (85%R; 15%CC) e 3 (80%R; 20%CC), respectivamente. Tais valores são considerados de alto nível de acordo com Kiehl (1985), já que estão acima de 61% e, portanto, tais produtos podem ser considerados condicionadores dos solos.

A Figura 15 apresenta os resultados de matéria orgânica monitorados ao longo de 105 dias do processo de compostagem nos reatores.

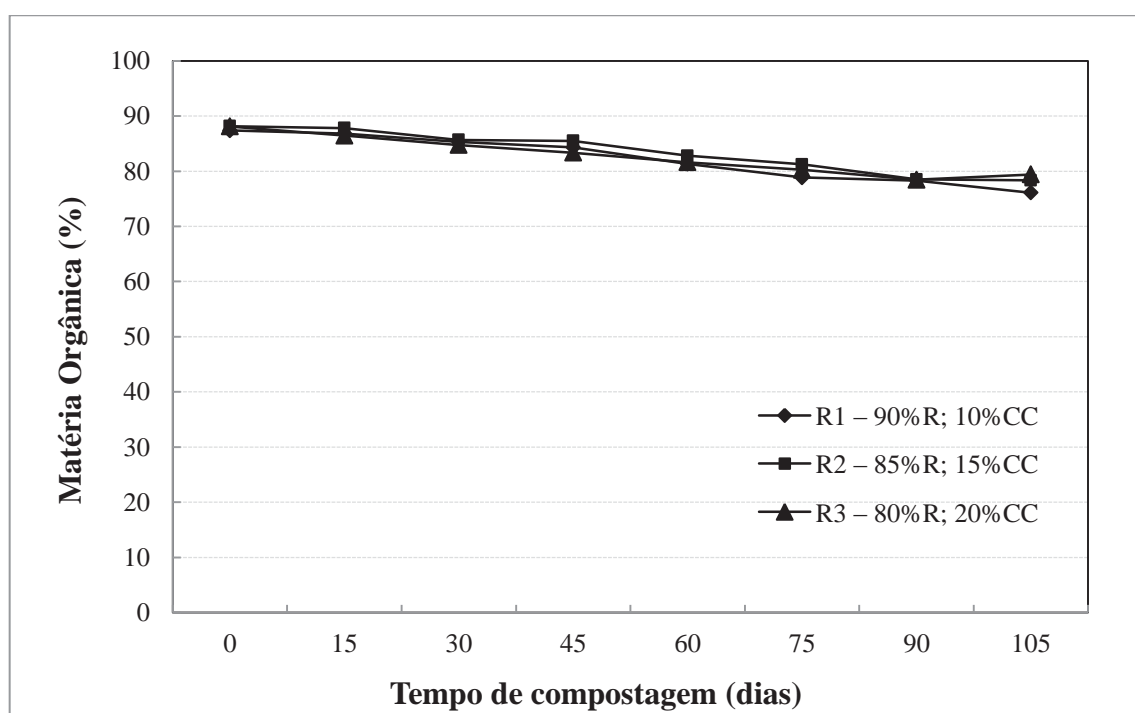


Figura 15 – Monitoramento da matéria orgânica nos reatores

Em relação ao monitoramento da matéria orgânica nos reatores, os três apresentaram um comportamento similar, porém diferente do padrão das leiras. A matéria orgânica dos reatores teve uma taxa de redução praticamente uniforme e baixa ao longo dos 105 dias do tratamento.

A degradação da matéria orgânica depende de uma série de fatores, dentre eles: a temperatura, aeração, umidade e pH para que ocorra o desenvolvimento dos microrganismos na massa de compostagem (PROVENZANO *et al.*, 2001); e conseqüentemente a produção de

enzimas necessárias à degradação dos substratos (TUOMELA *et al.*, 2000). Tais parâmetros podem ter influenciado na taxa de degradação da matéria orgânica nos reatores.

Ao final do processo de compostagem, o reator 1 (90%R; 10%CC) apresentou uma taxa de degradação de 11,3%, o reator 2 (85%R; 15%CC) de 9,9% e o reator 3 (80%R; 20%CC) de 8,7%, valores estes próximos aos do estudo de Morales (2006).

Os valores finais de matéria orgânica foram de 76,1; 78,3 e 79,4%, nos reatores 1 (90%R; 10%CC), 2 (85%R; 15%CC) e 3 (80%R; 20%CC), respectivamente. Tais valores foram mais altos que os das leiras, mas também considerados de “alto nível” segundo Kiehl (1985).

5.2.5 – Resíduo Mineral

O monitoramento do resíduo mineral das leiras pode ser visto na Figura 16.

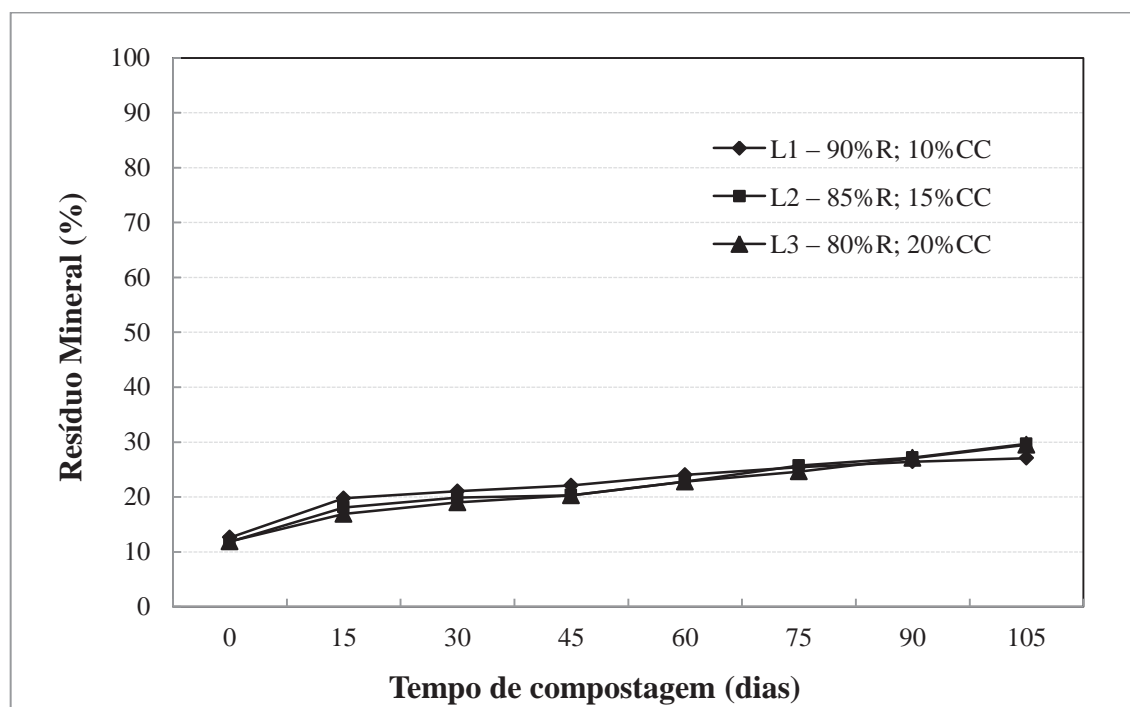


Figura 16 – Monitoramento do resíduo mineral nas leiras

A redução gradativa da matéria orgânica indica a transformação da matéria orgânica compostável em matéria mineralizada (PAIVA, 2008), deste modo, a matéria orgânica é um parâmetro inversamente proporcional ao parâmetro resíduo mineral.

As três leiras apresentaram resultados muito parecidos de resíduo mineral. Os valores de resíduo mineral aumentaram nos 15 primeiros dias, já que houve maior degradação da matéria orgânica, e nos demais dias do processo, tiveram pequenos aumentos, já que as reduções da matéria orgânica foram baixas.

A leira 1 (90%R; 10%CC) teve um aumento de 14,5% de resíduo mineral durante o processo de compostagem, apresentando um valor de 27,1% do parâmetro aos 105 dias de tratamento. A leira 2 (85%R; 15%CC) teve um resultado de 29,7% de resíduo mineral ao final do processo, ocorrendo um aumento de 17,9% do parâmetro. A leira 3 (80%R; 20%CC) teve um aumento de 17,6% ao longo do processo, e ao final, apresentou um valor de 29,5% de resíduo mineral.

Silva *et al.* (2002) classificou os valores de resíduo mineral do composto produzido com lixo urbano em: ótimo (menor que 20%); bom (20 – 40%); indesejável (maior que 40%). Como todas as leiras apresentaram valores próximos a 30%, são classificadas como “bons” para o parâmetro resíduo mineral.

O monitoramento do resíduo mineral dos reatores pode ser visto na Figura 17.

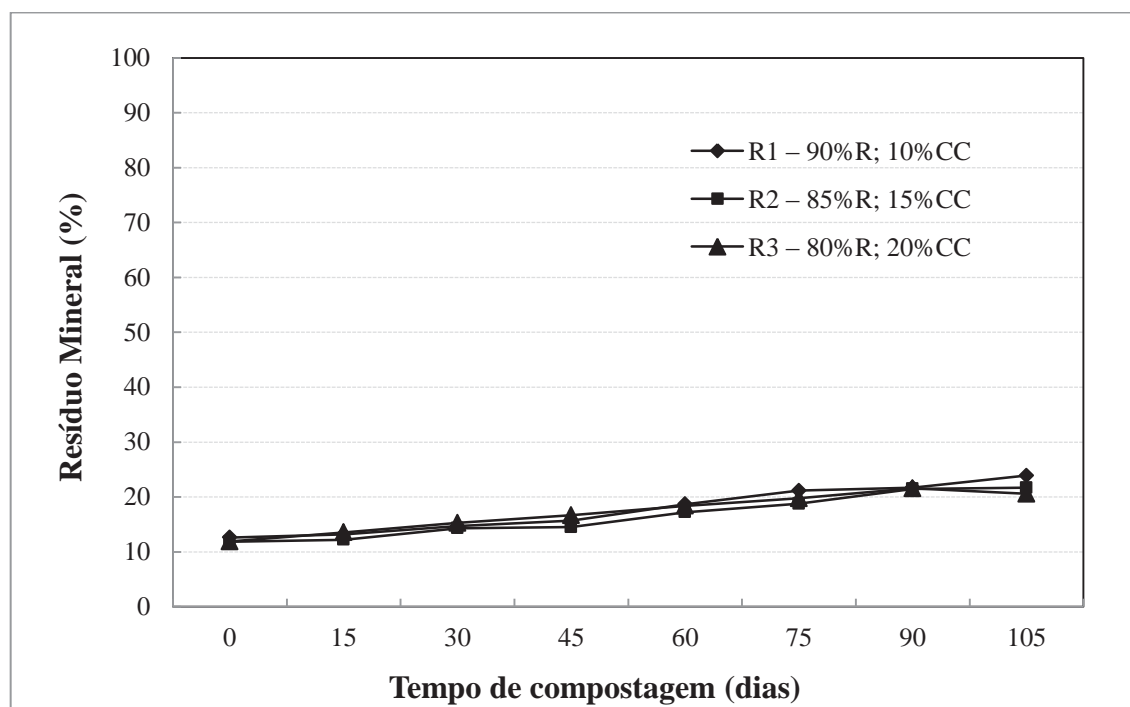


Figura 17 – Monitoramento do resíduo mineral nos reatores

O comportamento do resíduo mineral nos reatores foi uniforme e com pequena variação, assim como o parâmetro matéria orgânica, já que ambos são inversamente proporcionais.

O reator 1 (90%R; 10%CC) teve um aumento de 11,3% do resíduo mineral ao longo do processo, resultando num valor de 23,9% aos 105 dias de compostagem. O reator 2 (85%R; 15%CC) aumentou 9,9% do parâmetro, e apresentou valor final de 21,7%. Já o reator 3 (80%R; 20%CC) apresentou uma variação de 8,7%, se estabilizando com um valor de 20,6% de resíduo mineral.

Os valores finais de resíduo mineral dos três reatores, próximos a 20% e menores que das leiras, também permitem classificá-los como bons de acordo com Silva *et al.* (2002).

5.2.6 – Carbono Orgânico

A Figura 18 apresenta o monitoramento do carbono orgânico nas três leiras ao longo do estudo.

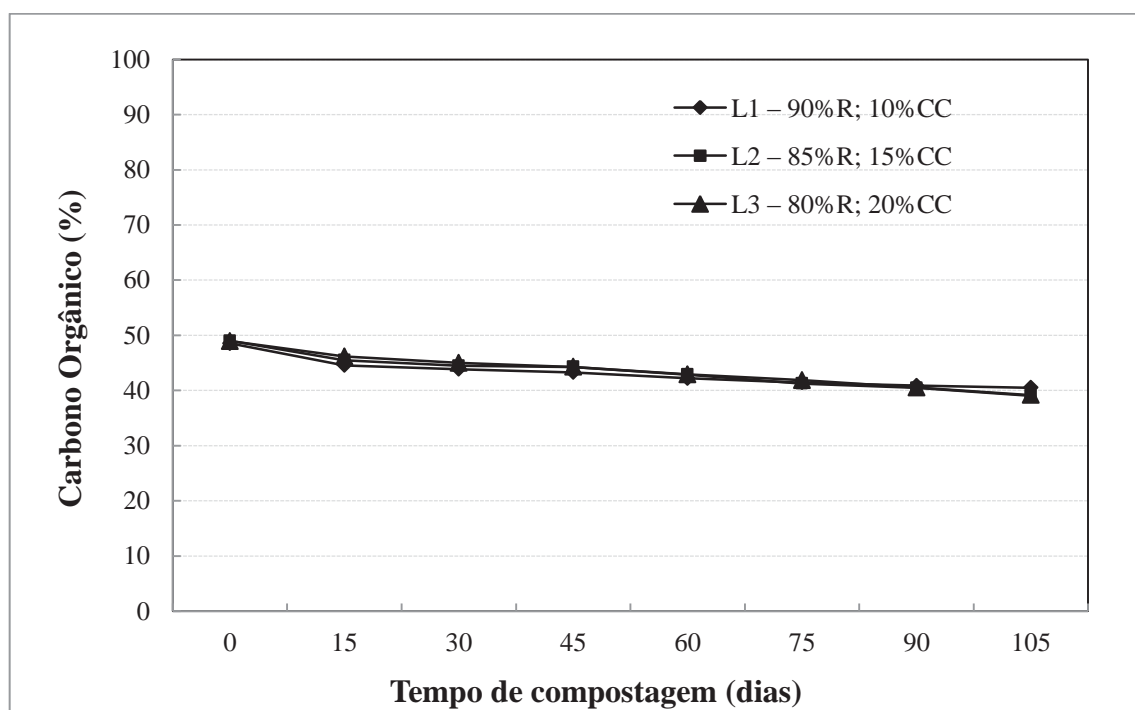


Figura 18 – Monitoramento do carbono orgânico nas leiras

No período inicial da compostagem (fase de degradação rápida) a atividade microbiana é mais intensa, assim os microrganismos termofílicos predominam e atacam as substâncias mais facilmente degradáveis, como carboidratos simples e nitrogenados solúveis. Posteriormente, a intensidade das reações químicas e atividade microbiana diminuem, pois as substâncias de rápida degradação vão se esgotando (BRITO, 2008; FERNANDES e SILVA, 1999).

Dessa maneira, no início do processo (fase termofílica), houve a redução mais acentuada de carbono partindo de valores próximos a 49% em todas as leiras para 44,6% na leira 1 (90%R; 10%CC), 45,5% na leira 2 (85%R; 15%CC) e 46,2% na leira 3 (80%R; 20%CC). Em seguida, notaram-se reduções mais suaves de carbono ao longo da compostagem, e ao fim do processo, os

valores de carbono orgânico foram, respectivamente de 40,5; 39,1 e 39,2% para as leiras 1 (90%R; 10%CC), 2 (85%R; 15%CC) e 3 (80%R; 20%CC).

O monitoramento do carbono orgânico dos reatores pode ser observado na Figura 19.

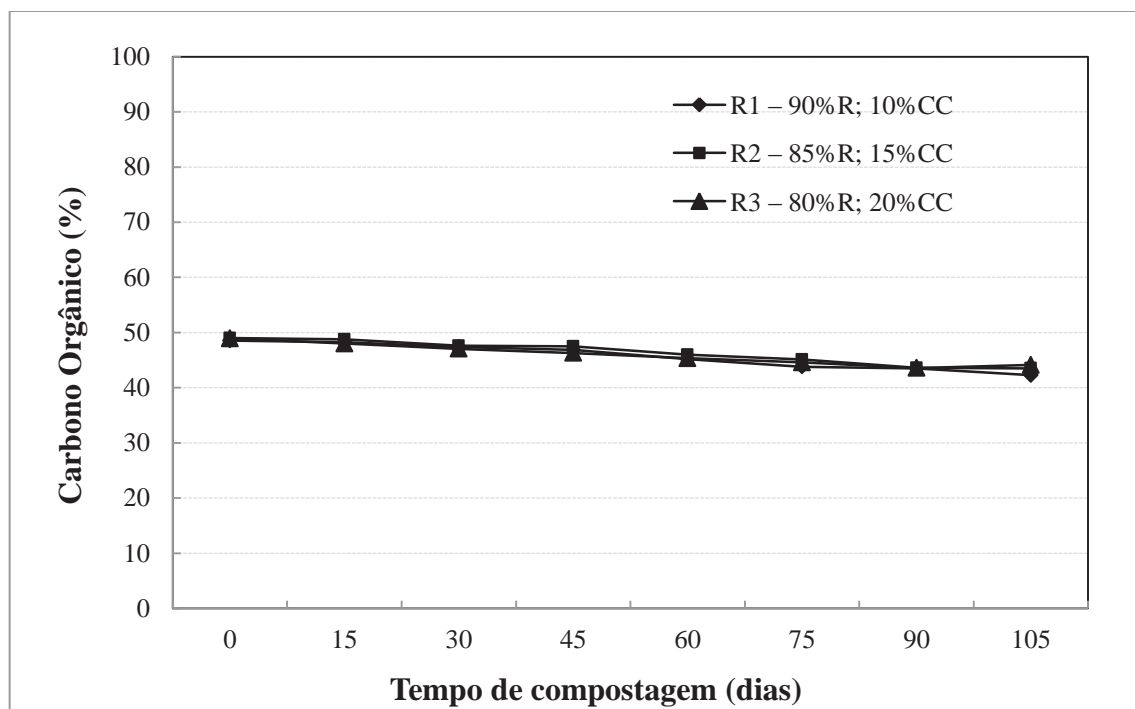


Figura 19 – Monitoramento do carbono orgânico nos reatores

Da mesma forma que nas leiras, os reatores apresentaram reduções muito suaves de carbono orgânico ao longo da compostagem. Com a injeção mais intensa de ar nos reatores esperava-se uma degradação mais efetiva e rápida do que no método manual; neste último o tempo de estabilização do composto varia de três a quatro meses, já no método mecanizado o tempo varia de dois a três meses (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

Em sistemas mecanizados, a umidade superior a 65% pode causar aglomeração do material em compostagem e assim restringir a injeção do fluxo de ar pela massa (SWEETEN e AUVERMANN, 2008). Portanto, essa estabilidade do carbono orgânico pode ser explicada pela falta de oxigênio no sistema, já que nos primeiros 15 dias a umidade manteve-se superior a 65%.

Ao fim do processo, os reatores apresentaram valores maiores de carbono orgânico do que aqueles apresentados pelas leiras, sendo 42,8; 43,5 e 44,1% para os reatores 1 (90%R; 10%CC), 2 (85%R; 15%CC) e 3 (80%R; 20%CC), respectivamente.

Resíduos com grande teor de celulose e lignina podem influenciar na velocidade de compostagem e nas características físicas e químicas do produto obtido (BRITO, 2008). Portanto

a redução lenta e baixa de carbono, tanto no método manual, quanto no método mecanizado, pode ser devido aos elevados teores de celulose e lignina do rúmen e da casca de café.

Rizk (2009), ao realizar ensaios de compostagem em seis experimentos distintos, observou reduções lentas na concentração de carbono orgânico naquelas leiras que continham em sua composição resíduos com elevados teores de lignina e celulose de difícil degradação (serragem, poda e capina e bagaço de cana).

No estudo de compostagem de rúmen de Morales (2006), é possível observar que a redução de carbono orgânico do resíduo ao fim do processo (105 dias) foi de 7%, já o presente estudo teve uma redução de aproximadamente 10% nas leiras e 6% nos reatores.

5.2.7 – Nitrogênio Kjeldahl

O monitoramento do nitrogênio Kjeldahl nas leiras pode ser visto na Figura 20.

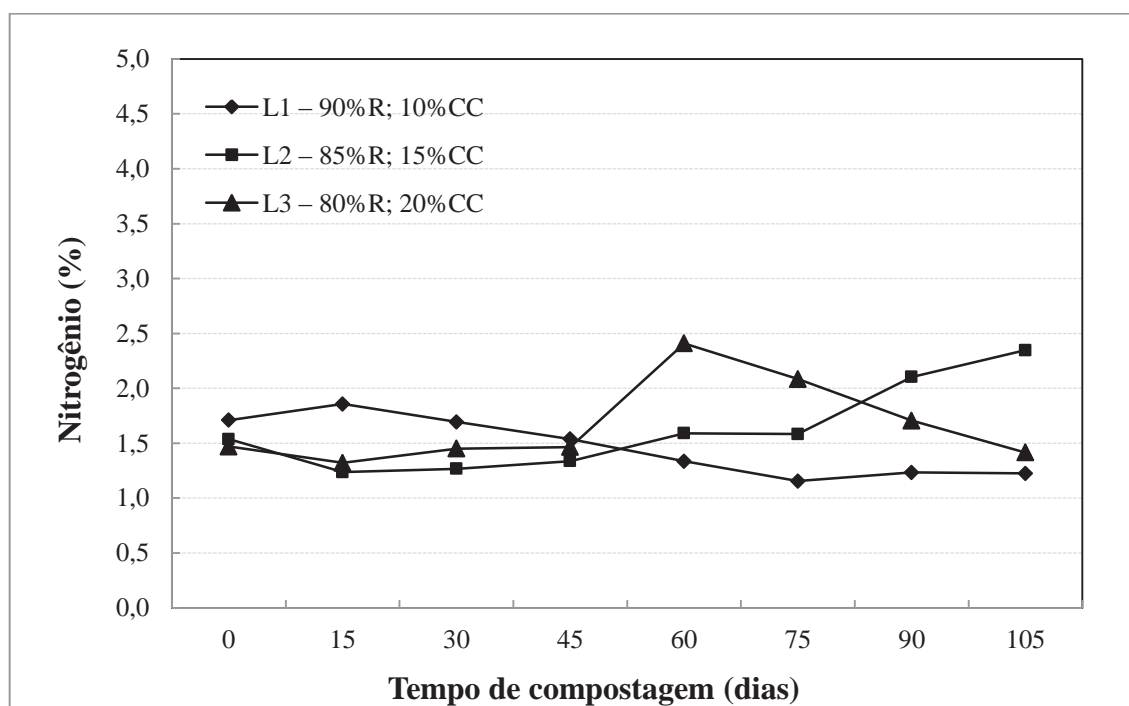


Figura 20 – Monitoramento do nitrogênio Kjeldahl nas leiras

A leira 1 (90%R; 10%CC) sofreu pequeno acréscimo na quantidade de nitrogênio nos primeiros 15 dias, partindo de 1,7 para 1,9%. Em seguida, passou a ter reduções suaves, porém consecutivas nesse elemento, atingindo 1,2% aos 75 dias de compostagem, que se manteve até o fim do processo.

A leira 2 (85%R; 15%CC) apresentou diminuição no teor de nitrogênio aos 15 dias, variando de 1,5 para 1,2%. Após isto, a quantidade de nitrogênio sofreu pequenos acréscimos

durante o tratamento, exceto entre 60 e 75 dias que permaneceu estável em 1,6%. Próximo ao fim do tratamento, entre 90 e 105 dias, notou-se os maiores valores de nitrogênio desta leira, atingindo 2,4%.

A leira 3 (80%R; 20%CC), por sua vez, também teve redução na quantidade de nitrogênio inicialmente de 1,5 para 1,3%, e posteriormente aumentos suaves desse elemento foram notados até os 45 dias. Porém aos 60 dias teve um pico de 2,4%. A partir dos 75 dias, os teores de nitrogênio começaram a diminuir, e o valor final (1,4%) se aproximou daquele obtido inicialmente de 1,5%.

De acordo com Veras e Povinelli (2004) o nitrogênio pode apresentar maior variabilidade em seu conteúdo quando comparado a outros nutrientes como fósforo e potássio. É o elemento que mais facilmente se perde por volatilização, e aumentos também podem ocorrer pela conversão, por organismos especializados, do N_2 gasoso em compostos utilizáveis. Apesar da variabilidade nas concentrações de nitrogênio, não foram percebidas perdas significativas a ponto de se gerar prejuízos à compostagem.

Ainda segundo Veras e Povinelli (2004), a presença de água ajuda na retenção da amônia (NH_3), pois esse gás, combinando-se com a água, produz o elemento químico hidróxido de amônio ou amoníaco. E como observado a umidade manteve-se alta na maior parte do processo.

A Figura 21 apresenta o monitoramento do nitrogênio Kjeldahl nos reatores, ao longo do estudo.

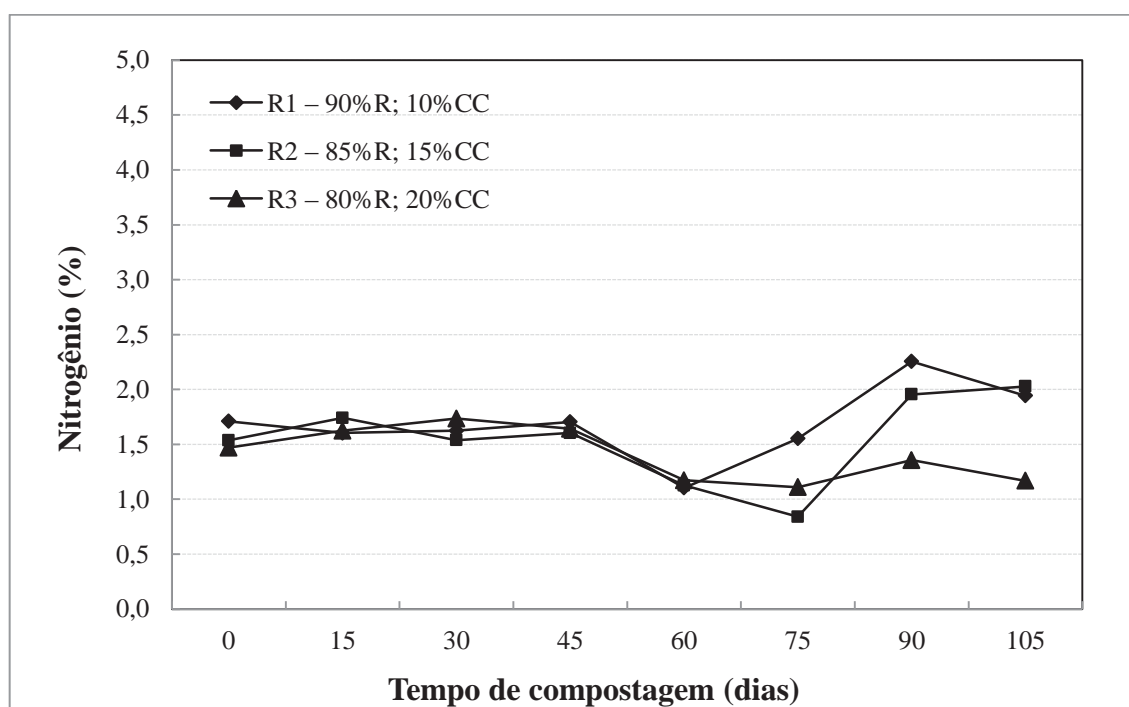


Figura 21 – Monitoramento do nitrogênio Kjeldahl nos reatores

Os reatores apresentaram certa estabilidade em suas concentrações de nitrogênio nos primeiros 45 dias. Aos 60 dias, os três reatores tiveram uma queda na quantidade de nitrogênio, chegando a valores próximos de 1,2%.

Posteriormente, no reator 1 (90%R; 10%CC) houve aumento na quantidade do elemento, assim aos 90 dias alcançou um valor de 2,3% e, aos 105 dias de 1,9%.

Já o reator 2 (85%R; 15%CC) continuou a ter decréscimos de nitrogênio até os 75 dias de compostagem. Porém, até o fim do processo voltou a aumentar os teores de nitrogênio obtendo-se valor final de 2,0%, pode-se notar que o mesmo ocorreu na leira 2 de mesma composição.

O reator 3 (80%R; 20%CC) se manteve mais estável, e teve a menor concentração de nitrogênio quando comparado aos demais, terminando o tratamento com valor de 1,2%.

Percebe-se que ao final do processo, a leira 2 (85%R; 15%CC) e o reator 2 (85%R; 15%CC) tiveram uma considerável tendência de aumento na porcentagem de nitrogênio; enquanto a leira 3 (80%R; 20%CC) e o reator 3 (80%R; 20%CC) apresentaram uma pequena redução do parâmetro; já a leira 1 (90%R; 10%CC) e o reator 1 (90%R; 10%CC) não apresentaram nenhuma tendências semelhantes entre si.

5.2.8 – Relação C/N

O monitoramento da relação C/N das leiras pode ser visto na Figura 22.

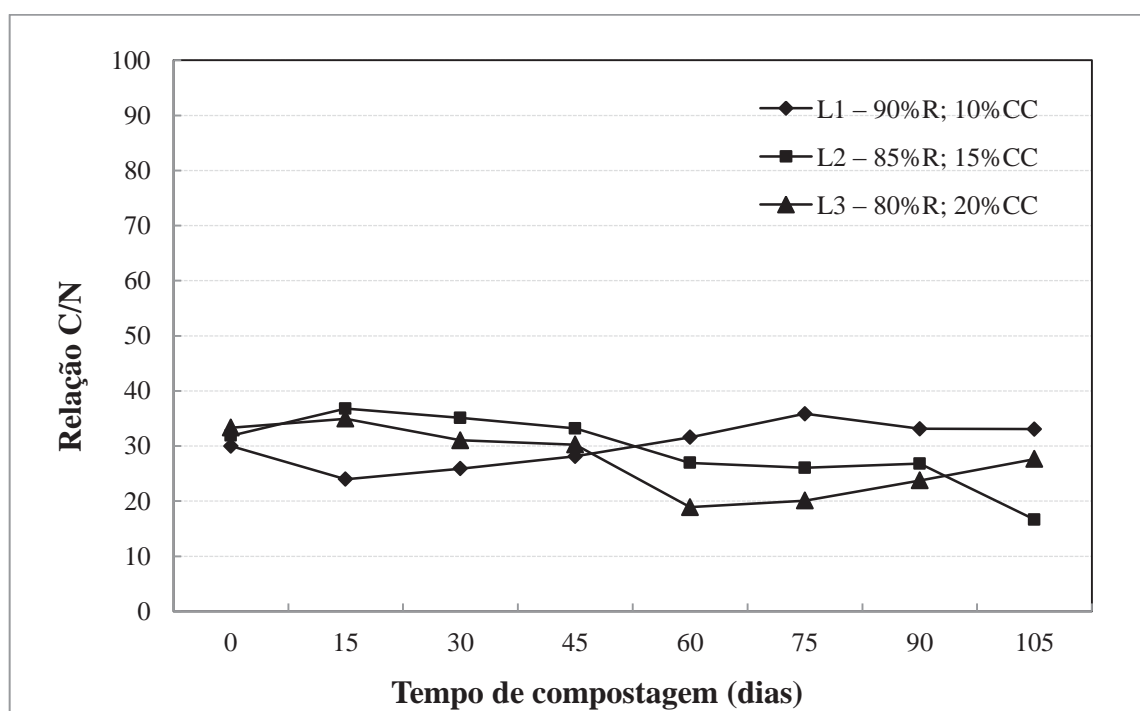


Figura 22 – Monitoramento da relação C/N nas leiras

Os microrganismos necessitam de nutrientes para seu crescimento, prioritariamente de carbono, que serve como fonte de energia para a oxidação metabólica; e nitrogênio, essencial na síntese de proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos e enzimas (SILVA *et al.*, 2003).

A leira 1 (90%R; 10%CC) teve uma significativa redução de C/N aos 15 dias de tratamento, atingindo 24/1. Porém, esta variável começou a aumentar seus valores chegando a uma relação de 35,9/1 aos 75 dias de compostagem. Nos demais dias, a relação teve uma leve redução, atingindo 33/1 aos 105 dias de tratamento.

Já as leiras 2 (85%R; 15%CC) e 3 (80%R; 20%CC) tiveram um comportamento muito semelhante. As leiras tiveram um pequeno aumento aos 15 dias de tratamento, atingindo seus valores mais altos, de 36,8/1 na leira 2; e 35/1 na leira 3. Após esse dia, as relações de ambas começaram a reduzir lentamente, e aos 60 dias uma maior redução pôde ser notada. A relação C/N da leira 2 aos 105 dias de tratamento foi de 16,7/1. Na fase de bioestabilização ou semi-cura o composto a relação C/N deve ser de 18/1 ou mais estreita (SILVA, 2008). Logo, o valor obtido se encontra nesta fase. Já a relação C/N da leira 3 atingiu 27,7/1 aos 105 dias de compostagem.

A Figura 23 apresenta o monitoramento relação C/N nos reatores, ao longo do estudo.

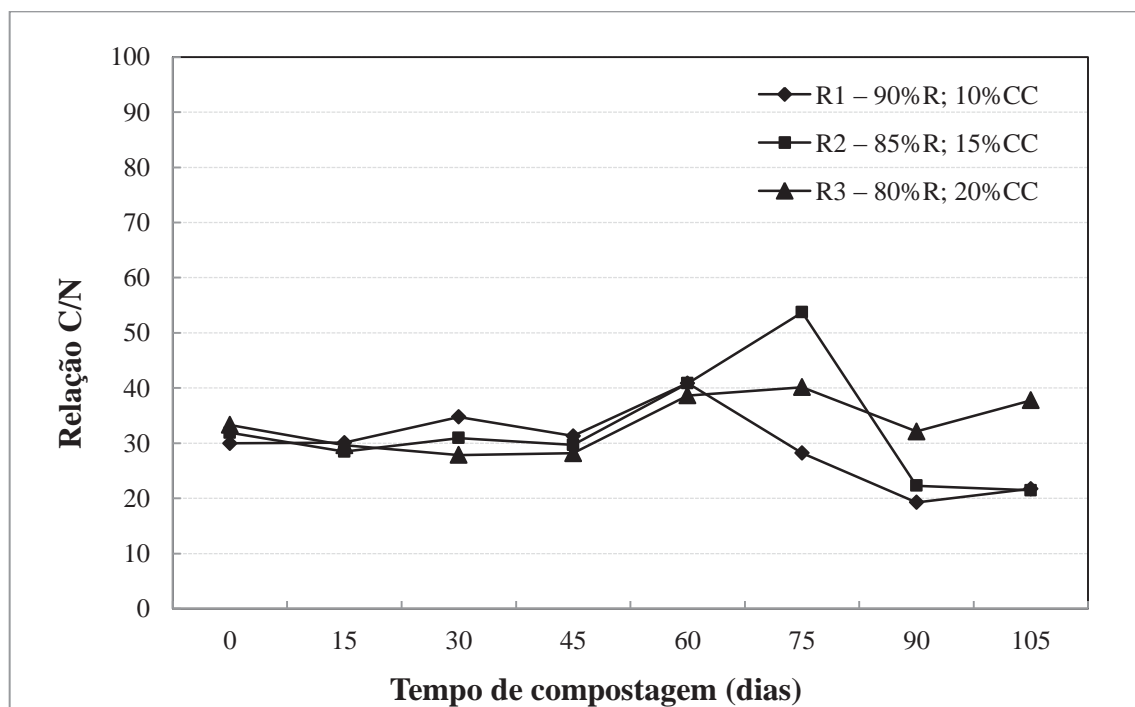


Figura 23 – Monitoramento da relação C/N nos reatores

Os três reatores apresentaram um padrão similar até os 60 dias de compostagem, com leves acréscimos/reduções da relação C/N.

Aos 75 dias, o reator 1 (90%R; 10%CC) teve uma queda considerável da relação C/N para 28,2/1, aos 90 dias para 19,3/1 e se estabilizando aos 105 dias, com relação C/N igual a 21,7/1.

Já o reator 2 (85%R; 15%CC), teve um aumento da relação, atingindo 53,7/1; e logo aos 75 dias, reduziu drasticamente, para valor de 22,3/1. Aos 105 dias de tratamento, a relação permaneceu praticamente constante de 21,5/1.

O reator 3 (80%R; 20%CC) permaneceu com uma relação C/N praticamente constante aos 75 dias de tratamento, e aos 90 dias teve uma pequena redução para um valor de 32,1/1. Porém, aos 105 dias de compostagem, a relação C/N do reator 3 voltou a aumentar, atingindo um valor de 37,8/1.

Apesar da relação C/N no início da compostagem estar entre 30 e 40/1, considerada uma faixa ideal para Pereira Neto e Mesquita (1992), a relação C/N das leiras e reatores variou muito ao longo dos 105 dias do processo, sendo que os melhores valores atingidos foram na leira 2 (85%R; 15%CC) e no reator 2 (85%R; 15%CC); o reator 1 (90%R; 10%CC) também apresentou resultado próximo, enquanto o restante dos sistemas não são considerados adequados.

5.3 – CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO FINAL

Enquanto o resíduo de rúmen “*in natura*” apresentava coloração verde, o material compostado apresentou coloração marrom escuro em todas as leiras e reatores, proveniente da oxidação enzimática dos microrganismos, caracterizando a humificação (STEVENSON, 1994), o que pode ser visualizado pela Figura 24 e 25.



Figura 24 – Aspecto do composto final da leira 3



Figura 25 – Aspecto do composto final do reator 1

A Tabela 7 apresenta os valores dos compostos produzidos nas três leiras e nos três reatores, bem como os parâmetros estabelecidos na Instrução Normativa n° 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Tabela 7 – Valores finais dos compostos produzidos nas leiras e reatores e os valores de referência da Instrução Normativa n° 25 de 23/07/2009

Parâmetros	L1	L2	L3	R1	R2	R3	I. N. n 25/2009
pH	9,7	9,7	9,8	9,4	9,6	9,6	Mín 6
Umidade (%)	56,7	58,0	55,0	63,0	49,0	56,2	Máx 50%
Matéria Orgânica (%)	72,9	70,3	55,0	76,1	78,3	79,4	---
Resíduo Mineral (%)	27,1	29,7	29,5	23,9	21,7	20,6	---
Carbono Orgânico (%)	40,5	39,1	39,2	42,8	43,5	44,1	Mín 15%
Nitrogênio (%)	1,2	2,4	1,4	1,9	2,0	1,2	Mín 0,5%
Relação C/N	33,1	16,7	27,7	21,8	21,5	37,8	Máx 20/1

O pH estabelecido pela Instrução Normativa deve ser no mínimo 6,0. Nas leiras e nos reatores, os valores obtidos foram em torno de 9, estando assim dentro do estabelecido.

Os valores finais de umidade das três leiras se apresentaram acima dos valores estabelecidos pela Instrução Normativa n° 25 de 23/07/2009, que determina valor máximo de 50%. No reator 1 (90%R; 10%CC) e 3 (80%R; 20%CC), os valores também ficaram um pouco

acima desse limite, porém como percebido no estudo, o resíduo pode perder sua umidade facilmente atingindo valores menores que o padrão. No reator 2 (85%R; 15%CC) a umidade de 49,0% está adequada.

A Instrução Normativa n° 25/2009 estabelece que o parâmetro carbono orgânico seja no mínimo 15%, com isso, verifica-se que todas as leiras e reatores estão em acordo com a normativa, sendo o valor mais baixo de 39,1% referente a leira 2 (85%R; 15%CC).

Quanto aos valores de nitrogênio, estes também se encontram em acordo (mínimo de 0,5%), sendo 1,2% (reator 3 - 80%R; 20%CC) o valor mais baixo e 2,4% (leira 2 - 85%R; 15%CC) o mais alto.

Com relação ao parâmetro C/N a leira 2 (85%R; 15%CC) atingiu valor inferior (16,7/1) ao máximo estabelecido (20/1), entrando em conformidade com a norma. E os reatores 1 (90%R; 10%CC) e 2 (85%R; 15%CC) estão próximos a esse limite, podendo atingir o desejável em pouco tempo. Enquanto isso, os demais sistemas estão fora do estabelecido pela norma.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização deste estudo, pode-se dizer que devido à presença de compostos de difícil degradação no rúmen bovino, como lignina e celulose, assim como nas cascas de café, o tratamento dos resíduos por meio da compostagem não foi tão eficiente como esperado, mesmo com a microbiota natural favorável ao processo. A incorporação de outro resíduo estruturante, não lignino-celulósico e com menor teor inicial de carbono orgânico, pode contribuir mais para uma compostagem mais eficaz do rúmen.

As misturas com maiores quantidades de casca de café tiveram maior taxa de degradação da matéria orgânica nas leiras. Além disso, as misturas com maiores quantidades de casca de café, tanto nas leiras como nos reatores, alcançaram maiores valores de temperatura na fase termofílica.

Pode-se dizer também que, a mistura dos resíduos, em ambos os sistemas de tratamento, apresentou grande variabilidade no teor de nitrogênio, não apresentando uma tendência ao longo do processo como esperado. Fato que levou à variabilidade da relação C/N.

Em relação à adoção do sistema manual e mecanizado, verificou-se que não houve diferenças significativas nos resultados ao longo do monitoramento do processo.

Desta forma, os principais resultados obtidos com este estudo revelam que os compostos produzidos pela leira 2 (85%R; 15%CC) e reatores 1 (90%R; 10%CC) e 2 (85%R; 15%CC) se encontram dentro ou bem próximos dos valores estabelecidos pela Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009. Nesse sentido, a proporção que apresentou melhores resultados foi a de 85% rúmen bovino e 15% cascas de café, sendo a mais recomendada pelo presente estudo para ser utilizada na produção de adubo orgânico.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br>>. Acesso em: 20 Abr. 2012.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004 – Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ADHIKARI, B. K.; BARRINGTON, S.; MARTINEZ, J., *et al.* Effectiveness of three bulking agents for food waste composting. **Waste Management**, v. 29, p. 197-203, 2009.

BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ–MONEDERO, M. A.; PAREDES, C., *et al.* Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 69, p. 175-189, 1998.

BERTRAN, E; SORT, X.; SOLIVA, M., *et al.* Composting winery waste: sludges and grape stalks. **Bioresource Technology**, Barcelona, Espanha, v. 95, n.2, p. 203-208, 2004.

BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília.

BRITO, M. J. C. **Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala de potencial de utilização do composto como substrato**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Aracajú, SE, Brasil.

BUDZIAK, C. R.; MAIA, C. M. F.; MANGRICH A. S. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 399-403, 2004.

CNPC. Conselho Nacional da Pecuária de Corte. **Balanco da pecuária bovinea de corte**. Site corporativo. Disponível em <<http://www.cnpc.org.br>>. Acesso em: 20 Abr. 2012

COSTA, M. S. S. M. **Caracterização dos dejetos de novilhos superprecoce: reciclagem energética de nutrientes**. 2005. Tese de Doutorado em Agronomia. Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; DECARLI, L. D., *et al.* Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 100-107, 2009.

COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; SESTAK, M., *et al.* Compostagem de resíduos da indústria de desfibração de algodão. **Engenharia Agrícola**, vol.25, n.2, p. 540-548, 2005.

D’ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento de Resíduos**. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

FEBRER, M. C. A., *et al.* Dinâmica da decomposição mesofílica de resíduos orgânicos misturados com águas residuárias da sinocultura. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n.1-4, 2002.

FERNANDES, F; SILVA, S. M. C. P. Compostagem de resíduos agroindustriais utilizando tecnologia de compostagem de baixo custo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19., 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABES, 1997., p. 10.

FERNANDES, F; SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 1999.

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*, v. 6, n. 1, p. 41-50, 2005.

IAL. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Editoração Débora D. Estrella Rebocho, 1985.

JARDIM, N. Z., *et al.* **Lixo Municipal**: Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995.

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

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: O autor, 1998, p. 171.

KOENIG, A.; YIU, W. C. Waste management in Hong Kong abattoirs. **Water Science and Technology**, v.40, n.1, p. 379-387, 1999.

LASARIDI, K.; PROTOPAPA, I.; KOTSOU, M, *et al.* Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. **Journal of Environmental Management**, v. 80, p. 58-65, 2006.

LEITE, R. A.; PEREIRA, R. C.; MARQUES, J. A. F. Tratamento de dejetos de suínos e casca de café (*Coffea arabica* L.) através do processo do vermicompostagem, 2003.

MAGALHÃES, E. A.; SILVA, J. S.; SILVA, J. N.; *et al.* Casca de café associada à lenha como combustível para aquecimento indireto do ar de secagem. **Revista Brasileira de Armazenagem**, v. 10 p. 66-72, 2008.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; DENÍCULI, W., *et al.* Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 466-471, 2006.

MARAGNO, E.S.; TROMBIN, D.F.; VIANA, E. O uso da serragem no processo de minicompostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n.4, p. 355-360, 2007.

MATOS, A. T.; FEBRER, M. C. A. Características químicas de composto orgânico produzido com casca de frutos de cafeeiro e águas residuárias da suinocultura. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas, MG, 2000. v. 2, p. 975-978.

MORALES, M. M. **Avaliação dos resíduos sólidos e líquidos num sistema de abate de bovinos**. 2006. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

- OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. 2008. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba.
- PACHECO, J. W. F.; YAMANAKA, H. T. **Guia Técnico Ambiental de abate (bovino e suíno)** – Série P+L. São Paulo: CETESB, 2008.
- PAIVA, E.C.R. **Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e leiras estáticas aeradas**. 2008. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- PEIXOTO, J. O. Destinação final de resíduos, nem sempre uma opção econômica. **Engenharia Sanitária**, p. 15-18, 1981.
- PELÁEZ, C.; MEJÍA, A.; PLANAS, A. Development of a solid phase kinetic assay for determination of enzyme activities during composting. **Process Biochemistry**, v.39, p. 971-975, 2004.
- PEREIRA NETO, J. T. Conceitos modernos de compostagem. **Engenharia Sanitária**, v. 28, n. 3, p. 104-109, 1989.
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF. 56p. 1996.
- PEREIRA NETO, J. T. Compostagem: fundamentos e métodos. In: Simpósio sobre compostagem: Ciência e Tecnologia, 1., 2004 – Universidade Estadual Paulista, FCA.
- PEREIRA NETO, J. T.; MESQUITA, M. M. F. **Compostagem de resíduos sólidos urbanos: aspectos teóricos, operacionais e epidemiológicos**. Ed. LNEC, 1992. 34 p.
- PROVENZANO, M. R.; OLIVEIRA, S. C.; SILVA, M. R. S.; SENESI, N. Assessment of maturity degree of composts from domestic solid wastes by fluorescence and fourier transform infrared spectroscopies. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 5874-5879, 2001.
- RIZK, M.C. Tratamento de resíduos frutihortícolas. 2009. Tese de Doutorado em Engenharia Química. Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- ROCHA, C.P., *et al.* Casca de café em dietas para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.5, p.2163-2171, 2006.
- ROSA, A. P. **Avaliação da viabilidade técnica e ambiental do uso do conteúdo ruminal bovino como biocombustível**. 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- SILVA, A. N. **Manejo de resíduos sólidos industriais: Frigorífico de Araguaína – TO**. 2011. 57 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração a distância) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de Brasília – UnB, Brasília.
- SILVA, E.C.F. **Produção de composto orgânico**. 2008. 31 f. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura) – Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho – EAFMuz, Muzambinho.

SILVA, F. C.; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C., *et al.* **Recomendações Técnicas para o Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo.** Embrapa – Circular Técnica 3, p. 1-17, 2002.

SILVA, L. I. D.; CARNEIRO, M. C.; EMÍDIO, V. S., *et al.* Determinação das formas de nitrogênio e nitrogênio total em rochas-reservatório de petróleo por destilação com arraste de vapor e método do indofenol. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 46-51, 2006.

SILVA, L. N. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais.** 2007. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

SILVA, M.C.; PINTO, F.; SILVA, E.A.; PEREIRA, M., *et al.* **Compostagem em Portugal.** Escola Superior de Biotecnologia, 2003.

SOCOL, C. R. **Resíduo de café:** um substrato promissor para a produção industrial de bioprodutos com alto valor agregado. In: EMBRAPA-CAFÉ. (Org.). I SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 1 ed. BRASÍLIA: EMBRAPA, v. 1, p. 83-98, 2002.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry:** genesis, composition, reactions. New York, John Wiley & Sons, 1994. p. 496.

SUSMEL, P.; STEFANON, B. Aspects of lignin degradation by rumen microorganisms. **Journal of Biotechnology**, v. 30, n. 1, p. 141-148, 1993.

SWEETEN, J.M.; AUVERMANN, B.W. **Composting manure and sludge.** Texas AgriLife Extension Service. E-479. 2008.

TONACO, I. A.; BOTREL, M. C. G.; RODRIGUES, B. O. *et al.* Utilização de casca de café como substrato para produção de mudas de *Eucalyptus urophylla*. In: Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG e Jornada Científica, 3., 2010, Bambuí. **Anais...** 2010.

TRAUTMANN-MACHADO, R. J. ; PIERANGELI, M. A. P.; SOUSA NETO, E. L.. Caracterização do pH e da umidade do resíduo ruminal bovino de um frigorífico do vale do Gauporé. In: JORNADA CIENTÍFICA DA UNEMAT, 2., 2009, Cáceres. 2ª Jornada científica da UNEMAT... **Anais**, 2009. v. 1. p. 1-1.

TRITT, W. P.; SCHUCHARDT, F. Materials Flow and Possibilities of Treating Liquid and Solid Wastes from Slaughterhouses in Germany. **Bioresource Technology**, v. 41, n. 3, p. 235-245, 1992.

TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A. *et al.* **Biossólidos na agricultura.** 2 ed. São Paulo: ABES, 2002. p. 181-208.

TUOMELA, M.; VIKMAN, M.; HATAKKA, A.; ITAVAARA, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, v. 72, p. 169-183, 2000.

VERAS, L. R. V.; POVINELLI, J. A. Vermicompostagem do lodo das lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 9, n 3, p. 218-224, 2004.

WEIMER, P. J. Why don't ruminal bacteria digest cellulose faster? **Journal of Dairy Science**, v. 79, n. 8, p. 1496-1502, 1996.

ANEXOS

ANEXO I

UMIDADE, MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL, RESÍDUO MINERAL TOTAL, CARBONO ORGÂNICO E RELAÇÃO C/N (KIEHL, 1985)

Lavar uma cápsula de porcelana com água destilada, levar à estufa por uma hora e após, à mufla a 550°C por 30 minutos e colocar no dessecador até resfriamento total. Pesar obtendo-se P₁.

Análise da em umidade (%):

Pesar uma porção de amostra, obtendo-se P₂. Levar a cápsula contendo a amostra à estufa, graduada para a faixa de 100-110°C, permanecendo por mínimo 16 horas. Deixar esfriar no dessecador por 30 minutos e pesar obtendo-se P₃.

$$\text{UMIDADE (\%)} = \frac{(P_2 - P_3) \times 100}{(P_2 - P_1)}$$

Análise de matéria orgânica total (MO%):

Levar a cápsula com o material da análise de umidade à mufla e ligá-la mantendo a porta entreaberta para proporcionar aeração; a amostra deve ser aquecida lentamente para ser queimada sem inflamar, pois, se formar labareda poderá ocorrer perda de material; recomenda-se, neste caso, que o procedimento seja repetido. Fechada a porta e alcançada a temperatura de 550°C, manter nessa temperatura por 1 hora, retirar a cápsula, resfriar em um dessecador e pesar P₄.

$$\text{MO}_{\text{TOTAL}} (\%) = \frac{(P_3 - P_4) \times 100}{(P_3 - P_1)}$$

Análise de resíduo mineral total (RM%):

O resíduo mineral que restou na cápsula é geralmente designado como cinza ou material não volátil ou resíduo mineral total. A determinação do resíduo total por simples cálculo a partir dos dados da análise de matéria orgânica total.

$$RM_{TOTAL} (\%) = \frac{(P_4 - P_1) \times 100}{(P_3 - P_1)}$$

Análise de carbono orgânico (CO):

Segundo KIEHL (1985), a porcentagem de carbono orgânico possui um fator de conversão entre 1,724 e 1,923 que corresponde a 52 e 58%, respectivamente, de carbono contido na matéria orgânica degradada, assim:

$$CO (\%) = \frac{MO_{TOTAL} (\%)}{1,8}$$

Análise da relação C/N:

A determinação da relação carbono/nitrogênio é um parâmetro que se obtém dividindo-se o teor de carbono orgânico pelo nitrogênio obtido na amostra, a partir do procedimento no anexo IX, representando-se o numerador da relação obtida sempre por um número inteiro.

$$C/N = \frac{CO(\%)}{N(\%)}$$

ANEXO II

NITROGÊNIO KJELDAHL

(ADOLFO LUTZ, 1985)

Preparo da amostra:

A amostra é seca em estufa à 105-110°C durante 12 horas, moída e deixada novamente na estufa até peso constante e deixada esfriar em dessecador.

Preparo da solução digestora:

Adicionar 100 partes de K_2SO_4 em 1 parte de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ e 0,8 partes de Se_8 .

Preparo da solução indicadora de ácido bórico:

Para 1000 mL de H_3BO_3 a 4%, adicionar 15 mL de vermelho de metila (0,1% em álcool) e 6 mL de verde de bromocresol (0,1% em álcool);

Solução de NaOH – 50%:

Adicionar 500 g de NaOH em 1000 mL de água destilada.

Digestão:

Pesar 0,5 g de amostra e introduzir em um tubo kjeldahl, adicionar de 1 a 2 g da mistura digestora e 12 mL de H_2SO_4 concentrado. Colocar os tubos no digestor e aquecê-los moderadamente no início, tendo o cuidado de utilizar capela, devido os vapores ácidos desprendidos. Continuar a digestão até que a solução torne-se incolor e a temperatura tenha 350oC. Em seguida aquecer os tubos por mais 30 minutos. Deixá-los esfriar.

Destilação:

Adicionar a cada tubo 10 mL de água destilada e acoplá-los ao aparelho de destilação. Adicionar 40 mL de solução de NaOH – 50% ao conjunto de destilação. Adicionar este moderadamente. Colocar um erlenmeyer de 250 mL contendo 25 mL de solução indicadora de ácido bórico na ponta do condensador para receber o NH_3 . Após a adição do NaOH iniciar a destilação. A ponta do condensador deve ser introduzida na solução para evitar perdas da amônia. Coletar um volume do destilado de 2 a 3 vezes maior do que o volume inicial.

Titulação:

Titular com uma solução de H₂SO₄ de normalidade padronizada. Para se obter a porcentagem de nitrogênio na amostra, utiliza-se

$$N (\%) = \frac{V \times N \times 14 \times 100}{P_A}$$

Em que,

V: volume do ácido titulado (mL);

N: normalidade do ácido;

PA: peso da amostra (mg).

OBS: Para digestão de amostra líquida: 2 mL de amostra + 12 mL de H₂SO₄. Aumentar a temperatura para 100°C por 30 minutos, elevar 50°C e permanecer por 30 minutos, assim sucessivamente, até 350°C permanecendo por 1 hora.