

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

Ana Beatriz Zanandréa Chaves  
Maria Clara Perobelli Duarte

**Avaliação da influência do uso de diferentes resíduos  
orgânicos nos processos de humificação durante a  
vermicompostagem e avaliação de seu potencial fertilizante.**

Orientadora: Prof. Dr. Maria Olímpia de Oliveira Rezende

São Carlos, SP  
2012

**Ana Beatriz Zanandréa Chaves  
Maria Clara Perobelli Duarte**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO USO DE DIFERENTES  
RESÍDUOS ORGÂNICOS NOS PROCESSOS DE  
HUMIFICAÇÃO DURANTE A VERMICOMPOSTAGEM E  
AVALIAÇÃO DE SEU POTENCIAL FERTILIZANTE**

Monografia apresentada ao curso de  
graduação em Engenharia Ambiental  
da Escola de Engenharia de São  
Carlos da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Maria Olimpia de Oliveira Rezende

São Carlos, SP  
2012

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Candidatas: Ana Beatriz Zanandrea Chaves  
Maria Clara Perobelli Duarte

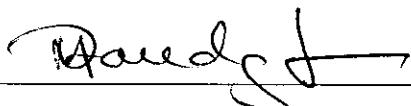
Monografia defendida e aprovada em: 08/11/2012 pela Comissão Julgadora:

Maria Olimpia de O. Resende

Profa. Dra (Orientador) Maria Olimpia de Oliveira Resende



MSc. Leandro Antunes Mendes



Dra. Maria Diva Landgraf



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação



*“Deixa ser como será!  
Eu vou sem me preocupar.  
E crer pra ver o quanto eu posso adivinhar.”*

Los Hermanos – Retrato pra Iaiá

## **Agradecimentos**

À minha mãe, Márcia, meu maior exemplo, por todo amor e dedicação durante toda a minha vida, me dando suporte sempre em tudo o que precisei e por tornar todas as minhas conquistas possíveis;

As minhas irmãs Camila e Maria Clara pelo companheirismo de uma vida;

Ao Márcio, por todo o carinho;

Ao meu pai, Sérgio, à Ju e ao Lucas, que sempre estiveram presentes mesmo que à distância;

Aos meus familiares por serem minha base;

À Profa. Dra. Maria Olímpia de Oliveira Rezende, à Dra. Maria Diva Landgraf e ao colega de laboratório, Paulo, pela orientação durante todo o período de iniciação científica;

À Tatiana e à Bruna, minhas amigas queridas, sempre presentes em todos os momentos;

À Clara e a Nathalie, pelos incontáveis momentos de companheirismo e felicidade. Essa caminhada não teria sido a mesma sem vocês;

A todos os meus amigos do período da graduação por terem feito dos anos na universidade os melhores da minha vida!

*Ana Beatriz*

Agradeço principalmente aos meus pais, Sônia e Jair, por sempre acreditarem em mim, mesmo quando eu mesma não acreditava, pela paciência com meus ataques e desespero, pelo apoio incondicional e bom exemplo dentro de casa, foi com vocês que aprendi a correr atrás dos meus objetivos. Todas as “*minhas*” conquistas não são minhas, são de vocês!

À professora Marió e à Diva pelo suporto durante toda a iniciação científica, pelas orientações e diretrizes, e por estarem sempre presentes quando precisamos. Ao Paulo, por ceder os dados necessários para a conclusão do trabalho e estar tão presente mesmo a distância, além de também nos orientar durante o projeto;

À Bia, pelas horas incessantes de trabalho e pesquisa, não só de conclusão de curso, mas durante toda a faculdade. Por todos os momentos de diversão, que são incontáveis nesses últimos 6 anos; À todos os amigos que fiz no tempo em que estive em São Carlos, cada um deixou um pedacinho comigo e vão ser eternos, sem vocês não teria sido a mesma coisa;

Meus agradecimentos não se estendem apenas àqueles que colaboraram com a elaboração direta deste trabalho. Este trabalho de graduação encerra um ciclo de estudo e esforço. Devo agradecer também a todos que me apoiaram durante o período.

Agradeço também à Tia Sueli, minha madrinha (duas vezes), que também considero como mãe, torcendo por mim e se orgulhando a cada conquista,;

Ao Flávio, meu namorado, que reapareceu no momento exato e mais inesperado da minha vida, pra me fazer ainda mais feliz. Amo você! “*Deixa ser como será... Tudo posto em seu lugar.*”

Rafa, Léia e Cacá, suas lindas!

*Maria Clara*

CHAVES, A. B. Z. ; DUARTE, M. C. P. **Avaliação da influência do uso de diferentes resíduos orgânicos durante a vermicompostagem e avaliação de seu potencial fertilizante** – Trabalho de Graduação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

Um dos problemas ambientais na atualidade, especialmente no Brasil, é a destinação do bagaço de cana de açúcar. A problemática em se encontrar um destino para o resíduo produzido existe pois algumas alternativas não são economicamente viáveis e outras trazem danos ambientais. Este trabalho propõe a utilização da vermicompostagem para estabilização do bagaço de cana. A principal vantagem em se utilizar a vermicompostagem como técnica de estabilização é por se tratar de um processo natural. O vermicomposto pode ser incorporado ao solo, constituindo, assim, um fertilizante orgânico ideal para ser utilizado na agricultura. Considerando a necessidade de um conhecimento mais abrangente sobre as características do vermicomposto e das substâncias húmicas nele presentes, nosso objetivo geral é estudar o comportamento dos resíduos com o esterco bovino e avaliar a influência deles na mortalidade das minhocas, rendimento do vermicomposto e nas características físico-químicas do produto final, considerando seu potencial fertilizante. Foram preparadas 3 caixas para realização do experimento, em cada uma delas foi adicionada uma mistura de 50% de bagaço de cana, 50% de esterco bovino e minhocas da espécie *Eisenia foetida*. Foram realizadas 7 coletas com intervalo de 15 dias cada e determinou-se então o pH, CTC, COT, NKT, razão C/N, razão CTC/C, quantidade de ácido Húmicos e Fúlvicos e quantidade de fósforo. Os resultados obtidos para os vermicompostos produzidos mostraram que o bagaço de cana com o esterco bovino pode ser utilizado para obtenção de um fertilizante agrícola que atenda às especificação do Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento (MAPA).

*Palavras Chave:* Vermicomposto, bagaço de cana, fertilizante.

## Abstract

CHAVES, A. B. Z. ; DUARTE, M. C. P. **Assessing the impact of the use of different organics waste during the vermicomposting and evaluation of its fertilizing potential.** – Trabalho de Graduação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

Nowadays, one of the main environmental problems, especially in Brazil, is the allocation of the sugar cane bagasse. The problems to find a destination for the residual is because some alternatives are not economically viable or bring other environmental damage. This paper proposes the use of vermicomposting to stabilize sugarcane bagasse. The main advantage of using vermicomposting as stabilization technique is because it is a natural process. The vermicompost can be incorporated into the soil, constituting an organic fertilizer ideal for use in agriculture. Considering the need for more knowledge about the characteristics of humus and humic substances present in it, our overall objective is to study the behavior of waste with cattle manure and evaluate their influence on mortality of earthworms, vermicomposts yield, the physical - chemical properties of the final product, considering its potential fertilizer. 3 boxes were prepared for the experiment, in each one was added a mixture of 50% of sugar cane bagasse, 50% of cattle manure and the earthworm *Eisenia foetida*. 7 samples were taken at intervals of 15 days each and it was determined the pH, CEC, TOC, NKT, C / N ratio, ratio CTC / C, amount of humic and fulvic acid and phosphorus quantity. The results for vermicomposts showed that sugarcane bagasse with cattle manure can be used to obtain an agricultural fertilizer that meets the specification of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA).

**Keywords:** Vermicompost, sugar cane bagasse, fertilizer.

## **Lista de Figuras**

Figura 1. Composição química do solo .....	24
Figura 2 - Composição das caixas de compostagem .....	27
Figura 3 - Fluxograma ilustrativo do processo de extração de ácido húmico..	34
Figura 4 - Variação no pH durante o processo de vermicompostagem.....	36
Figura 5- Variação do teor de Matéria Orgânica durante o processo de vermicompostagem. ....	38
Figura 6 - Variação do teor de Umidade durante o processo de vermicompostagem. ....	39
Figura 7 - Variação do teor de Umidade durante o processo de vermicompostagem. ....	40
Figura 8 - Camparação da variação da CTC efetiva com a variação de pH .....	41
Figura 9 - Curva de remoção do carbono orgânico total (% mássica) durante o processo de vermicompostagem. ....	42
Figura 10 - Reta relativa a linearização a equação linear da remoção do vermicomposto pelo tempo. ....	43
Figura 11 - Variação da CTC pelo carbono total durante o processo de vermicompostagem. ....	45
Figura 12- Variação da concentração de Nitrogênio durante o processo de vermicompostagem. ....	46
Figura 13 - Variação da concentração de fósforo durante o processo de vermicompostagem. ....	47
Figura 14 - Variação do carbono total pelo Nitrogênio total durante o processo de vermicompostagem.....	48
Figura 15 - Variação da quantidade extraída de ácidos húmicos.....	49
Figura 16 - Variação da quantidade extraída de ácidos fúlvicos. ....	50
Figura 17 - Variação da quantidade extraída de ácidos húmicos em relação à matéria orgânica. ....	51

Figura 18 - Variação da quantidade extraída de ácidos fúlvicos em relação à matéria orgânica.....51

Figura 19 - Tendência de comportamento dos parâmetros do Vermicomposto.....53

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Variação do pH durante o processo de vermicompostagem.....	36
Tabela 2 - Variação do teor de matéria orgânica (% mássica) durante o processo da vermicompostagem.....	37
Tabela 3 - Variação do teor de matéria orgânica (% mássica) durante o processo da vermicompostagem.....	39
Tabela 4- Variação da CTC efetiva (Cmolc Kg-1) durante o processo da vermicompostagem.....	40
Tabela 5- Variação da COT (% mássica) durante o processo da vermicompostagem.	42
Tabela 6- Variação da CTC (Mmolc Kg-1) pelo carbono total (%masssica) durante o processo da vermicompostagem.....	44
Tabela 7- Variação da concentração de Nitrogênio (% mássica) durante o processo da vermicompostagem.....	46
Tabela 8 - Variação da variação da concentração de Fósforo (% mássica) durante o processo da vermicompostagem.....	46
Tabela 9 - Variação do Carbono por Nitrogênio durante o processo da vermicompostagem.....	48
Tabela 10- Quantidade extraída de ácidos húmicos e fúlvicos.....	49
Tabela 11 - Quantidade extraída de ácidos húmicos e fúlvicos em relação ao teor de Matéria orgânica.....	50
Tabela 12 - Especificação e garantias mínimas para fertilizante orgânico composto classe “A” .....	55
Tabela 13 - Comparaçao entre as especificação e garantias mínimas para fertilizante orgânico composto classe “A” do MAPA e o nosso vermicomposto. ....	55

## **Lista de abreviaturas**

CTC – Capacidade de troca catiônica

CTC/C – Quociente da capacidade de troca catiônica pela porcentagem mássica de carbono orgânico.

MO – Matéria Orgânica

NKT – Nitogênio Kjeldahl total

S – Desvio padrão

T – Quoeficiente de student

UNICA – União das indústrias de cana de açúcar

SH – Substâncias húmicas

AF – Ácidos Fúlvicos

AH – Ácidos Húmicos

# Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>16</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>19</b>
2.1. <i>Objetivo Geral .....</i>	19
2.2. <i>Objetivo específico.....</i>	19
<b>3. Revisão bibliográfica.....</b>	<b>20</b>
3.1. <i>Vermicompostagem .....</i>	20
3.2. <i>Minhocas.....</i>	21
3.3. <i>Parâmetros.....</i>	22
3.3.1. pH .....	22
3.3.2. Razão C/N .....	22
3.3.3. CTC .....	23
3.3.4. Matéria Orgânica do Solo.....	23
3.3.5. Substâncias húmicas.....	24
<b>4. Metodologia.....</b>	<b>26</b>
4.1. <i>Limpeza do material a ser utilizado .....</i>	26
4.2. <i>Tratamento estatístico dos dados.....</i>	26
4.3. <i>Preparação das caixas .....</i>	26
4.4. <i>Escolha da minhoca - Eisenia foetida.....</i>	27
4.5. <i>Coleta de amostras.....</i>	28
4.6. <i>Características físico químicas .....</i>	28
4.6.1. pH .....	28
4.6.2. Teor de Matéria Orgânica.....	29
4.6.3. Determinação da umidade .....	29
4.6.4. Determinação da capacidade de troca catiônica (CTC).....	30
4.6.5. Determinação do carbono orgânico total .....	30
4.6.6. Razão CTC/C .....	31
4.6.7. Determinação do nitrogênio e fósforo (N e P) .....	31
4.6.8. Razão C/N .....	32
4.6.9. Determinação quantitativa dos ácidos húmicos e fúlvinos .....	32
Extração dos ácidos húmicos.....	33
Purificação dos ácidos húmicos .....	35

Purificação dos ácidos fúlvicos .....	35
<b>5. Resultados e discussão.....</b>	<b>36</b>
5.1. <i>pH</i> .....	36
5.2. <i>Teor de Matéria Orgânica</i> .....	37
5.3. <i>Teor de Umidade</i> .....	38
5.4. <i>Variação da CTC efetiva durante a vermicompostagem</i> .....	40
5.5. <i>Teor de carbono orgânico total</i> .....	41
5.5.1. Cinética de remoção de COT .....	43
5.6. <i>Determinação dos valores da CTC/C</i> .....	44
5.7. <i>Determinação do nitrogênio e fósforo (N e P)</i> .....	45
5.8. <i>Razão C/N</i> .....	47
5.9. <i>Determinação quantitativa dos ácidos Húmicos e Fúlvicos</i> .....	48
<b>6. Verificação do caráter fertilizante do vermicomposto produzido segundo os critérios do Ministério de Agricultura Pecuária e abastecimento (MAPA).....</b>	<b>53</b>
<b>7. Conclusão .....</b>	<b>56</b>
<b>8. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>57</b>

## 1. Introdução

Os modelos de desenvolvimento comumente adotados para a agricultura, pecuária, indústria e centros urbanos não levavam em consideração o ambiente. O solo, o ar e a água tornavam-se depósitos dos resíduos produzidos.

No caso da agricultura, toneladas de produtos químicos são adicionadas ao solo em forma de adubos e controladores de pragas. Os adubos químicos podem reduzir o potencial de produtividade do solo, alterando o equilíbrio entre vários sais minerais e outros nutrientes indispensáveis às plantas.

Atualmente a preocupação com o ambiente vem crescendo. Órgãos como a EMBRAPA e o IBAMA, por exemplo, vêm se preocupando com uma agricultura mais sustentável. A utilização de resíduos orgânicos como fertilizantes na agricultura tem sido considerada uma alternativa ambientalmente adequada. No entanto, para serem adicionados aos solos esses resíduos devem ser estabilizados. (Atiyeh, 2001)

Dois processos são mundialmente conhecidos para estabilizar os resíduos orgânicos: a compostagem e a vermicompostagem. Após esses processos, a matéria orgânica se encontra em um maior nível de humificação (estabilização), e a estrutura dos constituintes da matéria orgânica estabilizada, ácidos húmicos e fúlvicos, é alterada. (Edwards, 1988)

Nesta concepção, a vermicompostagem é uma alternativa que merece destaque, pois permite o enriquecimento da Matéria Orgânica, aumentando a disponibilização de nutrientes de forma economicamente viável e ambientalmente sustentável (Longo, 1997). Além disso, as minhocas são consideradas uma importante fonte de estudos ecotoxicológicos devido a sua habilidade em acumular metais e/ou pesticidas em seu organismo (Saint-Denis et al., 1999), e, por isso, podem ser consideradas como importantes fontes de informação para o risco de contaminação ambiental (Lukkari et al., 2004 e Gupta et al., 2005).

A adubação com vermicomposto representa uma boa fonte de reposição da matéria orgânica do solo perdida com intensivos cultivos. Considerando a necessidade de um conhecimento mais abrangente sobre a importância da matéria-

prima e as características do vermicomposto e das substâncias húmicas nele presentes, nosso objetivo geral é avaliar o uso de resíduos com esterco bovino e a influência deles na mortalidade das minhocas, além de avaliar o rendimento do vermicomposto e as características físico-químicas do produto final.

Existem diferentes formas para a disposição final do bagaço de cana, tais com os aterros sanitários, incineração e deposição nos solos para agricultura. Essas opções apresentam algumas desvantagens, pois a incineração é cara e pode poluir a atmosfera enquanto a disposição em aterros sanitários também possui custo elevado e agrava problemas com o manejo do lixo urbano devido a elevada carga orgânica.

Neste contexto a reciclagem agrícola se destaca pela sua adequação sanitária e ambiental. O uso agrícola de resíduos como adubo orgânico é considerado hoje alternativa promissora de disposição final. (Bettoli e Camargo, 2000).

O desenvolvimento das indústrias para produção de açúcar e, principalmente, de álcool a partir da cana-de-açúcar para a utilização como combustível alternativo em veículos automotores em substituição à gasolina no Brasil, acarretou um aumento na produção de certos resíduos, tais como o bagaço, a torta de filtro e, principalmente, o vinhoto ou vinhaça que é um efluente líquido gerado pelas destilarias ao efetuar a destilação do mosto fermentado, para a produção de etanol.

Segundo Malavolta (2001), cada tonelada de cana gera 550 kg de bagaço. De acordo com a União das Indústrias de Cana- de- açúcar (UNICA) a produção de cana de açúcar na safra de 2008/2009 ultrapassou 569 milhões de toneladas. Portanto, aproximadamente 313 milhões de toneladas de resíduo deveriam ter sido destinados de forma ambientalmente adequada.

Visando sanar este problema propõe-se a utilização do bagaço de cana como matriz para produção de vermicomposto. Esse fertilizante é conhecido por seu alto teor de matéria orgânica estabilizada. Segundo Rossi e Shimoda (1996), as principais consequências da adubação com o vermicomposto são: Aumento do teor de matéria orgânica no solo, melhoramento da estrutura do solo, aumento da capacidade de retenção da água da chuva (o que diminui a erosão), aumento da

CTC do solo, aumento da atividade microbiana do solo e eliminação ou diminuição de doenças no solo através da ativação de microrganismos benéficos as plantas.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo Geral**

Esse projeto tem por objetivo avaliar o uso de resíduos, como esterco bovino e bagaço de cana - de - açúcar, a influência destes resíduos nas minhocas, o rendimento do vermicomposto produzido e as características físico-químicas do produto final, considerando seu potencial como fertilizante.

### **2.2. Objetivo específico**

Caracterizar o vermicomposto produzido visando um melhor entendimento de suas propriedades por meio da caracterização com relação ao pH, conteúdo de grupos ácidos, análise elementar, teor de matéria orgânica, teor de carbono orgânico e capacidade de troca catiônica.

### **3. Revisão bibliográfica**

#### **3.1. Vermicompostagem**

A transformação da matéria orgânica (MO), resultante da ação combinada de minhocas e da microbiota que vive em seu trato digestivo, é definida como vermicompostagem (Edwards e Fletcher, 1988; Aquino et al., 1992).

Embora a compostagem de resíduos orgânicos seja uma prática antiga, a vermicompostagem foi desenvolvida nas décadas de 40 e 50, com pesquisas realizadas por programas de manejo de minhocas na estação experimental em Rothamstead, Inglaterra.

Após 1970, os cientistas se engajaram no estudo do potencial das minhocas para a conversão de resíduos orgânicos numa forma mais estabilizada de matéria orgânica. Diferentes resíduos foram usados nesses estudos: resíduos industriais e domésticos, estercos e restos de cultura, especialmente os de baixo valor econômico. (Aquino ; Almeida ; Silva , 1922)

No Brasil, a vermicompostagem é uma atividade recente. Teve início no final de 1983 com a chegada de matrizes trazidas da Itália pelo Comendador Lino Morganti para a sua propriedade em Itu (SP).

Entre os fatores que devem ser levados em consideração para os processos de vermicompostagem estão a qualidade e a quantidade de material em relação a número de minhocas (Edwards e Fletcher, 1988; Elvira et al.,1996a). Muitos estudos reportam o uso da matéria-prima fresca, mas o grau de estabilização ou a pré-compostagem do resíduo determina a velocidade e a qualidade do vermicomposto (Gunadi et al., 2002). A pré-compostagem é um passo importante para reduzir a mortalidade das minhocas devido à presença de elementos tóxicos como amônia nos estercos de animais e ácidos em estercos verdes, e devido ao aumento de temperatura durante os estágios iniciais de compostagem.

O processo de compostagem e a ação das minhocas alteram, quantitativa e qualitativamente, a composição das substâncias húmicas dos materiais orgânicos. O material mais estabilizado, isto é, com carbono na forma humificada, apresenta como vantagens maior capacidade de troca de cátions, maior retenção de umidade e mineralização mais lenta.

Uma das diferenças no processo de produção entre compostagem convencional e vermicompostagem é a redução da espessura da pilha, a fim de evitar que sejam atingidas temperaturas acima de 35°C que inviabilizaria a sobrevivência das minhocas (Haimi & Huhta, 1986).

Além disto, a vermicompostagem dispensa o revolvimento do material orgânico, que é realizado pelas minhocas. A espécie mais utilizada no processo de vermicompostagem é a *Eisenia Foetida*, devido à fácil adaptação em climas temperados e tropicais, alta capacidade de reprodução e crescimento rápido. Estima-se que oito minhocas, em condições favoráveis, podem produzir cerca de mil e quinhentos indivíduos em seis meses. A prática da vermicompostagem sugere que se coloquem mil minhocas para cada m<sup>3</sup> do substrato (Kiehl, 1985). Tendo em vista que cada indivíduo consome o equivalente a sua massa por dia de substrato, destaca-se a maior velocidade do processo da compostagem com o uso de minhocas quando comparada ao processo tradicional.

### **3.2. Minhocas**

As minhocas são animais invertebrados, hermafroditas e tem respiração cutânea. Se reproduzem durante a noite, originando cada minhoca adulta 190 indivíduos em 6 meses. As minhocas são saprófitas, isto é, alimentam-se de matéria orgânica morta, especialmente vegetal. O processo de digestão ocorre devido à reação das enzimas com os carboidratos, proteínas, gorduras e até mesmo com a celulose. É no intestino que ocorre a adsorção dos principais nutrientes necessários à alimentação das minhocas. No final do processo digestivo, os restos orgânicos que não foram digeridos e assimilados são expelidos, junto com as partículas de terra na forma de vermicomposto. (Oliveira, 2001)

As minhocas são classificadas como oligoquetos terrestres e as que apresentam interesse para decomposição da matéria orgânica podem ser agrupadas de acordo com a sua coloração: vermelha ou cinzenta. Do grupo pigmentado de vermelho destaca-se a minhoca *Lumbricus rubellus* e do grupo cinzento a *Eisenia foetida*.

### **3.3. Parâmetros**

Dentre os parâmetros que influenciam a qualidade dos solos condicionados com fertilizantes orgânicos podemos destacar alguns que foram analisados durante esse trabalho: pH, Razão C/N e CTC, Matéria Orgânica, Ácidos Húmicos, Ácidos Fúlvicos.

#### **3.3.1. pH**

De modo geral, um solo com pH em torno de 6,5 é o mais adequado para todos os tipos de cultura. Em solos ácidos, alguns íons como alumínio, ferro, manganês, cobre e zinco, podem ser encontrados em quantidades potencialmente tóxicas às plantas. Neutralizando-se o solo, promove-se a formação de óxidos e hidróxidos inertes, minimizando-se a toxicidade desses íons metálicos. No entanto, aumentando-se muito o pH do solo, a solubilidade desses íons pode diminuir a ponto de comprometer o crescimento das plantas devido à deficiência de nutrientes.

#### **3.3.2. Razão C/N**

Quando um resíduo é adicionado ao solo, o aumento da população microbiana é estimulado pelo aporte de energia e nutrientes que o resíduo representa. Com este aumento da população microbiana, a demanda por oxigênio, nutrientes, energia e carbono aumenta.

Resíduos que possuírem uma relação C/N entre 20 e 30 fornecerão o nitrogênio necessário para a reprodução microbiana, não havendo imobilização nem mineralização significativa no início do processo.

Se a relação C/N for maior, significa que os microrganismos buscarão outras fontes de N para satisfazer a demanda e consumirão formas de nitrogênio que estão disponíveis para as plantas, podendo causar uma deficiência temporária de nitrogênio para estas. (Azevedo , 2006)

Quanto menor o valor da relação entre N e C, mais facilmente é a decomposição, havendo um excesso de N no resíduo que fica disponível para as plantas.

A Matéria Orgânica fibrosa, rica em carbono, como é o caso do bagaço de cana, apresenta uma relação C/N alta. Desta forma, é necessária a inclusão do esterco, que é rico em nitrogênio e tem a função de baixar a C/N em níveis ideais para o desenvolvimento das bactérias (Thomsen, 2000).

### **3.3.3. CTC**

A capacidade de troca catiônica (CTC) é a capacidade de partículas sólidas trocarem íons positivamente carregados com uma solução presente no solo. Esta capacidade é utilizada como uma medida de fertilidade nos solos, representando, portanto, a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período.

### **3.3.4. Matéria Orgânica do Solo**

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

O termo Matéria Orgânica do solo é usado para designar os constituintes orgânicos do solo, incluindo aqueles provenientes da decomposição de vegetais e animais, seus produtos de decomposição parcial e a biomassa do solo. Nesse termo, incluem-se os materiais de alta massa molar como polissacarídios e proteínas, substâncias comparativamente mais simples, como os açúcares, aminoácidos e outras substâncias de menor massa molar, e as substâncias húmicas.

Sua presença caracteriza os solos de boa fertilidade, aos quais proporciona uma estruturação favorável à vida das plantas. É, praticamente, a principal fonte de nitrogênio para as plantas sendo, ainda, fornecedora de elementos como o fósforo e o enxofre, bem como de vários micronutrientes. Assim, a MO melhora a aeração, a retenção de umidade e a proteção do solo. (REZENDE,2005)

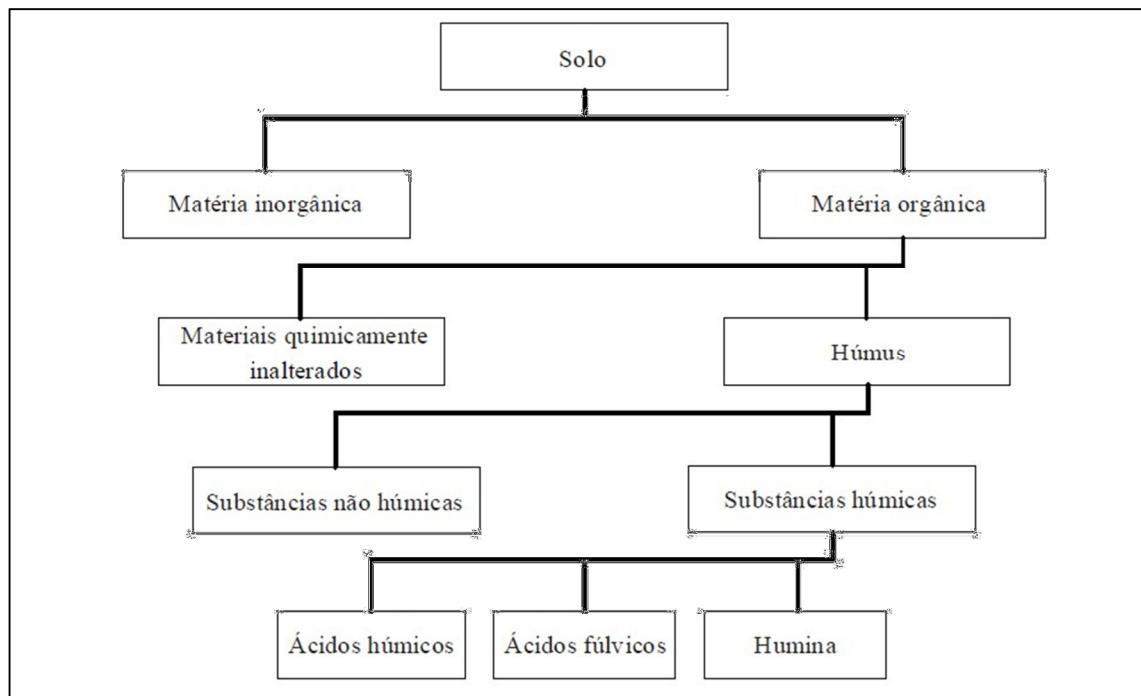


Figura 1. Composição química do solo

### 3.3.5. Substâncias húmicas

De todos os componentes do solo, a matéria orgânica é, sem dúvida, um dos principais constituintes. Em geral, a fração orgânica do solo tem um papel fundamental nas regulagens dos processos químicos que ali ocorre; influi sobre as características físicas e é o centro de quase todas as atividades biológicas, incluindo fauna, flora e sistemas de raízes de plantas superiores (ALLISON, 1982 apud COTTA, 2008 pg 116).

A matéria orgânica pode ser dividida em substâncias húmicas e substâncias não húmicas. As substâncias não húmicas apresentam características bem definidas.

Esses compostos são mais facilmente degradados por microorganismos possuindo, portanto, curto tempo de vida no ambiente.

As substâncias húmicas, no entanto, não apresentam características químicas e físicas bem definidas (tais como: ponto de fusão, índice de refração, composição elementar e etc). As substâncias húmicas que se constituem de ácido húmico, ácido fúlvico e humina pertencem a um grupo heterogêneo de compostos originários da degradação química e biológica de resíduos de plantas e da atividade metabólica de microorganismos. (STEVENSON, 1994, apud COTTA, 2008, pg 117).

Atualmente, a definição mais aceita é de que substâncias húmicas são biopolímeros, possuindo alto poder de interagir com íons metálicos e moléculas orgânicas de baixa massa molar. (MESSIAS, 2004)

Suas propriedades físico-químicas estão relacionadas à conservação do solo, transporte e biodisponibilidade de metais, interação com pesticida e etc. (MITCHELL, 1997, apud COTTA, 2008, pg 117).

As Substâncias Húmicas (SH) desempenham um papel importante no ambiente devido a várias características. Uma delas é ajudar na germinação de sementes, pois, graças à coloração tipicamente escura que possuem, aumentam a retenção de calor pelo solo. Devido à alta capacidade de retenção de água, até vinte vezes a sua massa, as SH evitam o escoamento, protegendo, assim, o solo contra a erosão.

Ao combinarem-se com argilas, cimentam partículas do solo em agregados e permitem a troca de gases, aumentando a permeabilidade do mesmo. Estudos dos efeitos das SH no crescimento das plantas, sob condições de nutrição mineral adequada, mostraram efeitos positivos na biomassa vegetal. O estímulo ao crescimento das raízes é, geralmente, mais aparente que o estímulo ao crescimento de brotos. (REZENDE, 2005)

## 4. Metodologia

### 4.1. Limpeza do material a ser utilizado

Toda vidraria utilizada foi imersa em solução de detergente Extran alcalino por 24 horas e enxaguada sucessivamente, seis vezes em água corrente e três vezes em água destilada. A secagem foi feita em estufa (exceto material volumétrico).

### 4.2. Tratamento estatístico dos dados

Foram avaliados os dados da eficiência do processo de vermicompostagem a partir da determinação do desvio padrão (S) e desvio padrão relativo (s) através das equações 1 e 2:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

$$s = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

s = desvio padrão relativo

S = desvio padrão

X = valor medido

$\bar{x}$  = média dos valores medidos

### 4.3. Preparação das caixas

O experimento foi desenvolvido na Estância Santa Isabel no município de São Carlos, estado de São Paulo, na rodovia SP215, Km 140.

Para realização do experimento foram montadas 03 caixas de compensado, denominadas leiras de vermicompostagem, de dimensões 70x70x70 cm.

Antes de serem transferidos para as caixas, o resíduo em estudo e o esterco bovino foram homogeneizados em pilhas, com auxílio de enxada

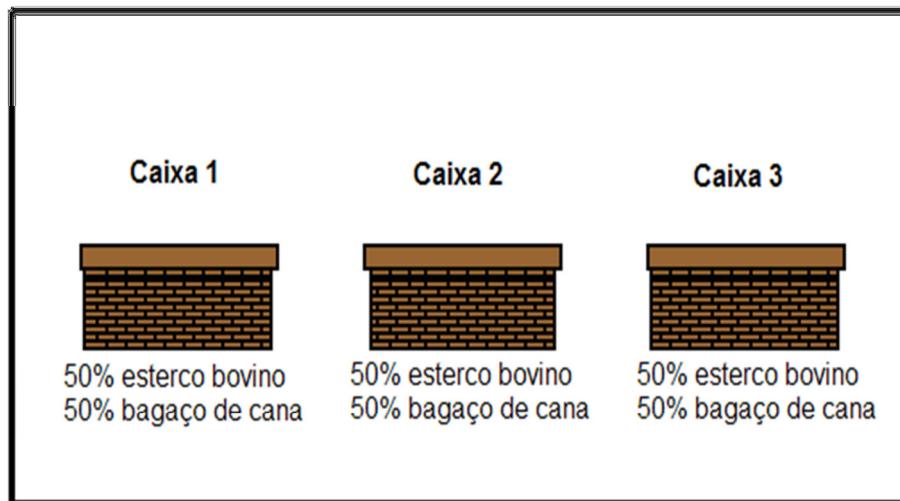


Figura 2 - Composição das caixas de compostagem

Na mistura foram introduzidos aproximadamente 500 minhocas da espécie *Eisenia foetida*. Nas caixas foi acondicionado o composto mantendo-se a umidade entre 40 e 60% e a temperatura entre 20 e 30°C com a finalidade de garantir que o processo de compostagem não aja em conjunto com a vermicompostagem.

O material fibroso do bagaço de cana foi utilizado na proporção 1:1 (m/m) com esterco para facilitar a produção de coprólitos. As caixas foram cobertas com palha para favorecer as condições propícias ao meio, como por exemplo, dificultar a entrada de luz, pois as minhocas são fotossensíveis e os compostos poderiam degradar-se através da luz ultravioleta. (COTTA, 2008)

#### 4.4. Escolha da minhoca - *Eisenia foetida*

Nos experimentos foi utilizada a minhoca *Eisenia Foetida* em função de sua habilidade em converter resíduos orgânicos pouco decompostos em material

estabilizado, bem como pela preferência por ambientes com elevado conteúdo de matéria orgânica, extraordinária capacidade reprodutiva e rápido crescimento.

Dentre mais de 3000 espécies conhecidas no mundo esta é a mais utilizada na vermicompostagem pelo fato de sua ampla distribuição, pela larga faixa de tolerância à variação de temperatura, por viver em resíduos orgânicos com diferentes graus de umidade e por ser bastante resistente ao manuseio. (PEREIRA et al. 2005)

#### **4.5. Coleta de amostras**

Foram realizadas 7 coletas, sendo a primeira antes da inoculação das minhocas. As coletas subsequentes tiveram um intervalo de 15 dias cada, coletando-se três amostragens em diferentes pontos das caixas.

As amostras foram armazenadas em refrigerador a 4°C para posteriormente serem analisados o pH, a matéria orgânica total, o carbono total, a umidade, o teor de ácidos húmicos e fúlvicos, o nitrogênio total, o fósforo, a capacidade de troca catiônica (CTC) e a relação C/N. De acordo com COTTA (2008), estas análises são essenciais para verificar o grau de nutrientes e fonte de carbono para as minhocas durante o experimento, além de mudanças nas condições físicas e químicas durante a vermicompostagem.

#### **4.6. Características físico químicas**

##### **4.6.1. pH**

A amostra seca em estufa à aproximadamente 50°C por 24h é triturada e peneirada em malha de 250 mm de diâmetro para remover as impurezas. Para a determinação do pH, 5g da amostra foi dissolvida em solução aquosa de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, com agitação ocasional por 30 minutos, tendo, então, o pH determinado. (CLAESSEN,1997)

#### 4.6.2. Teor de Matéria Orgânica

Das amostras foram retiradas alíquotas que foram trituradas em almofariz e pistilo e peneiradas em malha de 250µm para homogeneização das partículas. Pesaram-se 10g da amostra seca a 50 °C que foi submetida a 550°C por 4 horas em mufla e resfriadas em dessecador. Usando a mufla, queima-se o material orgânico, restando o inorgânico e por diferença de massa determina-se o teor de matéria orgânica nas amostras através da equação 3:

$$\%MO = \left( \frac{p_s - p_m}{p_s} \right) \cdot 100$$

Onde:

%MO = porcentagem de matéria orgânica

P<sub>s</sub> = Massa (em grama) inicial

P<sub>m</sub> = Massa (em gramas) após ser submetida à combustão

#### 4.6.3. Determinação da umidade

Para determinar a umidade, 10g da amostra foram levadas à estufa por 12 horas a 60 - 65 °C e mais 12 horas a 105 - 110°C. Após esse tempo, deixou-se esfriar até temperatura ambiente em dessecador, determinando-se a umidade pela equação 4:

$$U = \left( \frac{m_o - m}{m_o} \right) \cdot 100$$

Onde:

U = umidade

M<sub>o</sub> = Massa inicial da amostra (g)

M = Massa da amostra seca (g)

#### **4.6.4. Determinação da capacidade de troca catiônica (CTC)**

Foram pesados 2,50 g de amostra seca as quais adicionaram-se 25 mL de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  a 1,00 mol<sup>-1</sup>. A mistura foi levada à agitação orbital por 1 hora e, então, foi determinado pH da suspensão assim como pH da solução do ácido acético.

Para os cálculos dos cátions metálicos totais trocáveis da amostras foi usada a equação 5: (JACKSON, 1967, apud SILVA, 2008)

$$CTC = (pH_1 - pH_2) \cdot 22$$

Onde:

$pH_1$  = pH da suspensão

$pH_2$  = pH da solução de ácido acético

22 = constante logarítmica

#### **4.6.5. Determinação do carbono orgânico total**

O carbono total é determinado pela oxidação do carbono orgânico e inorgânico da amostra a  $\text{CO}_2$ , devido ao aumento de temperatura à 900°C. A concentração de dióxido de carbono pode, entre outros métodos, ser medida diretamente por espectrometria de infravermelho. De acordo com REEVE (1994), a análise através de TOC possui as seguintes vantagens: É uma técnica rápida; é altamente reproduzível; pode ser facilmente automatizada; entre outras.

As determinações do teor de carbono foram feitas em um aparelho TOC – V<sub>CPH</sub> Shimadzu, acoplado a um modulo para amostras sólidas SSM – 5000A Shimadzu. Na construção das curvas analíticas foi utilizado como padrão o biftalato de potássio para determinação do carbono total.

Para cada determinação forma pesadas 100 mg de amostra seca e triturada. Para avaliação do carbono total, a amostra foi introduzida no tubo de combustão e oxidada cataliticamente a uma temperatura de 680°C, sendo os componentes do carbono total convertidos a dióxido de carbono e determinados por infravermelho. O detector transfere o sinal na forma de um pico que é proporcional à concentração de

carbono total presente na amostra. A calibração é feita usando padrão de carbono na forma de sacarose, construindo-se curvas de calibração.

#### 4.6.6. Razão CTC/C

Foi obtida pela razão numérica entre os valores encontrados da capacidade de troca catiônica,  $Mmolc\ Kg^{-1}$ , e o carbono orgânico total, em % mássica.

#### 4.6.7. Determinação do nitrogênio e fósforo (N e P)

A uma amostra de seca e macerada de 0,5g adicionou-se 15 mL de  $H_2SO_4$ . A mistura foi levada ao bloco digestor onde a temperatura foi elevada de 50 em 50 °C até atingir 300°C. Após 15 minutos, foram adicionados 2 mL ou mais caso necessário, de  $H_2O_2$ , até que se obtivesse uma solução incolor.

A solução esfriou a temperatura ambiente e então foi diluída para um volume de 100 mL. A determinação do nitrogênio e do fósforo foi realizada via espectrômetro Hach. O nitrogênio foi determinado pelo método 399 (Nitrogênio total ou Kjeldahl-NKT) utilizando-se a fórmula:

$$ppm_{NKT} = \frac{75 \cdot A}{B \cdot C}$$

Onde:

A = leitura do aparelho em mg/L

B = amostra utilizada na digestão em g

C = Volume da amostra digerida (mg)

Na determinação do fósforo foi utilizado o método 480 e o a fórmula utilizada para o cálculo foi:

$$\frac{P \left( \frac{mg}{l} \right)}{L} = \frac{Po}{V} \cdot 100$$

Onde:

$P$  = fósforo em mg/L

$P_0$  = mg de fósforo em 25 mL do volume final

$V$  = volume da amostra

#### 4.6.8. Razão C/N

A razão C/N é o indicativo do grau de maturação dos vermicompostos. É a razão atômica da divisão dos resultados em porcentagem mássica obtidos para o carbono orgânico total e o nitrogênio Kjeldahl.

#### 4.6.9. Determinação quantitativa dos ácidos húmicos e fúlvicos

Segundo Cotta (2008) as substâncias húmicas são usualmente fracionadas com base nas suas solubilidades em meio aquoso. As frações obtidas por esses meios incluem:

- *Ácidos fúlvicos* – Fração solúvel em meios alcalino e ácido.
- *Ácidos Húmicos* – Fração solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido ( $pH < 2$ )
- *Humina* – Fração insolúvel em qualquer condição de pH

Cada uma dessas frações é apresentada como uma mistura heterogênea e complexa, geralmente com estruturas irregulares e com uma grande variedade de massas molares.

Percentual de material húmico extraído é maior quando se aumenta o pH do extrator e a temperatura de extração. Portanto, o pH e a concentração iônica apresentam-se como variáveis de grande importância. Pois alteram a estrutura macromolecular e a solubilidade das substâncias húmicas.

A extração dos ácidos húmicos e fulvicos foi realizada de acordo com a metodologia convencional sugerida pela sociedade internacional de substâncias húmicas.

### ***Extração dos ácidos húmicos***

Em um Becker adicionou-se 1 litro de solução de HCl  $1\text{ mol}^{-1}$  a 100g de amostra seca. A suspensão foi agitada por 1 hora e em seguida removeu-se o sobrenadante por sufonação. Adicionou-se ao resíduo 1 litro de solução NaOH  $0,1\text{ mol}^{-1}$  e agitou-se a mistura por quatro horas seguida de centrifugação a 7500 RPM por 20 minutos. Após esse processo a mistura foi acidificada com uma solução de HCl  $6\text{ mol}^{-1}$  até pH em torno de 1.

O precipitado resultante é o acido húmico que foi separado da fração solúvel o ácido fúlvico por nova centrifugação a 7500 RPM durante 20 minutos. Ao ácido húmico foram adicionadas cerca de 250 mL de solução composta de HCl  $0,1\text{ mol}^{-1}$  deixando em agitação por quatro horas e em repouso por no mínimo 24 horas.

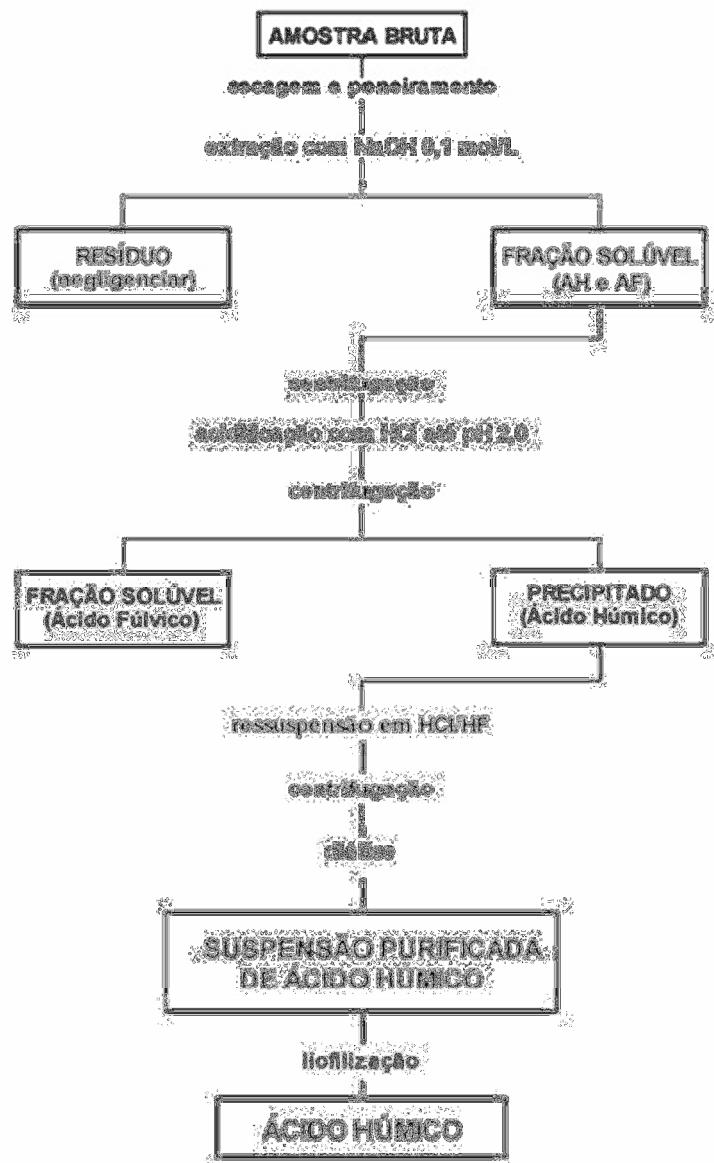


Figura 3 - Fluxograma ilustrativo do processo de extração de ácido húmico.

### ***Purificação dos ácidos húmicos***

O ácido húmico obtido foi transferido pra uma membrana de diálise da marca Spectrapor com 65 cm de comprimento por 50mm de largura, essa membrana ficou em um recipiente plástico com água destilada e desionizada sobre agitação constante por aproximadamente 5 dias. Os ácidos húmicos foram então liofilizados, pesados e mantidos em dessecador para posterior análise.

### ***Purificação dos ácidos fúlvicos***

Primeiramente o ácido fúlvico foi eluído em resina e lavado com água destilada e em seguida em coluna com  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol}^{\text{L}}$ . Os ácidos fúlvicos foram liofilizados, pesados e mantidos em dessecador até análise.

## 5. Resultados e discussão

### 5.1. pH

A tabela 01 e a figura 04 apresentam a variação do pH durante a Vermicompostagem:

Coletas	pH	s
1	8,64	0,01
2	8,22	0,06
3	8,36	0,03
4	8,12	0,02
5	7,68	0,02
6	7,59	0,02
7	7,49	0,03

Tabela 1 - Variação do pH durante o processo de vermicompostagem

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.

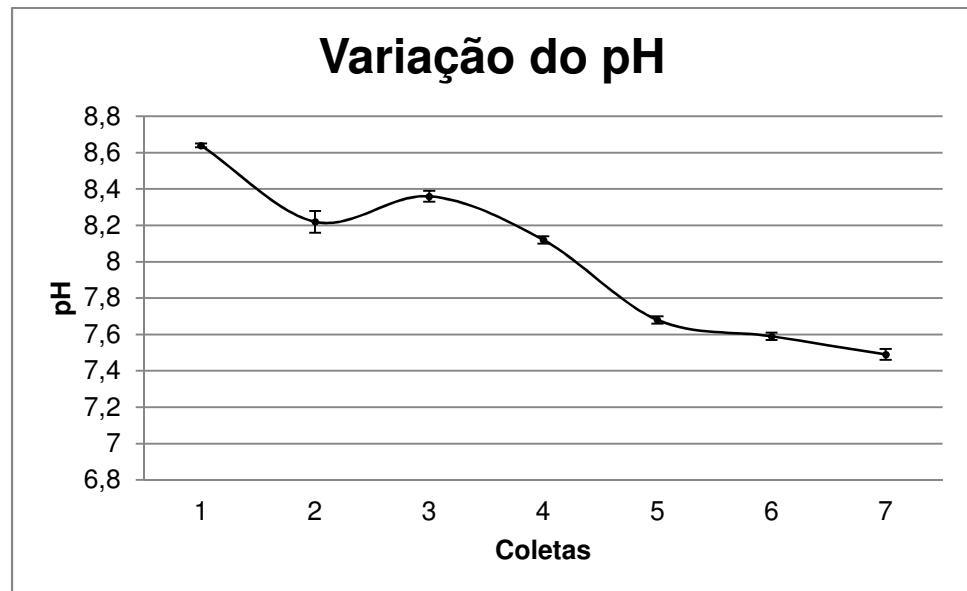


Figura 4 - Variação no pH durante o processo de vermicompostagem.

Observa-se pela figura 04 uma diminuição de pH na variação dos valores dos dados, tendendo-se ao pH próximo a neutralidade (pH=7), Albanell atribui a diminuição do pH à produção de CO<sub>2</sub> e de ácido orgânico por atividade microbial presente durante o processo de vermicompostagem. (COTTA, 2008).

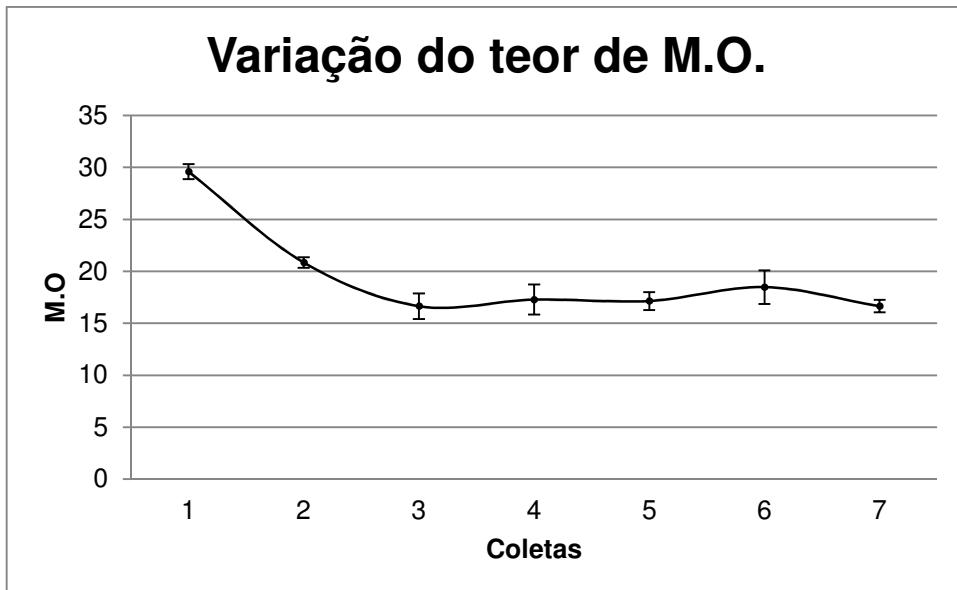
## 5.2. Teor de Matéria Orgânica

A tabela 02 e a figura 05 apresentam a variação do teor de matéria orgânica durante a Vermicompostagem:

Coletas	M.O.	s
1	29,6	0,73
2	20,85	0,52
3	16,65	1,23
4	17,29	1,44
5	17,15	0,86
6	18,48	1,63
7	16,65	0,60

**Tabela 2 - Variação do teor de matéria orgânica (% mássica) durante o processo da vermicompostagem.**

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.



**Figura 5- Variação do teor de Matéria Orgânica durante o processo de vermicompostagem.**

Percebe-se pela análise dos dados que há uma diminuição do teor de matéria orgânica ao longo do processo da vermicompostagem. Isso se deve ao consumo de matéria orgânica devido à alimentação das minhocas que utilizam parte da matéria orgânica existente no vermicomposto para seu desenvolvimento e à mineralização do carbono orgânico para  $\text{CO}_2$ . Essa mineralização está ligada não só ao trabalho realizado pelas minhocas como também a uma ação conjunta dos microorganismos contidos no meio.

A diminuição da matéria orgânica é uma maneira de se acompanhar a marcha de decomposição.

### 5.3. Teor de Umidade

A tabela 03 e a figura 06 apresentam a variação do teor de Umidade durante a Vermicompostagem:

Coletas	Umidade	s
1	41,05	0,43
2	66,27	0,78
3	70,81	0,58
4	67,59	0,67
5	68,19	0,95
6	60,88	1,21
7	66,25	0,67

Tabela 3 - Variação do teor de matéria orgânica (% mássica) durante o processo da vermicompostagem.

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.

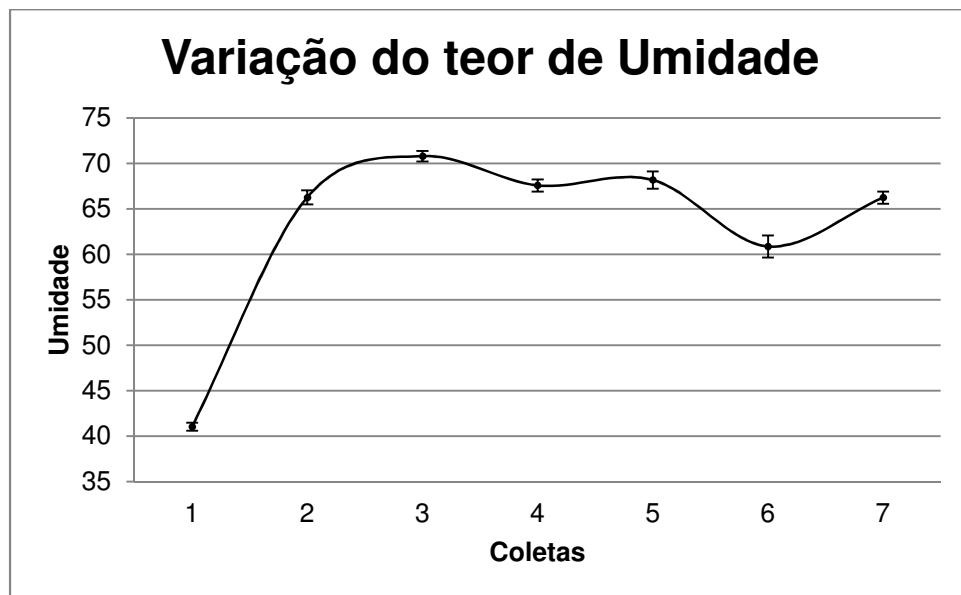


Figura 6 - Variação do teor de Umidade durante o processo de vermicompostagem.

Observando-se os dados da tabela 03 e da figura 06, nota-se que houve um aumento brusco do teor de umidade entre a primeira e a segunda coleta e que esse parâmetro se manteve elevado durante o restante do período observado. Uma possível explicação para este fato é um ineficiente isolamento das caixas, que ficaram susceptíveis à umidade consequente do elevado índice pluviométrico do verão, período em que foi realizado o experimento.

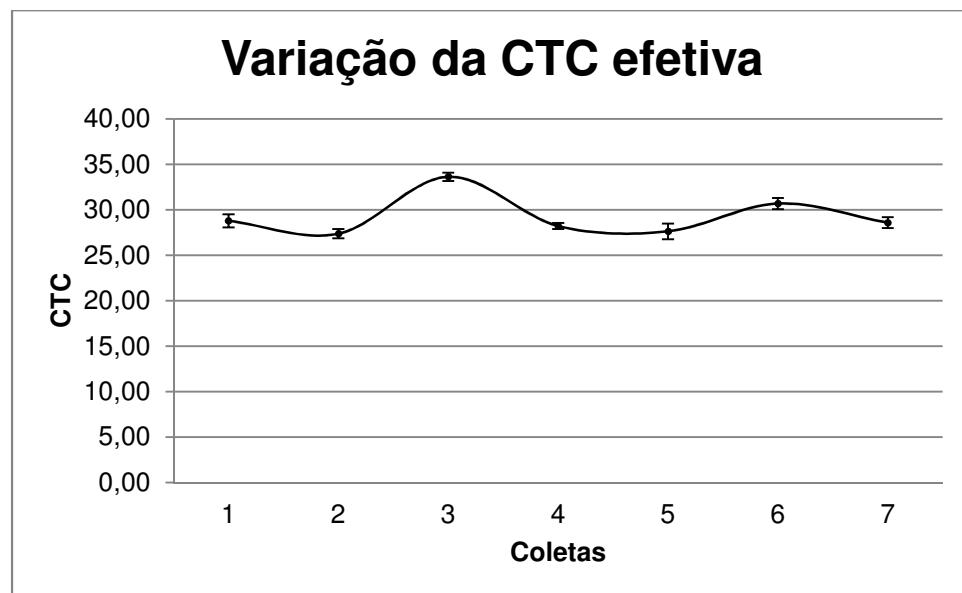
#### 5.4. Variação da CTC efetiva durante a vermicompostagem

A tabela 04 e a figura 07 apresentam a variação da CTC efetiva durante a Vermicompostagem:

Coletas	CTC	s
1	28,80	0,73
2	27,38	0,52
3	33,64	0,45
4	28,23	0,33
5	27,64	0,86
6	30,70	0,61
7	28,59	0,60

**Tabela 4- Variação da CTC efetiva (Cmolc Kg-1) durante o processo da vermicompostagem.**

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.



**Figura 7 - Variação do teor de Umidade durante o processo de vermicompostagem.**

A CTC tem sua origem nas cargas negativas oriundas dos grupos carboxílicos e fenólicos (COTTA, 2008). Tais grupos apresentam um átomo de hidrogênio

ionizável ligado ao oxigênio, sendo o grau de ionizáveis dependentes do pH do meio (REZENDE, 1999).

Essa relação pode ser observada pela análise dos dados, que demonstram uma variação maior com o aumento da CTC na coleta 3, assim como no pH. Nas coletas subsequentes pode-se observar uma leve diminuição desses valores e posteriormente a sua estabilização, em conformidade com a variação do pH, como pode ser visualizado na figura 08:

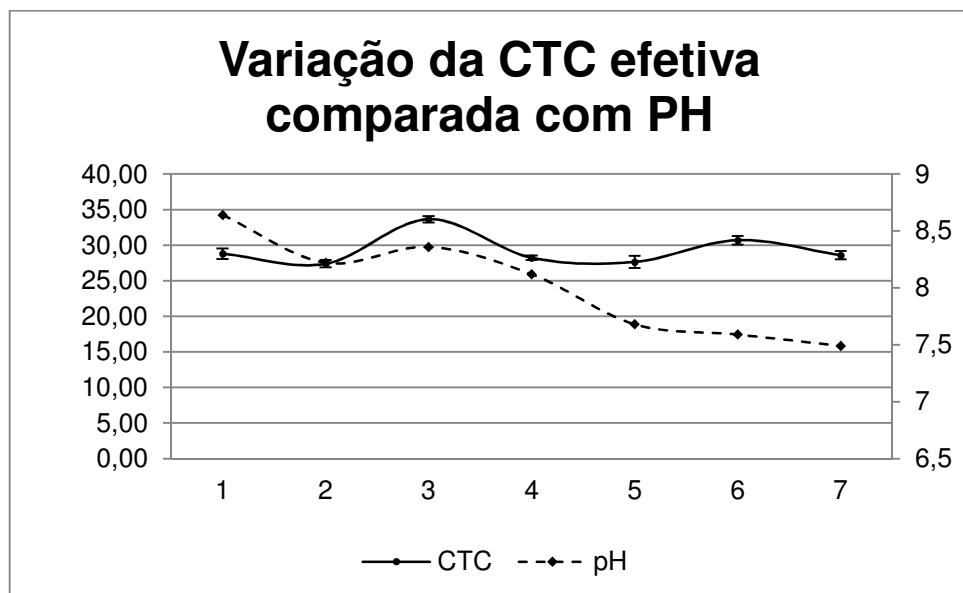


Figura 8 - Comparação da variação da CTC efetiva com a variação de pH

Estando a CTC relacionada à concentração de grupos ácidos e sendo esses grupos menos presentes, era de se esperar pouca variação na CTC.

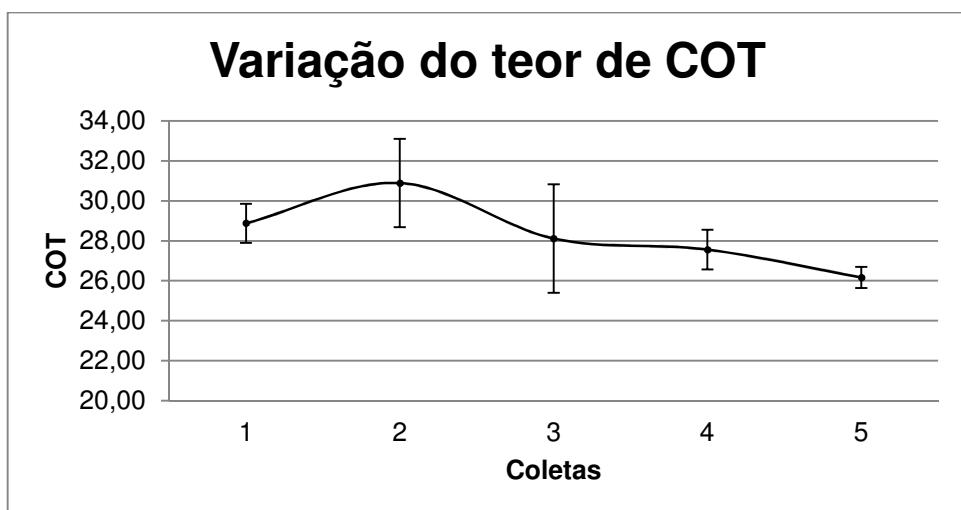
### 5.5. Teor de carbono orgânico total

A tabela 05 e a figura 09 apresentam a variação do COT durante a Vermicompostagem:

Coletas	COT	s
1	28,88	0,98
2	30,89	2,22
3	28,11	2,72
4	27,56	0,99
5	26,17	0,53

**Tabela 5- Variação da COT (% mássica) durante o processo da vermicompostagem.**

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.



**Figura 9 - Curva de remoção do carbono orgânico total (% mássica) durante o processo de vermicompostagem.**

Os dados apresentados acima são de 05 coletas, pois a coleta dos dados deste parâmetro, assim como de Nitrogênio e Fósforo, apesar de serem do mesmo vermicomposto e realizadas no mesmo período, foi feita por Paulo Roberto das Dores da Silva, companheiro de laboratório.

Analizando a tabela 05, nota-se que a porcentagem de carbono orgânico total diminui ao longo do processo de vermicompostagem. Isto ocorreu pois durante a vermicompostagem as minhocas fixam parte do carbono para seu desenvolvimento e outra parte é transformada em  $\text{CO}_2$  que se dissipa para o meio externo.

A redução nos valores, tanto de matéria orgânica como de carbono orgânico total, indicam a ocorrência de mineralização, processo que ocorre devido a ação conjunta das minhocas e dos microorganismos existente no vermicomposto.

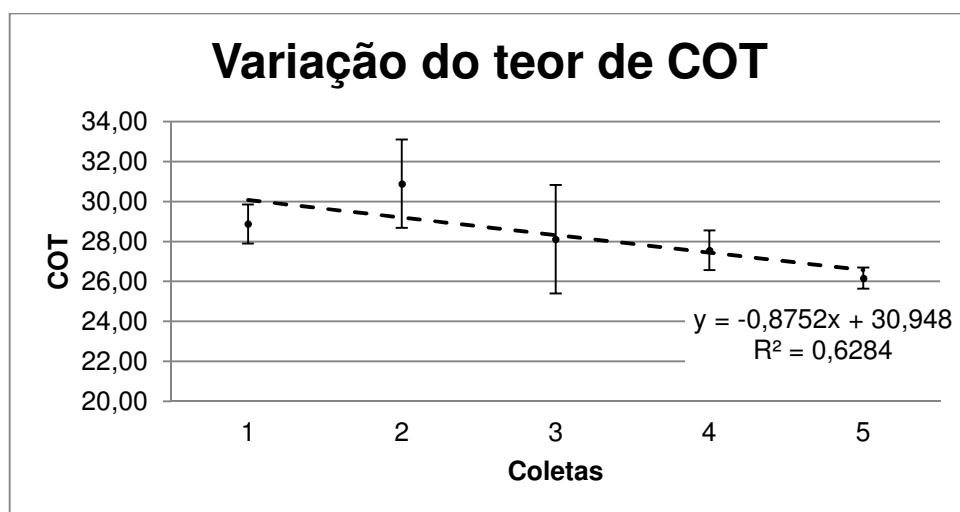
### 5.5.1. Cinética de remoção de COT

De acordo com FEBRER (2002), embora a decomposição envolva uma série de processos complexos, esta pode ser descrita pela cinética das reações.

Alguns pesquisadores têm mostrado que a decomposição do material orgânico é caracterizada pela cinética de ordem 1 (Hadas e Portnoy, 1997; Vlyssides et al, 1998, apud SILVA, 2008), em que a taxa de decomposição do vermicomposto é proporcional a quantidade de vermicomposto.

Através do gráfico das variações das porcentagens de carbono orgânico total (figura 08), representado por um modelo não linear do tipo exponencial simples, pode-se construir um gráfico linear onde a tangente da reta é numericamente igual a constante de decomposição, sendo possível, conhecendo-se a porcentagem de COT inicial, achar a equação para a reta de decomposição.

A figura 10 apresenta a linearização da variação do COT durante a Vermicompostagem:



**Figura 10 - Reta relativa a linearização a equação linear da remoção do vermicomposto pelo tempo.**

Os resultados encontrados nas curvas de porcentagem de carbono orgânico total indicam que a taxa de decomposição foi maior na fase inicial de degradação dos materiais orgânico e decresceu com o tempo. A diminuição da concentração de COT foi devida, como explicado anteriormente, principalmente ao processo de crescimento e respiração das minhocas.

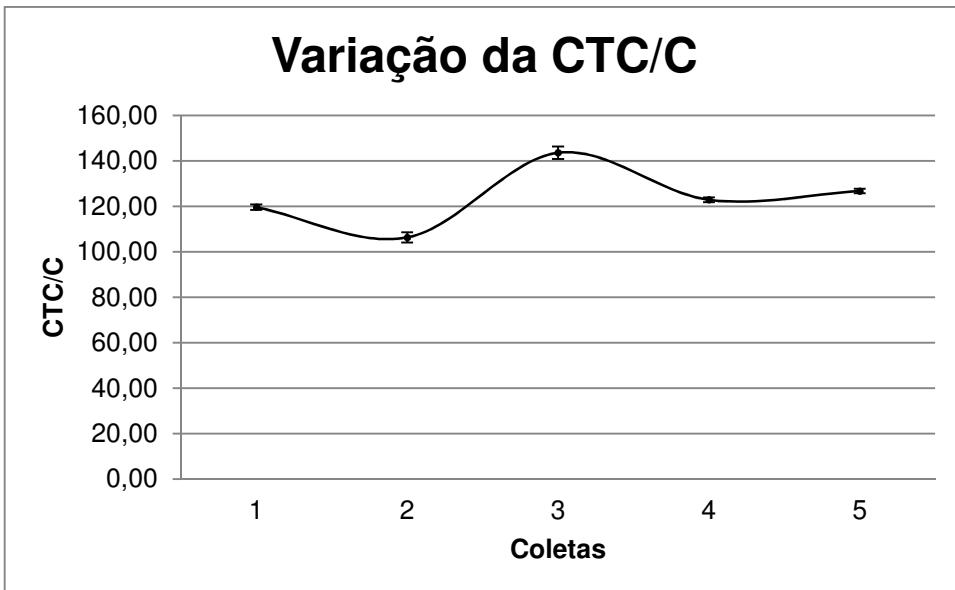
## 5.6. Determinação dos valores da CTC/C

A tabela 06 e a figura 11 apresentam a variação de CTC em relação a concentração de carbono:

Coletas	CTC/C	s
1	119,69	1,22
2	106,35	2,28
3	143,59	2,76
4	122,92	1,04
5	126,76	1,01

**Tabela 6- Variação da CTC (Mmolc Kg-1) pelo carbono total (%masssica) durante o processo da vermicompostagem.**

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.



**Figura 11 - Variação da CTC pelo carbono total durante o processo de vermicompostagem.**

Assim como a razão C/N, a relação CTC/C é um indicativo do grau de maturação e qualidade dos fertilizantes orgânicos. A vantagem da utilização da CTC é que, além de qualificar o material orgânico, esse parâmetro traz informações sobre a melhoria que esses produtos podem proporcionar ao serem incorporados ao solo.

A relação CTC/C é considerada como um índice indicativo do grau de humificação do material estudado (ROIGE et al. 1998). Observa-se que os valores encontrados são altos, demonstrando a grande capacidade fertilizante que tal vermicomposto possui.

### **5.7. Determinação do nitrogênio e fósforo (N e P)**

A tabela 07 e 08 e as figuras 12 e 13 apresentam a variação de Nitrogênio e Fósforo, respectivamente, durante a Vermicompostagem:

Coletas	N	s
1	0,68	0,12
2	0,67	0,11
3	0,77	0,07
4	0,88	0,09

5 0,94 0,03

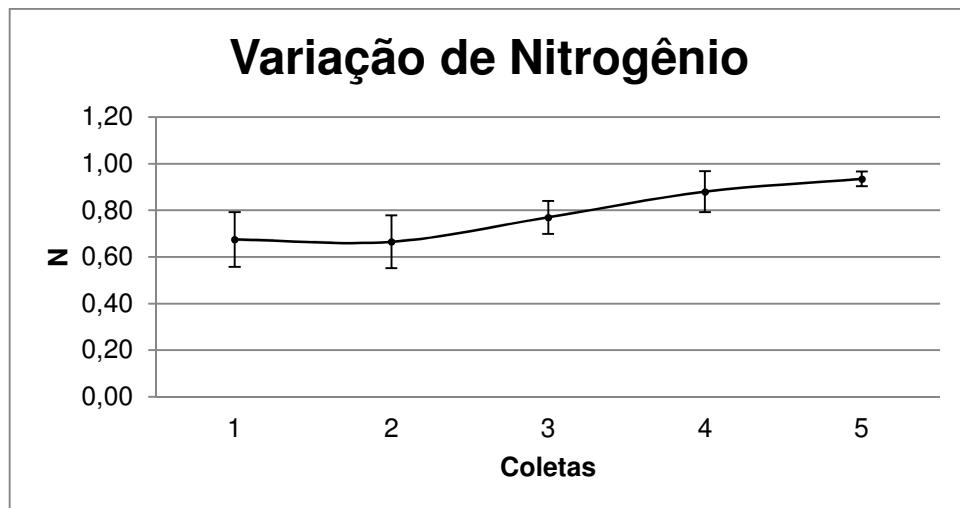
**Tabela 7- Variação da concentração de Nitrogênio (% mássica) durante o processo da vermicompostagem.**

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.

Coletas	MO	s
1	0,73	0,09
2	0,83	0,27
3	1,05	0,26
4	1,35	0,10
5	1,36	0,12

**Tabela 8 - Variação da variação da concentração de Fósforo (% mássica) durante o processo da vermicompostagem.**

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.



**Figura 12- Variação da concentração de Nitrogênio durante o processo de vermicompostagem.**

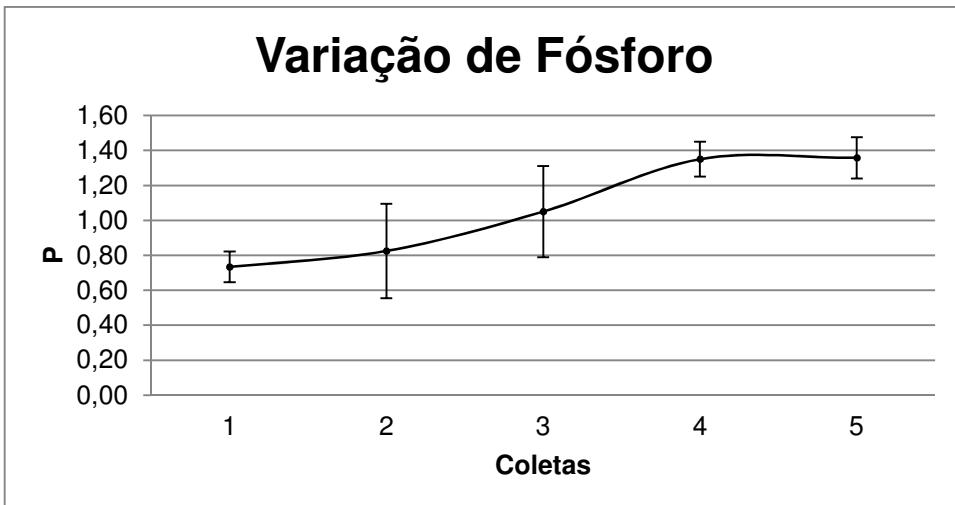


Figura 13 - Variação da concentração de fósforo durante o processo de vermicompostagem.

Como se pode observar, as quantidades de Nitrogênio Kjeldahl total e de fósforo aumentaram durante o processo de vermicompostagem. O aumento da concentração do nitrogênio foi de aproximadamente 39% e do fósforo de aproximadamente 85%.

O aumento da concentração de nutrientes e minerais, como nitrogênio e fósforo, indica uma intensificação da capacidade fertilizante do vermicomposto, uma vez que são nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Segundo Atiyeh (2001), esse aumento na concentração do fósforo e do nitrogênio está diretamente relacionado com a mineralização da matéria orgânica pelas minhocas.

## 5.8. Razão C/N

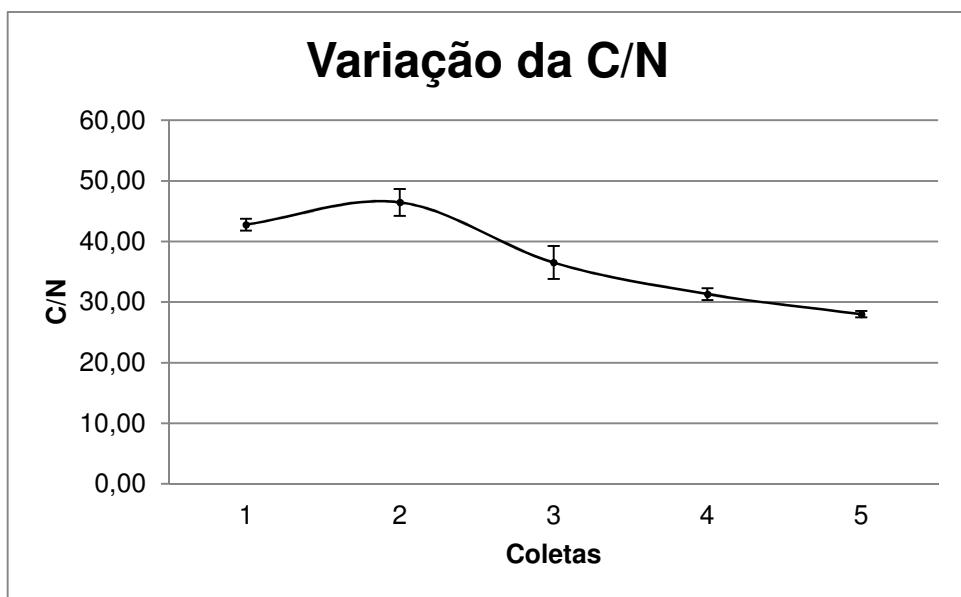
A tabela 09 e a figura 14 mostram a relação de carbono total por Nitrogênio:

Coletas	C/N	s
1	42,78	0,98
2	46,46	2,22
3	36,51	2,72

4	31,32	0,99
5	27,99	0,53

**Tabela 9 - Variação do Carbono por Nitrogênio durante o processo da vermicompostagem.**

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.



**Figura 14 - Variação do carbono total pelo Nitrogênio total durante o processo de vermicompostagem.**

A aceleração no processo de humificação promovido pelas minhocas durante a vermicompostagem promove uma diminuição na Razão C/N. Isto se deve à diminuição da porcentagem de COT e ao aumento na quantidade de nitrogênio Kjeldahl total durante o processo.

## 5.9. Determinação quantitativa dos ácidos Húmicos e Fúlvicos

A tabela 10 e as figuras 15 e 16 mostram a concentração de ácido húmico e fulvico no composto. A tabela 11 e as figuras 17 e 18 mostram o teor de ácidos húmicos e fulvicos por matéria orgânica em porcentagem:

Coletas	Ácidos Húmicos	s	Ácidos Fúlvinos	s
1	3,07	0,33	1,47	0,08
2	3,09	0,43	1,42	0,06
3	2,01	0,72	1,11	0,05
4	2,97	0,17	1,08	0,10
5	4,12	0,44	1,02	0,08
6	3,59	0,23	1,03	0,1
7	3,84	0,15	0,36	0,08

Tabela 10- Quantidade extraída de ácidos húmicos e fúlvinos.

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.

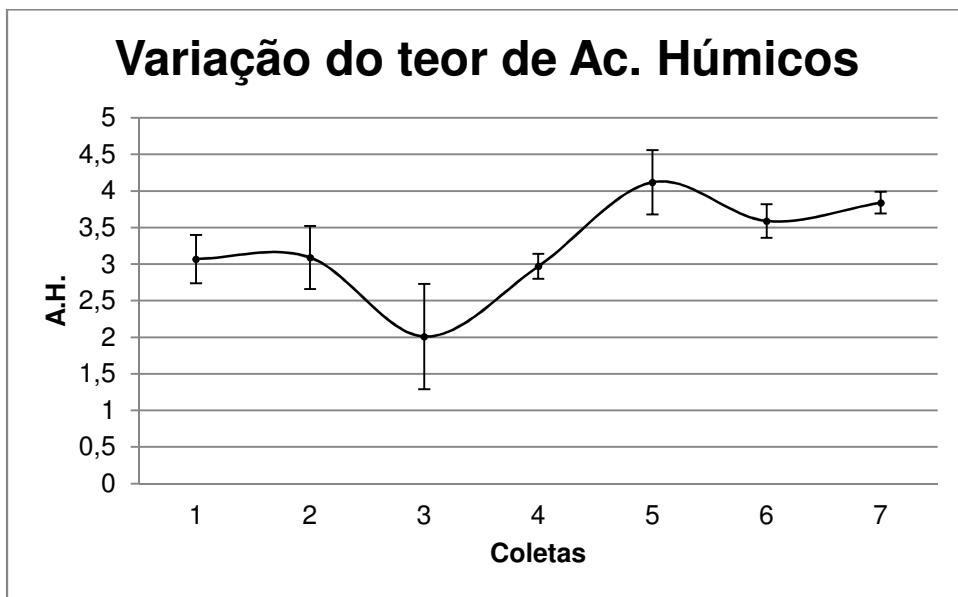
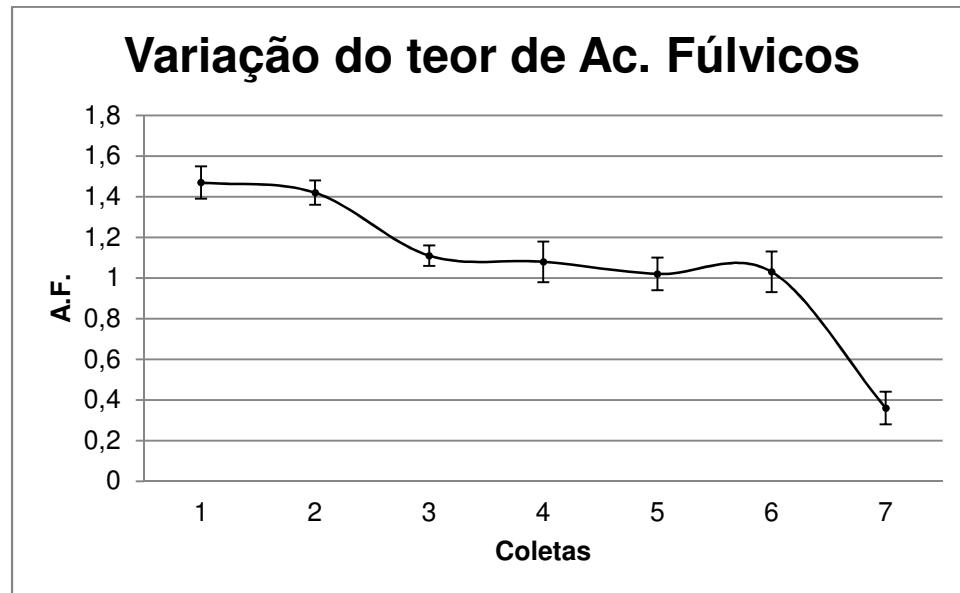


Figura 15 - Variação da quantidade extraída de ácidos húmicos.



**Figura 16 - Variação da quantidade extraída de ácidos fúlvicos.**

Coletas	Ác. Húmicos/M.O.	s	Ác. Fúlvicos/M.O.	s
1	10,37	0,80	4,97	0,73
2	14,82	0,67	6,81	0,52
3	12,07	1,43	6,67	1,23
4	17,18	1,45	6,25	1,44
5	24,02	0,97	5,95	0,86
6	19,43	1,65	5,57	1,63
7	23,06	0,62	2,16	0,61

**Tabela 11 - Quantidade extraída de ácidos húmicos e fúlvicos em relação ao teor de Matéria orgânica.**

\*Coleta dos experimentos realizada em triplicata.

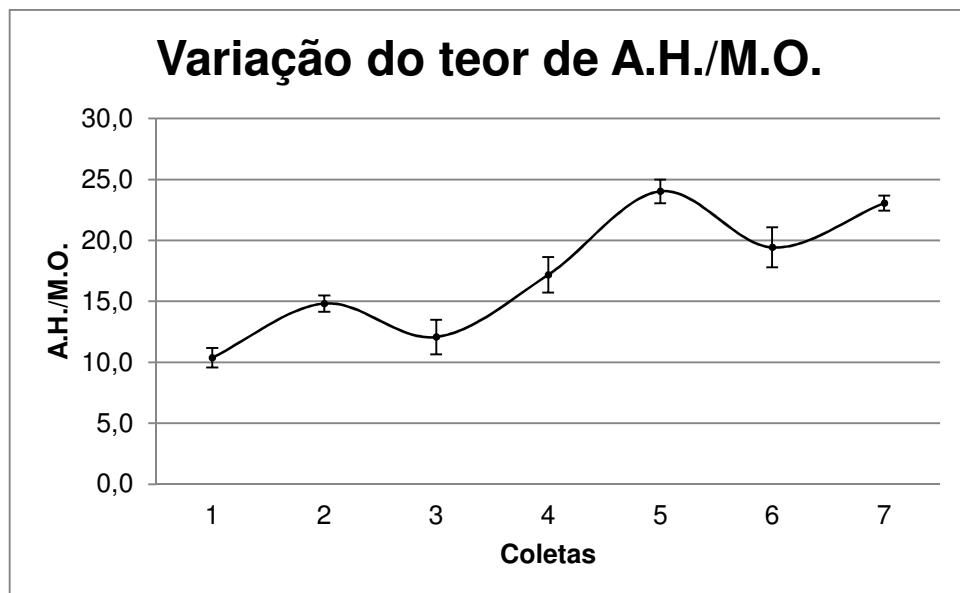


Figura 17 - Variação da quantidade extraída de ácidos húmicos em relação à matéria orgânica.

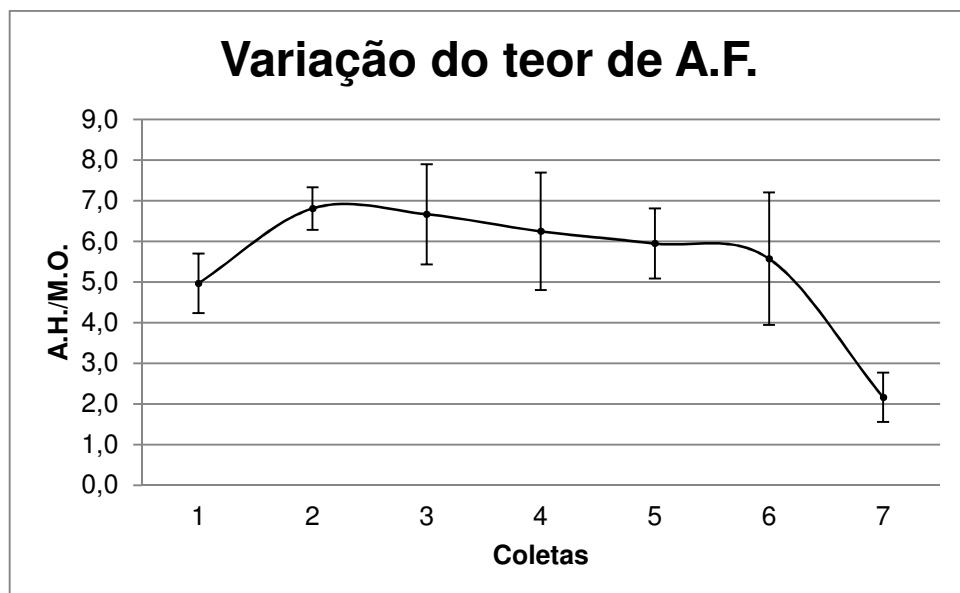


Figura 18 - Variação da quantidade extraída de ácidos fúlvicos em relação à matéria orgânica.

O teor de ácido húmico entre a primeira e a última coleta do período de vermicompostagem aumentou. A relação de ácido húmico pela matéria orgânica é

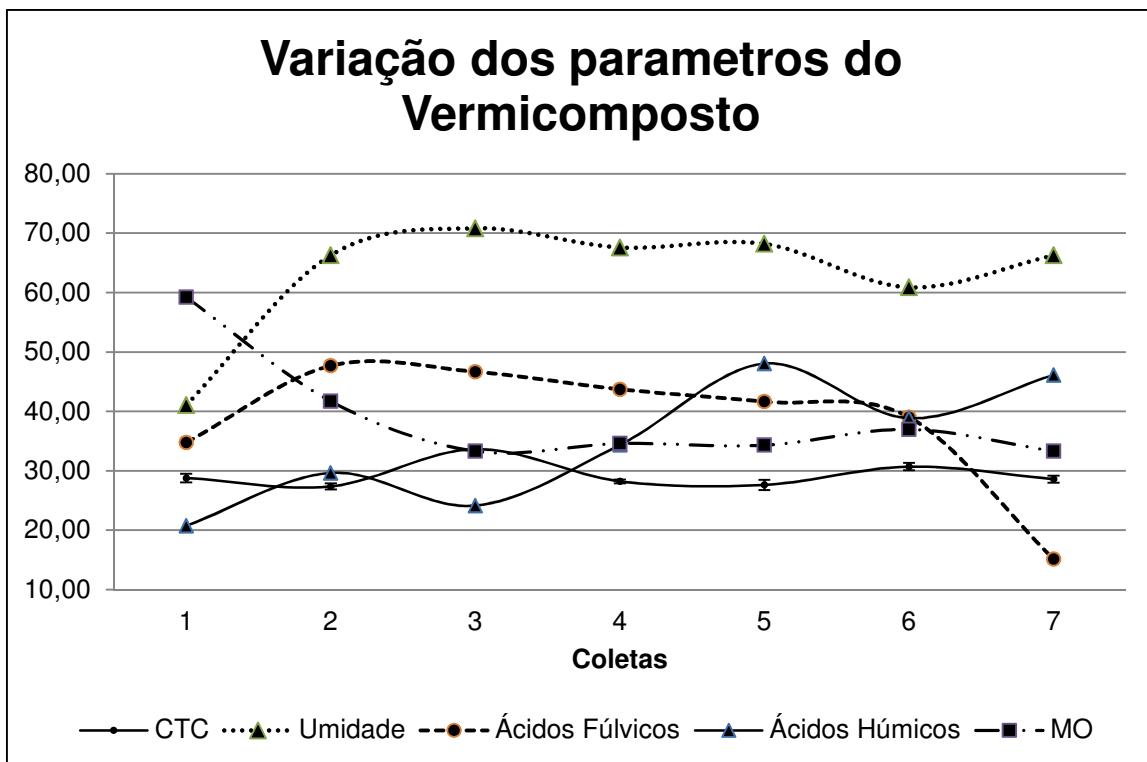
de 23,06 no fim do processo. Isto quer dizer que houve uma estabilização do material, o que é ótimo do ponto de vista agronômico.

As minhocas digerem os resíduos orgânicos dejetando excrementos com forma especial, constituído de agregados de terra e matéria orgânica digerida, os quais recebem o nome de coprólitos. Os coprólitos contêm nutrientes para as plantas em maior concentração que o solo onde se encontram devido ao metabolismo da minhoca. O material dejetado encontra-se em estado mais avançado de decomposição, sendo de assimilação mais fácil pelas raízes das plantas.

A ação conjunta dos microrganismos e das minhocas inicia uma rápida decomposição do material orgânico e há uma produção acelerada de ácidos húmicos, os quais aumentam com o tempo.

Para a quantidade de ácidos fúlvicos observa-se que este decresce com o processo de vermicompostagem, o que é esperado, uma vez que os ácidos fúlvicos são moléculas menores e mais facilmente degradáveis. Além disso, acredita-se que moléculas de ácido fúlvico dão origem a moléculas de ácidos húmicos.

A linha de todos os parâmetros está representada a seguir pelo gráfico 19, sem escala dimensional, para que possa ser analisada a tendência comportamento dos parâmetros do vermicomposto.



**Figura 19 - Tendência de comportamento dos parametros do Vermicomposto.**

## **6. Verificação do caráter fertilizante do vermicomposto produzido segundo os critérios do Ministério de Agricultura Pecuária e abastecimento (MAPA)**

O MAPA é responsável pela gestão das políticas públicas de estímulo agropecuário, pelo fomento do agronegócio e pela regularização normatização de serviços vinculados ao setor.

Segundo decreto N° 4954 de 2004 fertilizante é a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas. De acordo com o MAPA os fertilizantes orgânicos podem ser:

- Fertilizante orgânico simples – produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;

- Fertilizante orgânico misto – produto de natureza orgânica resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- Fertilizante orgânico composto – produto obtido por processo físico, químico, físico – químico ou bioquímico natural ou controlado a partir de matéria prima 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;
- Fertilizante organomineral – produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais ou orgânicos.

O vermicomposto resultante da digestão da matéria orgânica proveniente de estercos e restos vegetais pelas minhocas é considerado como um fertilizante orgânico composto.

Os fertilizantes orgânicos no entanto, de acordo com a instrução normativa nº 23 de 2005 art. 2, classificam-se como:

- Classe “A” – Fertilizante orgânico que em sua produção utiliza matéria prima de origem vegetal, animal ou de processamento da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo o sódio, metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos;
- Classe “B” – Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria onde o sódio, metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo;
- Classe “C” – Fertilizante orgânico que, em sua produção utiliza qualquer quantidade de matéria prima oriunda de lixo domiciliar resultando em produto de utilização segura na agricultura;
- Classe “D” – Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria prima oriunda do tratamento de

despejos sanitários resultando em produto de utilização segura na agricultura.

O MAPA define especificações e garantias mínimas para classe de fertilizante orgânico composto. De acordo com a descrição da IN nº23, nosso composto classifica-se na categoria A.

As especificações para essa classe estão representadas na tabela a seguir:

Garantias	Classe A
Humidade (máxima)	50
Nitrogênio Total (porcentagem mínima)	1
Carbono orgânico (mínimo)	15
pH (mínimo)	6
Relação C/N (máxima)	18
Relação CTC/C (mínima)	20

Tabela 12 - Especificação e garantias mínimas para fertilizante orgânico composto classe “A”.

Com exceção da umidade e do Nitrogênio, e consequentemente a razão C/N, o vermicomposto produzido atende às especificações legais, como pode ser observado pela tabela abaixo:

Garantias	Especificações	
	Classe A	Valores do Vermicomposto
Humidade (máxima)	50	<b><math>66,25 \pm 0,67</math></b>
Nitrogenio Total (porcentagem mínima)	1	$0,94 \pm 0,03$
Carbono orgânico (mínimo)	15	$26,17 \pm 0,53$
pH (mínimo)	6	$7,49 \pm 0,03$
Relação C/N (máxima)	18	<b><math>27,98 \pm 0,53</math></b>
Relação CTC/C (mínima)	20	$126,76 \pm 1,01$

Tabela 13 - Comparaçāo entre as especificação e garantias mínimas para fertilizante orgânico composto classe “A” do MAPA e o nosso vermicomposto.

Com relação à umidade, apesar dos valores estarem acima do permitido, trata-se um parâmetro de correção simples. Como explicado anteriormente, os valores apresentados ficaram um pouco acima do esperado devido às chuvas da época do ano e o não isolamento das caixas de vermicompostagem.

Os valores de nitrogênio estão abaixo dos apresentados em literatura e no limite da instrução normativa. Devido a esse baixo valor, a relação C/N tornou-se mais alta que a especificada pela norma. Entretanto dentro dos padrões esperados para a utilização de húmus de minhocas citados na literatura (REZENDE e ZOZOLOTTO, 2010).

Embora não estejam todos os padrões dentro do especificado, isso não indica que o vermicomposto não possa ser utilizado como fertilizante, já que esses parâmetros legislativos também divergem de valores apresentados em outras pesquisas.

## 7. Conclusão

Durante o processo de vermicompostagem percebe-se grande diferença nas características químicas e físicas do composto como, por exemplo, a diminuição no teor de matéria orgânica (%) um aumento na concentração de ácidos húmicos (%) e uma tendência a neutralização.

Embora o Vermicomposto produzido não atenda a todas as especificações do MAPA, os parâmetros fora dos padrões (Umidade e teor de nitrogênio Kjeldahl) são facilmente corrigíveis, como por exemplo, com o monitoramento e isolamento das caixas de intervenções externas sendo, portanto, possível o uso do bagaço de cana mais esterco como matriz para a produção de fertilizante orgânico.

De maneira geral, o fertilizante resultante do processo de vermicompostagem possui um alto potencial para ser utilizado na agricultura, sendo então um processo eficiente para destinação do resíduo de cana e ainda como substituto ao uso de fertilizantes químicos na agricultura.

## 8. Referências Bibliográficas

CAMARGO, O. A. (Ed) **Impacto Ambiental do uso agrícola do Lodo de Esgoto.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000 p. 163-178.

ROSSI, F., SHIMODA, E. **Criação de minhocas: manual.** Viçosa: CPT, 1996, p 28.

EDWARDS, C. A.; FLETCHER, K.E. **Interactions between earthworms and microorganisms in organic matter break-down.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.24, p 235 – 240, 1988.

LUKKARI, T.; TAAVISAAREN, M.; VAISANEN, A.; HAIMI, J. **Effects of heavy metals on earthworms along contamination gradients in organic rich soils.** *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 59, p. 340 – 348.

SAINT – DENIS, M.; NARBONNE, J. F. ARNAUD, C.; THYBAUD, E.; RIBERA, D. **Biochemical response of the earthworms Eisenia Foetida Andrei exposed to contaminated artificial soil: effects of benzopyrene.** *Soil Biology and Biochemistry*, v. 31, p. 1837 – 1846, 1999

ATIYEH, R.M.; EDWARDS, C.A.; SUB LER, S.; METZGER, J.C. **Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical proprieties and plant growth.** *Biosource Technology*, v. 78, p. 11 – 20, 2001.

LONGO A.D. **Minhoca: de fertilizadora do solo a fonte alimentar.** São Paulo. P. 79

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo. Editora Agronomica Ceres, 1985. P. 492

OLIVEIRA, C. **Compostagem e vermicompostagem apostila elaborada para o curso de zootecnia da UNESP/FCA.** Botucatu. UNESP, 2001. P. 23 – 31

ALLISON, F.E. **Soil Organic matter and its role in crop production.** New York: Elsevier, 1982. P. 637

AQUINO, M. A.; ALMEIDA, D. L.; FREIRE, L. R.; POLLI, H. **Reprodução de minhocas (Oligocheta) em esterco bovino e bagaç de cana – de – açúcar.** Pesquisa agropecuária Brasileira v. 29. P. 161 – 168, 1994.

CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro. Centro nacional de pesquisa de solos EMBRAPA, 1997. P. 83

HAIMI, J.; HUHTA, V. **Capacity of various organic residues to support adequate earthworm biomass for vermicomposting. Biology and fertility of soils.** V. 2. P. 23 – 27, 1986.

JACKSON, M. L . **Soil chemistry analysis.** New Delhi: India Privatte, 1967. P. 57 – 81.

MESSIAS, R. A. **Avaliação estrutural de ácidos húmicos de vermicomposto e turfa de diferentes técnicas de caracterização.** Institutoto de química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

REEVE, R. N. **Environmental analysis.** London: John Wiley, 1994. P. 263.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions.** New York: John Wiley. P. 496. 1994.

THOMSEN, I. K. **C and N transformations in N cross labeled solid ruminant manure during anaerobic and aerobic storage.** Bioresource Technology, v. 72. P. 267 – 274. 2000.

DA SILVA P. R. D. **Processo de vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico.** Monografia apresentada ao Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

COTTA J. A. O. **Aplicação de vermicompostagem para a biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.** Tese (doutorado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Zozolotto T. C.; REZENDE, M. O. **Estudo preliminar do vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico e solo.** 2010.

DECRETO Nº 4.954 DE 14 DE JANEIRO DE 2004.

BRUNELLI A. M. M. **Proposta de disposição de resíduos gerado a partir da queima do bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutriente e corretivo do solo.**

EMBRAPA – Empresas brasileiras de pesquisa agropecuária. Centro nacional de pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo. Brasilia: Embrapa produção de informação;** Rio de Janeiro. Embrapa solos. p. 412. 1999.

AZEVEDO, A.C. **Matéria orgânica do solo.** 2006.

REZENDE, M. O. O. A importância ambiental das substâncias húmicas. Tese (livre – docência) – Instituto de química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.