



**FELIPE JURÇA FERNANDES**

**DETERMINAÇÃO DA MISTURA ÓTIMA PARA COMPOSTAGEM DE DEJETOS  
SUÍNOS UTILIZANDO MARAVALHA DE MADEIRA**

**INCONFIDENTES/MG  
2009**

**FELIPE JURÇA FERNANDES**

**DETERMINAÇÃO DA MISTURA ÓTIMA PARA COMPOSTAGEM DE DEJETOS  
SUÍNOS UTILIZANDO MARAVALHA DE MADEIRA**

Monografia apresentada, como pré-requisito de conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Inconfidentes/MG para obtenção do título de Tecnólogo em Meio Ambiente.

Orientador: MSc. Felipe Moreton Chohfi

**INCONFIDENTES/MG  
2009**

**FELIPE JURÇA FERNANDES**

**DETERMINAÇÃO DA MISTURA ÓTIMA PARA COMPOSTAGEM DE DEJETOS  
SUÍNOS UTILIZANDO MARAVALHA DE MADEIRA**

**Data de aprovação: 13 de novembro de 2009**

---

**MSc. Felipe Moreton Chohfi**

---

**DSc. Luiz Carlos Dias Rocha**

---

**MSc. Verônica Soares de Paula Moraes**

Aos meus pais, Valquiria e Udilson,  
minha base, meu suporte e minha  
inspiração de força...

Dedico.

*“O grande problema não é o que você sabe. É o que você tem certeza que sabe só que não é verdade.”*

Mark Twain

*“A era da procrastinação, das meias medidas, dos expedientes que acalmam e confundem, a era dos adiamentos está chegando ao fim. No seu lugar, estamos entrando na era das consequências.”*

Winston Churchill

*“Sufocamos três quartos de nós mesmos para sermos iguais aos outros.”*

Arthur Schopenhauer

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela minha existência e por me fazer acreditar em tudo o que acredito.

Aos meus pais, Valquiria e Udilson, por sempre confiarem em mim e por me apoiarem em minhas decisões. À minha avó, D. Terezinha, meu maior exemplo de amor e força.

Ao meu orientador, Professor Felipe Moreton Chohfi, por abraçar o projeto e por me fazer não desistir quando me sentia cansado dos problemas que apareciam pelo caminho.

Ao Professor Jamil Morais Pereira, meu primeiro orientador e fonte da minha idéia.

À Professora Lílian Vilela Andrade Pinto e ao Professor Luíz Carlos Dias Rocha, pelos exemplos de profissionalismo e caráter.

A minha grande amiga, Thaís, que me acompanhou e ajudou do início ao fim dessa longa caminhada, sem nunca desistir.

A Érika, que me acompanhou em todos os experimentos e medições, carregando peso e sujando as roupas, mesmo sabendo, às vezes, que aquilo poderia não dar certo.

Ao Aires, Igor, Valfrido e Bruno. Pessoas que ao longo do projeto se esforçaram para me ajudar a encontrar maneiras de facilitar e otimizar os experimentos. Obrigado pelo interesse.

Ao Caetano por, na medida do possível, me ajudar a achar um cantinho para instalar meu experimento.

A todos os funcionários do IFSMG que ajudaram e colaboraram na realização deste trabalho.

Ao Henrique, que surgiu em minha vida no meio da caminhada, pra nunca mais ir embora, e por me apoiar quando eu estava estressado e de mau humor. Obrigado por me entender e me ajudar a acalmar meus nervos.

As minhas grandes amigas bragantinas, Carolina, Cecília, Tatine e Josiane, mesmo às que se afastaram. Companheiras de fins de semana, jantares, bebedeiras. Pra sempre “Xa”, “Xé”, “Xi”, “Xô” e “Xu”.

Finalmente, agradeço a todos, mesmo aqueles que não acreditaram. Mesmo com todos os desentendimentos, sempre vou me lembrar da turma da sala e principalmente do “Grupette”. Obrigado! Muito obrigado!

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	4
2.1 Objetivo Geral .....	4
2.2 Objetivos Específicos .....	4
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	6
3.1 Definições de Compostagem .....	6
3.2 Fatores chave para desenvolvimento e avaliação do processo de compostagem .....	8
3.2.1 Local .....	9
3.2.2 Qualidade da Matéria-Prima .....	9
3.2.3 Relação Carbono/Nitrogênio (C/N) .....	9
3.2.4 Aeração .....	11
3.2.5 Umidade .....	13
3.2.6 Tamanho das Partículas .....	14
3.2.7 Textura e Estrutura do Material .....	15
3.2.8 Tamanho do sistema de compostagem .....	15
3.2.9 pH .....	15
3.2.10 Temperatura .....	16
3.2.11 Odores .....	17
3.3 Determinação dos substratos ideais para o processo de compostagem .....	18
3.4 Cálculos para definição de receita para compostagem .....	19
3.5 Caracterização dos dejetos suínos no Brasil .....	20
3.6 Compostagem usada para tratamento de dejetos suínos .....	22
3.7 Unidade de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos .....	24
3.8 Vantagens e desvantagens do uso da compostagem de dejetos suínos .....	24
3.8.1 Vantagens .....	24
3.8.2 Desvantagens .....	25
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	26
4.1 Descrição do local de realização do trabalho .....	26

4.2 Composição das misturas para compostagem .....	27
4.3 Tecnologia utilizada nos experimentos.....	27
4.4 Pesagem e mistura dos ingredientes .....	28
4.5 Aferição da temperatura.....	30
4.6 Testes de umidade e materiais voláteis.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	32
5.1 Mistura 01 .....	32
5.2 Mistura 02 .....	33
5.3 Mistura 03 .....	35
5.4 Mistura 04 .....	37
5.5 Controle de odor.....	38
5.6 Propostas para trabalhos futuros .....	38
6. CONCLUSÕES .....	40
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
8. ANEXO.....	46
8.1 Cálculo da receita para compostagem (Mistura 04) .....	46

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 01</b> – Características de materiais comuns para compostagem .....	19
<b>Quadro 02</b> – Misturas para compostagem .....	27
<b>Quadro 03</b> – Características de umidade e relação C/N dos ingredientes utilizados nas misturas do experimento. ....	30

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> – Curva padrão de temperatura no processo de compostagem (KIEHL, 1985). ...	17
<b>Figura 02</b> – Mapa de localização do município de Inconfidentes/MG (Fonte: <i>Google Maps</i> ).26	
<b>Figura 03</b> – Composto rotor.....	28
<b>Figura 04</b> – Porta aberta no compostor rotor para inserção dos materiais .....	28
<b>Figura 05</b> – Cobertura onde foi instalado o compostor rotor nas misturas 01 e 02. ....	29
<b>Figura 06</b> – Termômetro digital portátil RTDP – 700 – E .....	30
<b>Figura 07</b> – Curva representativa das temperaturas atingidas durante o processo desenvolvido pela Mistura 01.....	32
<b>Figura 08</b> – Curva representativa das temperaturas atingidas durante o processo desenvolvido pela Mistura 02.....	34
<b>Figura 09</b> – Curva representativa das temperaturas atingidas durante o processo desenvolvido pela Mistura 03.....	36
<b>Figura 10</b> – Curva representativa das temperaturas atingidas durante o processo desenvolvido pela Mistura 04.....	37

## RESUMO

Os dejetos da suinocultura, sem tratamento prévio, constituem em fonte poluidora contribuindo para odores e contaminação do solo. A utilização do processo de compostagem para tratamento destes dejetos apresenta-se como alternativa ambiental uma vez que resulta em um composto estabilizado podendo ser utilizado como condicionador de solo, reduzindo os riscos de erosão e a demanda por fertilizantes químicos, além é claro de servir de fonte de renda e de redução de custos para o produtor que busca a sustentabilidade econômica e ambiental. O presente trabalho teve como objetivo determinar uma receita de mistura ótima para compostagem de resíduos suínos utilizando-se maravalha de madeira como propiciador/suporte da compostagem. Neste sentido, experimentos foram realizados em um tambor compostor rotor com capacidade para 200 litros (cerca de 120 kg) que permitiu o monitoramento dos parâmetros da compostagem em escala piloto/laboratorial. Foram analisados parâmetros de temperatura, umidade e materiais voláteis que permitiram monitorar o desenvolvimento temporal do processo de compostagem. Os resultados obtidos mostram a dificuldade de obter condições favoráveis para o desenvolvimento do processo devido à baixa relação C/N e umidade elevada dos dejetos suínos e aos problemas ocorrentes com a coleta e armazenamento dos dejetos nas instalações da suinocultura do Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Campi Inconfidentes. O bom andamento de um processo de compostagem resulta em produto final de maior valor agregado, pois contém maior teor de nutrientes e reduzido teor de carga orgânica ao se comparar com o dejetos *in natura*.

**Palavras-chave:** compostagem, suinocultura, tratamento de resíduos, meio ambiente.

## ABSTRACT

Pig farming waste, untreated, is a pollution source contributing to odor and soil contamination. The use of the composting process for treatment of waste is presented as a good environmental alternative because it results in a stable compound that can be applied as a soil conditioner, reducing the risk of erosion and the demand for chemical fertilizers, and of course the serve as a source of income and reducing costs for the producer seeking the economic and environmental sustainability. This study aimed to determine an optimum mix of revenue for composting swine waste using wood shavings to yield/support composting. In this sense, experiments were performed in a drum composter rotor with a capacity of 200 liters (120 kg) that allowed monitoring of the parameters of composted in a pilot/laboratory. We analyzed the temperature, moisture and volatile materials that allowed monitoring temporal development of the composting process. The results show the difficulty in obtaining favorable conditions for the development of the process due to the low C/N ratio and high humidity of pig manure and the problems occurring with the collection and storage of waste that occur within Federal Institute of Minas Gerais, Campi Inconfidentes. The smooth running of a composting process results in a final product with higher added value because it contains higher levels of nutrients and a low content of organic load when compared with fresh manure.

**Keywords:** composting, swine, waste management, environment.

## 1. INTRODUÇÃO

A aplicação de matéria orgânica no solo exerce efeitos claramente benéficos sobre suas propriedades se estiverem presentes em quantidades apropriadas, contribuindo assim para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A matéria orgânica tem influência direta sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, influenciando positivamente no aumento da produção agrícola.

Os resíduos gerados pela produção agropecuária, assim como esterco animal in natura e restos culturais podem ser chamados de Fertilizantes Orgânicos Simples (KIEHL, 1985), mas é recomendada sempre a atenção aos cuidados que devem ser despendidos no seu tratamento e utilização, uma vez que estes, não devem ser dispostos no ambiente sem o devido tratamento, pois assim, o que acarretaria em contaminação e possíveis prejuízos futuros.

Para otimização e manutenção da qualidade dos resíduos animais e vegetais, oriundos da produção agropecuária com a finalidade de uso como fertilizante, indica-se a compostagem como maneira mais eficiente de gestão destes resíduos; e sua utilização rumo a uma agricultura sustentável aliando-se o aumento de produtividade à preservação ambiental de forma que os problemas ambientais causados pela produção agropecuária sejam sanados ou ao menos mitigados.

O Brasil é o único país da América Latina incluído na lista dos 10 maiores produtores mundiais de carne suína, sendo responsável por 7,5% das exportações mundiais. O rebanho suíno nacional estimado para 2008 foi de 38.164.000 cabeças, concentrando na região Sul cerca de 20.291.000 cabeças (53,17 % do rebanho nacional) (MIELE, 2007).

Os dejetos de suínos, até a década de 70, não constituíam um fator preocupante, pois a concentração de animais era pequena e o solo das propriedades tinha capacidade para absorvê-los, como adubo orgânico. O desenvolvimento da suinocultura intensiva trouxe a produção de grandes quantidades de dejetos que são lançados ao solo, na maioria das vezes, sem critério e sem tratamento prévio, transformando-se em uma grande fonte poluidora dos mananciais de água (OLIVEIRA, 2002; OLIVEIRA, 2004).

Devem ser estudados diferentes re-usos e formas de tratamento para os dejetos da suinocultura brasileira.

De acordo com KONZEN (2000) os dejetos de suínos podem se constituir em fertilizantes eficientes na produção de grãos e de forragens, desde que adequadamente dosados e estabilizados (temperatura em torno de 30°C e umidade de 45%) e antes de sua utilização. Quando dispostos inadequadamente no meio ambiente, os resíduos sem tratamento podem trazer problemas de contaminação de mananciais, reservatórios de água e solos.

Os alarmantes índices de contaminação dos recursos naturais e a redução da qualidade de vida nos grandes centros produtores, são indicativos de que boa parte dos efluentes da produção de suínos está aportando direta ou indiretamente ao solo e nos cursos d'água, sem receber um tratamento adequado (PERDOMO, 2001).

O desenvolvimento de sistemas de tratamento deve considerar as características do resíduo a ser tratado.

Os dejetos de suínos podem apresentar grandes variações em seus componentes, dependendo do sistema de manejo utilizado e principalmente da quantidade de água em sua composição (OLIVEIRA, 2004).

Dejetos suínos são fonte poluidora de maneiras diversas. Além da poluição hídrica e do solo, deve-se também considerar a emissão de gases gerados pelos diferentes sistemas de tratamento adotados (KERMARREC, 1999; ZAHN et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2003a).

A mudança global do clima é um dos mais graves problemas ambientais deste século. Este problema vem sendo causado pela intensificação da emissão dos gases de efeito estufa (GEE), que, por sua vez, está relacionada ao aumento da concentração, na atmosfera da terra, de determinados gases, principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). A produção desses gases ocorre em condições de anaerobiose por intermédio das bactérias metanogênicas (produtoras de metano) (LIMA et al., 2001; ZAHN et al., 2001). Os principais gases emitidos pelos sistemas de criação de suínos e tratamento dos

dejetos são o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e os gases nitrogenados (NH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>) (KERMARREC, 1999; OLIVEIRA, et al., 2003b).

Estudos de qualidade do ar têm indicado que as emissões dos sistemas anaeróbios de tratamento de dejetos suínos têm alto potencial de afetar negativamente a qualidade do ar local, regional ou até globalmente. Estas emissões representam preocupação devido aos efeitos prejudiciais destes gases na qualidade ambiental e no desconforto e saúde humana (ZAHN et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2003b).

Muitos desses gases são tóxicos, além de produzirem odores desagradáveis, que são sentidos a grandes distâncias, além dos limites da fonte emissora. Adaptações evitando a emissão de odores exigem altos investimentos. A compostagem é tida como alternativa de baixo custo e eficiente na diminuição da dispersão de mau cheiro (MEDRI, 1997; OLIVEIRA, 2004.; citados por OLIVEIRA, 2006).

O desenvolvimento deste trabalho é uma iniciativa para o desenvolvimento de projetos para tratamento de resíduos da produção agropecuária e caminha, com as propriedades rurais, rumo a uma economia ecologicamente sustentável.

O desenvolvimento de um projeto de usina de compostagem no Instituto Federal do Sul de Minas – Campi Inconfidentes justifica-se a partir do princípio que a Instituição não reutiliza e nem destina corretamente a maioria dos seus resíduos, que são gerados em grande quantidade pelas Unidades de Produção existentes. Este trabalho dá margem à realização de diversos outros, com estudos relacionados a diversos outros tipos de resíduos.

Os pequenos agricultores do Sul do Estado de Minas Gerais, principalmente da microrregião do município de Inconfidentes serão beneficiados pela recomendação de um processo de compostagem realizado com matérias-primas encontradas em qualquer propriedade rural, utilizando tecnologias simples, sem necessidade de mão-de-obra especializada.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Determinar uma mistura ótima que permita a compostagem de dejetos suínos, com utilização de tecnologias disponíveis na Fazenda Escola do Instituto Federal do Sul de Minas Gerais – IFSMG -, utilizando como propiciador da compostagem a maravalha de madeira, e por meio de testes laboratoriais, discutir o desempenho deste processo.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Apresentar o estado-da-arte da compostagem no Brasil e no mundo;
- Levantar os potenciais de aproveitamento de biomassa (resíduos orgânicos) no IFSMG para compostagem;
- Desenvolver uma tecnologia capaz de tratar os resíduos da suinocultura de forma a eliminar, ou ao menos mitigar, os efeitos da dispersão de mau cheiro oriunda das instalações;
- Realizar testes experimentais e laboratoriais para monitorar os parâmetros reacionais de temperatura, umidade, matéria orgânica e materiais voláteis, utilizando um compostor rotor de 200 litros;
- Obter uma mistura adequada e eficiente para a realização de compostagem de resíduos suínos;

- Incentivar o desenvolvimento de novos trabalhos na área de compostagem e tratamento de resíduos nos IFSMG;
- Fornecer dados para estudos e implantação de uma usina de compostagem na FEIFSMG.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Definições de Compostagem**

A compostagem é um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características diferentes do material que lhe deu origem. Em linhas gerais, consiste no aproveitamento de matérias-primas que contenham um balanço de relação carbono/nitrogênio (C/N) favorável ao metabolismo dos organismos que vão efetuar sua biodigestão. A fermentação dessas matérias-primas pode ser aeróbia ou anaeróbia, controlando-se a umidade, a aeração, a temperatura e demais fatores, conforme o caso (CARVALHO, 2005).

Consiste de um processo de bio-oxidação para transformação de resíduos em uma forma estabilizada de composto, sendo esta a denominação dada ao produto resultante: matéria orgânica estabilizada. Uma definição completa de compostagem dada por diversos autores (GRAY et al., 1971, De BERTOLDI et al., 1983, DIAZ et al., 1993) é a decomposição exotérmica bio-oxidativa controlada de materiais orgânicos por micro-organismos selvagens em um meio ambiente úmido, morno e aeróbio, resultando na produção de dióxido de carbono, água e um material orgânico estabilizado designado de composto.

Diversos trabalhos vêm sendo realizados sobre diferentes aspectos do processo de compostagem enfocando substratos, papel dos micro-organismos, parâmetros chave e tecnologias. Atualmente, diversos tipos de processos de compostagem podem ser adaptados para qualquer escala de gerenciamento de resíduos orgânicos. Estes abrangem desde sistemas

simples de baixo grau tecnológico para outros altamente sofisticados. Medas ao ar livre, por exemplo, e tecnologias fechadas estão sendo vendidas mundialmente. Muita ênfase tem sido dada à maturidade do composto, sua qualidade e sustentabilidade, que são fatores fundamentais na aceitação do produto final.

CARVALHO (2005) descreveu que quando se trata de resíduos agrícolas, a fermentação mais simples e adequada é a aeróbia, na qual se procura manter a presença de ar atmosférico, evitando-se a compactação e o encharcamento da massa. A decomposição aeróbia é caracterizada pela elevação da temperatura e por gases inodoros.

A compostagem de restos agrícolas é tão antiga quanto o preparo do solo para culturas. LOPEZ-REAL (1996) citou que a compostagem de resíduos fecais humanos, juntamente com vegetais e esterco animal, tem sido praticada na China por séculos e tem sido considerada a responsável por manter a fertilidade do solo por mais de 4000 anos.

Segundo KIEHL (1985) o composto possui nutrientes minerais tais como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), que são assimilados em maior quantidade pelas raízes além de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), boro (Bo), molibdênio (Mo) e cloro (Cl), que são absorvidos em quantidades menores e, por isto, denominados de micronutrientes. Quanto mais diversificados os materiais com os quais o composto é feito, maior será a variedade de nutrientes que poderá suprir. Os nutrientes do composto, ao contrário do que ocorre com os adubos sintéticos, são liberados lentamente, realizando a tão desejada "adubação de disponibilidade controlada". Em outras palavras, fornecer composto às plantas é permitir que elas retirem os nutrientes de que precisam de acordo com as suas necessidades ao longo de um tempo maior do que teriam para aproveitar um adubo sintético e altamente solúvel, que é arrastado pelas águas das chuvas.

A compostagem é uma ótima alternativa para o tratamento dos resíduos orgânicos, principalmente em países tropicais, pois é a forma mais eficaz de se conseguir uma biodegradação controlada dos resíduos orgânicos, e pode ser definida como um processo aeróbico e controlado de tratamento e estabilização (redução da atividade biológica pelo esgotamento dos estoques de alimentos e competição entre espécies de agentes detritívagos, ocorrendo transformação dos componentes químicos com a diminuição da carga carbonácea e a oxidação dos elementos químicos para formas orgânicas mineralizadas) de resíduos orgânicos para a produção de húmus, diminuindo assim problemas ambientais e sanitários associados às grandes quantidades desses resíduos (KIEHL, 1985).

Tem sido recomendada a aplicação de matéria orgânica humificada ao solo como uma maneira de controlar a toxidez causada às culturas agrônômicas por certos elementos encontrados em quantidades acima do normal, como o alumínio, ferro e manganês, uma vez que o húmus tem a propriedade de fixar, complexar ou quelatar esses elementos (KIEHL, 1985).

Com relação à acidez do solo, HUNTER et al. (1995) e WONG et al. (1995) observaram que a matéria orgânica do solo pode apresentar um efeito semelhante ao da calagem, na correção da acidez e na neutralização de níveis tóxicos de alumínio. O aumento do pH do solo devido à adição de resíduos orgânicos tem sido atribuído à própria adsorção de hidrogênio e alumínio na superfície do material orgânico (HOYT & TURNER, 1975).

Segundo PEREIRA NETO (1996), o composto orgânico pode ser utilizado como excelente matéria-prima no processamento de fertilizantes industriais, e melhora o aproveitamento dos fertilizantes minerais, promove um aumento da capacidade de retenção de água e de ar no solo além de ativar substancialmente a vida microbiana, estabelecer colônias de minhocas, besouros e outros animais que revolvem e adubam o solo, produz efeitos favoráveis pela presença de micronutrientes e de certas substâncias antibióticas, promove o desenvolvimento do sistema radicular da cultura e auxilia na recuperação de solos degradados.

O composto não é um adubo mineral, mas sim um adubo biológico, onde sua aplicação permite aumentar o rendimento da adubação mineral de 30 a 70% (LINDENBERG, 1990).

### **3.2 Fatores chave para desenvolvimento e avaliação do processo de compostagem**

Para que uma compostagem termofílica de sucesso possa ocorrer torna-se de fundamental importância a obtenção de condições próprias para o crescimento dos microorganismos. Os fatores chave para isto consistem das quantidades relativas de carbono (C), nitrogênio (N), o balanço entre carbono e nitrogênio (relação C/N), a presença de oxigênio (aeração), o conteúdo de umidade, pH (TRAUTMANN & KRASNY, 1997), local de realização do processo, qualidade da matéria-prima, tamanho das partículas, textura e estrutura dos materiais, temperatura e presença de odores desagradáveis.

### **3.2.1 Local**

Segundo CARVALHO (2005) o local para montagem das medas de matéria prima deve ser limpo e ligeiramente inclinado para facilitar o escoamento de águas de chuvas. Deve ter área suficiente para a construção das medas e espaço para revolvimento das mesmas e circulação de tratores com carretas e/ou caminhões.

Segundo OLIVEIRA (2006), as unidades de média e grande escala de compostagem podem consistir de estruturas com cobertura de PVC transparente com o objetivo de utilizar a radiação solar incidente para aumentar a evaporação da água contida nos dejetos e aumentar a temperatura no processo de compostagem. As paredes devem ser abertas para garantir a ventilação necessária para remover o vapor de água gerado e o piso pode ser concreto ou solo compactado, sendo que as unidades devem prever sistema de drenagem e um depósito para o chorume filtrado pelo leito de compostagem, para a coleta e recirculação do mesmo dentro da unidade.

### **3.2.2 Qualidade da Matéria-Prima**

CARVALHO (2005) considerou, a princípio, que todos os resíduos agrícolas podem ser compostados. No entanto, para se obter um composto de boa qualidade em menos tempo é necessário que os resíduos apresentem um conteúdo apropriado de nitrogênio e carbono, favorecendo o crescimento e a atividade das colônias de micro-organismos envolvidos no processo.

Tendo em vista que esses micro-organismos absorvem o carbono e o nitrogênio numa proporção de 30 partes do primeiro para uma parte do segundo ( $C/N = 30/1$ ), essa também será a proporção ideal nos resíduos. Resíduos com relação C/N baixa perdem nitrogênio na forma amoniacal durante o processo de compostagem prejudicando a qualidade do composto.

### **3.2.3 Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)**

Na mistura de materiais orgânicos para produção do composto a relação Carbono/Nitrogênio (C/N) é muito importante. O carbono e nitrogênio são os dois elementos mais importantes no processo de compostagem. Materiais carbonáceos servem principalmente

como uma fonte de energia para os micro-organismos da compostagem, e o nitrogênio é crítico para crescimento de populações de micro-organismos (CARVALHO, 2005)

TRAUTMANN & KRASNY (1997) citaram que dentre os vários elementos necessários à decomposição microbiana, o carbono e nitrogênio são os mais importantes e limitantes. O carbono é uma fonte de energia e bloco construtor básico, consistindo de 50% da massa das células microbianas. Já o nitrogênio é um componente crucial das proteínas, aminoácidos, enzimas e DNA necessários para função e crescimento da célula. Bactérias, cuja biomassa contém 50% de proteína necessitam de quantidades elevadas de nitrogênio para crescimento rápido.

A relação C/N ideal para a compostagem é geralmente considerada de 30/1 ou 30 partes de carbono para cada parte de nitrogênio em peso (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

TRAUMANN & KRASNY (1997) informaram que apesar de uma célula microbiana consistir de uma razão C/N de 6/1, o carbono adicional é necessário para providenciar a energia para o metabolismo e síntese de novas células. Relações C/N menores que 30 permitem um crescimento microbiano rápido e decomposição rápida, no entanto, nitrogênio em excesso será perdido na forma de gás amônia, causando odores indesejáveis assim como perdas de nutrientes. Relações C/N maiores de 30 não providenciam suficiente nitrogênio para um crescimento ótimo das populações microbianas. Neste caso o composto se mantém em temperaturas moderadas assim se degradando lentamente a uma taxa determinada pela disponibilidade de nitrogênio.

À medida que a compostagem continua a relação C/N gradualmente cai de 30/1 para 10-15/1 para o produto acabado. Isto ocorre uma vez que a cada momento que compostos orgânicos são consumidos por microorganismos, 2/3 do carbono é perdido para a atmosfera como  $\text{CO}_2$ , enquanto que a maioria do nitrogênio é reciclada em novos microorganismos. Apesar de o composto final deter uma relação C/N baixa isto não resulta em problemas de odor uma vez que a matéria orgânica se encontra em uma forma estável já tendo passado por uma decomposição extensiva (TRAUTAMNN & KRASNY, 1997).

Alcançar uma relação C/N de cerca de 30/1 na mistura de ingredientes a serem compostados é uma meta muito desejável, no entanto esta relação pode necessitar de ser ajustada conforme a biodisponibilidade dos materiais em questão. A maioria do nitrogênio em materiais a serem compostados já está prontamente disponível. Uma parte do carbono, no entanto, pode ainda estar “preso” em compostos que são altamente resistentes à degradação

microbiológica. Por exemplo, o jornal se decompõe menos facilmente que outros tipos de papel porque este não foi quimicamente tratado para remoção da lignina. A lignina um composto altamente resistente encontrado na madeira forma crostas ao redor da celulose retardando a sua biodegradação. A palha do milho, por exemplo, também é difícil e lenta para ser quebrada por ser feita de uma forma resistente de celulose. Todos estes materiais podem, no entanto, ser compostados, porém, será melhor misturá-los com outras fontes contendo um carbono em uma forma mais preparada (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

Os mesmos autores consideram que o tamanho de partícula também afeta a disponibilidade do carbono. Onde uma quantidade igual de carbono esta contida em massas comparáveis de serragem e pedaços pequenos de madeira, a maior superfície de contato da serragem faz o seu carbono mais prontamente disponível para uso microbiano. Uma quantidade maior de pedaços pequenos de madeira ao se comparar com serragem seria assim necessária para alcançar uma quantidade igual de carbono disponível.

Em adição ao carbono e ao nitrogênio, quantidades adequadas de fósforo, enxofre, cálcio e potássio são essenciais para o metabolismo microbiano, assim como outros elementos traços, como o magnésio (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

### **3.2.4 Aeração**

Segundo CARVALHO (2005), a compostagem é considerada um processo aeróbico, ou seja, os micro-organismos requerem oxigênio para que possam degradar as matérias-primas. A medas de composto deverá conter suficientes espaços vagos para permitir o movimento livre do ar de forma que o oxigênio da atmosfera possa entrar na medas e o dióxido de carbono e outros gases possam ser removidos. Uma concentração de oxigênio na faixa de 10- 15% é considerada adequada.

O oxigênio é de vital importância para a oxidação biológica do carbono dos resíduos orgânicos, para que ocorra produção de energia necessária aos micro-organismos que realizam a decomposição. Parte dessa energia é utilizada no metabolismo dos micro-organismos, e o restante é liberado na forma de calor. O arejamento evita a formação de maus odores e a presença de moscas, o que é importante tanto para o processo como para o meio ambiente. Para se obter o adequado suprimento de oxigênio devem-se realizar revolvimentos periódicos do material durante o processo de compostagem (CARVALHO, 2005).

Segundo TRAUTMANN & KRASNY (1997) o oxigênio é essencial para o metabolismo e respiração de microorganismos aeróbios e para oxidação de várias moléculas orgânicas presentes no material residual. À medida que os microorganismos oxidam a matéria orgânica para obterem energia e nutrição, o oxigênio é usado e dióxido de carbono ( $\text{CO}^2$ ) é produzido. Se as ofertas de oxigênio foram esgotadas o processo de compostagem se torna anaeróbio, e assim, irá produzir odores desagradáveis, incluindo o cheiro de casca de ovo podre advindo do gás sulfídrico. Desta forma os sistemas de compostagem necessitam serem desenhados de forma a providenciar um fluxo de passagem de ar adequado usando sistemas passivos ou de aeração forçada.

A manutenção do balanço ótimo entre umidade e oxigênio é uma das chaves para uma compostagem de sucesso. Devido ao fato de que o oxigênio se difunde mil vezes mais rápido através do ar do que através da água, a transferência do oxigênio fica impedida se houver grande presença de água nos poros das partículas de compostagem. Se as pequenas e finas camadas de água que circundam as partículas de material se secam, no entanto, ocorrerá que os microorganismos que decompõem o material orgânico irão se tornar inativos. Desta forma a chave para uma compostagem de sucesso é providenciar o suficiente de água para manter estas finas camadas ao redor das partículas de composto, no entanto, não de forma excessiva que venha a substituir o ar no caso dos poros maiores (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

Os autores também descreveram que no início do processo de compostagem, a concentração de oxigênio nos espaços dos poros é de cerca de 15 a 20% (similar à composição normal do ar) e a concentração de  $\text{CO}^2$  varia de 0,5 a 5%. À medida que a atividade microbiológica caminha e se desenvolve a concentração de oxigênio diminui e a concentração de dióxido de carbono aumenta. Se a concentração média de oxigênio nas medidas cair abaixo de 5% regiões que detêm condições anaeróbias irão se desenvolver. Contudo que a atividade anaeróbia seja mantida a um mínimo, a medida de compostagem pode agir como um biofiltro para capturar e degradar os compostos odoríferos produzidos como um co-produto da decomposição anaeróbia. No entanto, devendo a atividade anaeróbia subir acima de um limite fixado, odores indesejáveis ocorrerão.

Concentrações de oxigênio entre 10 e 60% são consideradas ótimas para compostagem aeróbia. Alguns sistemas são capazes de manter oxigênio adequado passivamente, usando buracos de ar, ou tubos de aeração. Outros requerem uma aeração

forçada que pode ser providenciada por sopradores ou agitadores (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

Uma concepção errada na compostagem é de que as medas devem ser viradas e misturadas a cada duas semanas de modo a manter níveis adequados de oxigênio. De fato, diversos cálculos mostram que o oxigênio introduzido com viragens em um composto que está se degradando rapidamente se torna deteriorado dentro das primeiras horas, indicando que a difusão e convecção e não as viragens, são os mecanismos primários que mantêm o composto aeróbio. A mistura não ajuda a manter a meda aerada, no entanto, isto atua ao soltar a meda e aumentar os espaços de poros através do qual o ar possa fluir. Outra razão para viragem dos materiais a serem compostados é de misturar os materiais mais secos e frios que se encontram na beira da meda para o centro da meda onde a umidade e calor mais constantes poderão promover uma decomposição ótima (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

Segundo MERKEL (1981), revolver a pilha de composto é essencial para o desenvolvimento da compostagem de forma rápida e sem a emissão de odores indesejáveis, características estas comuns em processos anaeróbios e termofílicos. Desta forma, promove-se no leito de compostagem, a decomposição rápida e uniforme da matéria orgânica. O revolvimento também é eficiente na redução da umidade e no fornecimento de oxigênio para a biomassa.

KIEHL (1998) relata que o revolvimento do composto, ao mesmo tempo em que introduz ar novo, rico em oxigênio, libera o ar contido na leira, saturado de gás carbônico gerado pela respiração dos organismos.

### **3.2.5 Umidade**

A melhor umidade para o material ser compostado situa-se entre 40% e 60%. Abaixo de 35%, a atividade microbiana é afetada e acima de 65% começa a haver comprometimento da aeração da massa, provocando condições anaeróbicas e com conseqüente liberação de odores desagradáveis. Em caso de falta de água, deve-se irrigar uniformemente o material em compostagem uma ou duas vezes por semana e quando em excesso (após chuvas), deve-se fazer o revolvimento do material para provocar a evaporação. Na operação de controle da umidade é importante que todas as camadas do material em compostagem tenham teor de água, portanto, ao revolvê-lo, as camas externas mais secas devem ser misturadas às internas, mais úmidas (CARVALHO, 2005).

TRAUTMANN & KRASNY (1997) consideraram ideal para compostagem um teor de umidade inicial de 50 a 60% em peso, pois esse valor costuma providenciar o suficiente de água para manter o crescimento microbiano, no entanto, uma quantidade não tão demasiada que cause um bloqueio na passagem do ar. Quando as condições se tornam mais secas 30 a 40% da atividade microbiana fica inibida. Os autores também dizem que os níveis de umidade acima de 65% resultam em uma decomposição baixa, a produção de odor em pontos anaeróbios, e lixiviação de nutrientes.

Se o conteúdo de umidade estiver entre 50 e 60%, a pilha deverá ser revolvida em intervalos de três dias. Quando este teor ultrapassar o valor de 60% recomenda-se esta prática com intervalos de dois dias. Durante o revolvimento, o calor é liberado para o meio ambiente na forma de calor latente (vapor de água) (OLIVEIRA, 2006).

BARRINGTON et al. (2003), estudando o efeito da aeração passiva e ativa na compostagem de dejetos de suíno com 3 substratos diferentes (maravalha, palha e feno) em umidades de 60, 65 e 70%, concluíram ser a umidade um fator determinante nos padrões de temperatura alcançados, principalmente, no caso dos substratos maravalha e palha.

### **3.2.6 Tamanho das Partículas**

CARVALHO (2005) considerou que os resíduos a serem compostados não devem ser em partículas muito pequenas para evitar a compactação durante o processo de compostagem, comprometendo a aeração. Por outro lado, resíduos com partículas maiores retardam a decomposição por reterem pouca umidade e apresentarem menor superfície de contato com os micro-organismos.

O tamanho das partículas do material utilizado interfere diretamente na porosidade e na aeração da meda. A porosidade é uma medida de espaço contendo ar dentro da mistura desenvolvida para compostagem e influencia a resistência de fluxo de ar através da meda. A porosidade é melhorada por uma mistura de material mais uniforme que providencia uma continuidade de espaços com ar e partículas maiores para aumentar o tamanho de poros e volume de superfície para fluxo do ar (CARVALHO, 2005).

A maioria da atividade microbiana ocorre na superfície das partículas orgânicas. Deste modo a diminuição do tamanho de partícula através do efeito de redução da área superficial, irá propiciar a atividade microbiana e aumentar a taxa de decomposição. A diminuição do tamanho de partícula também aumenta a disponibilidade de carbono e

nitrogênio. Desta forma o carbono na serragem ou finos de madeira esta mais disponível que o carbono em grandes pedaços de madeira. No entanto, quando as partículas são muito pequenas e compactas a circulação de ar através da meda fica inibida. Isto diminui o oxigênio disponível para os microorganismos, diminuindo também a taxa de atividade microbológica e decomposição. Propiciadores como grandes partículas de madeira galhos cortados, pedaços de milho podem ser adicionados à meda para aumentar a aeração. No final da compostagem propiciadores que não foram decompostos podem ser reparados para reutilização (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

### **3.2.7 Textura e Estrutura do Material**

A textura consiste da porção relativa de diversos tamanhos de partícula de um material e pode ser descritiva da quantidade de área de superfície disponível para os microorganismos. O quanto mais fino o material, maior será a área de superfície exposta para atividade microbiana. A estrutura se refere à habilidade de uma partícula de resistir compactação e sedimentação que é importante no estabelecimento e manutenção de porosidade durante o processo de compostagem. O tamanho de partícula ideal deve ser de forma a garantir a porosidade, área de superfície e estrutura (CARVALHO, 2005).

### **3.2.8 Tamanho do sistema de compostagem**

Uma meda de composto deve ser grande o suficiente para prevenir a dissipação rápida de calor e umidade, e, no entanto, por outro lado, pequena o suficiente para permitir uma boa circulação de ar. Sistemas menores, como projetos laboratoriais, necessitam de isolamento para retenção do calor. Compostos em biorreatores feitos de latas de lixo colocadas uma em cima da outra já irão esquentar sem a necessidade de isolamento considerando-se que a lata de lixo seja razoavelmente grande e que as temperaturas do ar da circunvizinhança não sejam demasiadamente baixas (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

### **3.2.9 pH**

Segundo TRAUTMANN & KRASNY (1997) durante o curso da compostagem o pH costuma variar entre 5,5 a 8,5. O pH inicial depende da composição dos ingredientes. Nos

estágios iniciais do processo ácido orgânicos podem se acumular, como subproduto da digestão de material orgânico por bactérias e fungos. A queda de pH resultante propicia o aparecimento de fungos, que são ativos na degradação de lignina e celulose. Normalmente os ácidos orgânicos se quebram adiante durante o processo de compostagem e assim o pH aumenta. Isto é causado por dois processos que ocorrem durante a fase termofílica: a decomposição e volatilização de ácidos orgânicos e a liberação de amônia por microorganismos à medida que eles quebram as proteínas e outras fontes de nitrogênio orgânico. Na fase final do processo de compostagem o pH tende a ficar neutro à medida que a amônia se perde para a atmosfera ou é incorporada em novas fontes de crescimento microbiano.

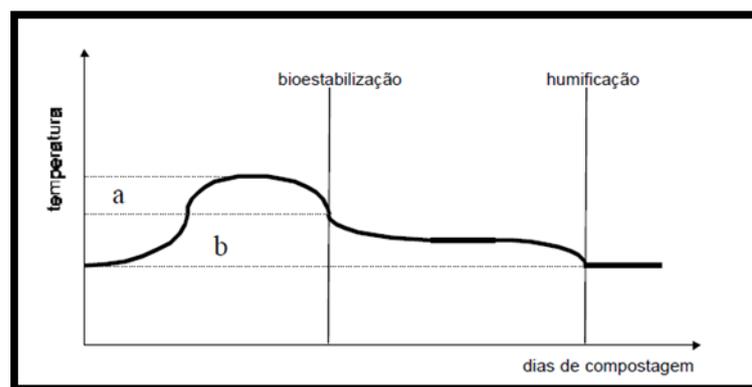
Se o sistema se tornar anaeróbio este não seguirá esta tendência. Neste caso contrário, a acumulação do ácido deverá diminuir o pH até 4,5, limitando severamente a atividade microbiana. Nestes casos, a aeração é normalmente o suficiente para retornar o pH dos composto para uma margem aceitável (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

### **3.2.10 Temperatura**

A temperatura é um dos principais indicadores das mudanças que ocorrem durante a compostagem termofílica. Se o composto não aquece, pode ser deficiente em umidade. Uma vez que o composto não esquente, a temperatura proporciona o melhor indicador de quando a mistura é desejável (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

O calor desenvolvido no composto é o resultado da influência de outros fatores que atuam no processo de decomposição. Havendo micro-organismos, oxigênio, umidade, granulometria favorável e material com relação C/N em torno de 30/1, haverá, forçosamente, desenvolvimento de calor, indicativo de que o processo de decomposição iniciou-se (CARVALHO, 2005).

A Figura 1 ilustra a curva-padrão de temperatura durante o processo de compostagem.



**a = fase termofílica**

**b = fase mesofílica**

Figura 01 – Curva padrão de temperatura no processo de compostagem (KIEHL, 1985).

A faixa de temperatura considerada mesófila situa-se de 45 a 55°C. Acima de 55°C, o processo é classificado como termófilo. Quando a matéria prima é decomposta em pequeno volume o calor criado pelo metabolismo dos microorganismos se dissipa e o material acaba não se aquecendo (KIEHL, 1998; PAILLAT et al., 2005).

O desenvolvimento da temperatura é um bom indicativo da performance do processo de compostagem, variando significativamente no interior da pilha de compostagem, de acordo com as condições de aeração. A temperatura é o fator mais importante para determinar se a operação do sistema se processa como desejável. A produção de calor em um material é indicativo de ocorrência de atividade biológica neste material e, por isso, indiretamente, do seu grau de decomposição (OLIVEIRA, 1993).

### 3.2.11 Odores

O manejo de odor é um indicador efetivo das condições aeróbias na meda e da possibilidade de perdas de nutrientes. Os compostos de nitrogênio são os principais causadores de odor. Qualquer odor associado aos dejetos deverá desaparecer nos primeiros dois dias do processo, o que indica a ocorrência de compostagem (CARVALHO, 2005).

Segundo TRAUTMANN & KRASNY (1997), um sistema de compostagem bem construído não deve produzir odores desagradáveis, embora nem sempre seja livre de odores.

A liberação de odores de amônia indica uma mistura provavelmente muito rica em nitrogênio (relação C/N baixa). Um composto com umidade muito elevada se torna anaeróbio, ocorrendo uma produção de sulfeto de hidrogênio, metano e outros compostos odoríferos desagradáveis (TRAUTMANN & KRASNY, 1997).

Testes devem ser realizados no composto final obtido após a degradação microbiológica de forma a comparar as suas características com os substratos utilizados *in natura*. Desta forma é possível avaliar o efeito da reação da compostagem sobre os substratos *in natura* e discutir estes resultados com vista aos parâmetros da reação de compostagem obtidos para determinar o desempenho da reação.

CARVALHO (2005) considerou que para que a compostagem tenha ocorrido, a umidade dos materiais deverá ter se mantida estável, no entanto a matéria orgânica volátil terá caído, uma vez que esta consiste dos substratos dos micro-organismos.

### **3.3 Determinação dos substratos ideais para o processo de compostagem**

CARVALHO (2005) considerou que uma vez que a compostagem é direcionada no sentido de maximizar a taxa de decomposição natural, a mistura de matérias-primas deve ser desenvolvida de modo a aperfeiçoar estas condições dentro da meda no que concerne à nutrição, oxigênio, conteúdo de umidade e pH de forma a atingir uma alta taxa de decomposição microbiana. Uma receita ideal de compostagem permite a quebra microbiana rápida da fração orgânica do composto, ao mesmo tempo em que, permitindo uma redução dos impactos sobre o meio ambiente.

O Quadro 01 apresenta as características importantes para o desenvolvimento de um processo satisfatório de compostagem de alguns materiais comuns utilizados em produção de composto orgânico.

Quadro 01 – Características de materiais comuns para compostagem

<b>Material</b>	<b>N (peso seco) (%)</b>	<b>C/N (peso seco)</b>	<b>Umidade (%)</b>
<b>Bovinos de corte</b> - Confinamento com cama	1,30	4,8	68
<b>Bovinos de leite</b> - Dejetos líquidos	2,40 – 3,60	16	88 – 92
- Dejetos sólidos separados do líquido	1,45	23	77
<b>Suínos</b> - Dejetos líquidos	0,15 – 5,0	20	93 – 99
- Dejetos sólidos separados do líquido	0,35 – 5,0	1,9	75 – 80
<b>Aves</b> - Cama de frango	4,70	15	25
- Cama de peru	4,20	14	33
<b>Dejetos equinos com cama</b> - Com palha	1,40 – 2,30	22 – 50	59 – 79
- Com aparas	1,50	27	67
	0,90	65	72
<b>Dejetos ovinos</b>	1,30 – 3,09	13 - 20	60 - 75
<b>Palha</b> - Palha geral	0,30 – 1,10	48 – 150	4 – 27
- Palha de aveia	0,60 – 1,10	48 – 98	14
- Palha de trigo	0,30 – 0,50	100 – 150	10
- Palha de cevada	0,75 – 0,78	-	12 – 18
<b>Feno de capim (leguminosas)</b>	1,80 – 3,60	15 - 19	10 - 30
<b>Papelão</b>	0,10	563	8,0
<b>Folhas</b>	0,50 – 1,30	40 - 80	38
<b>Papel</b>	0,20 – 0,25	127 - 178	18 – 20
<b>Serragem</b>	0,06 – 0,80	200 - 750	19 – 65
<b>Pedaços de madeira</b>	0,04 – 0,23	212 - 1313	15 - 40

Fonte: Adaptado de ALBERTA (2005).

### 3.4 Cálculos para definição de receita para compostagem

TRAUTMANN & KRASNY (1997) descreveram a seguinte fórmula (EQ. 01) para determinação da quantidade, em massa (kg), do propiciador/suporte de compostagem, necessária para tratar, em termos de controle de umidade, uma massa desejada pré-definida de dejetos:

$$EQ. 01 \rightarrow W_2 = \frac{(W_1 \times G) - (W_1 \times M_1)}{M_2 - G}$$

Onde:

$W_2$  = massa (kg) do meu propiciador a ser utilizado para tratar o meu dejetos;

$W_1$  = massa (kg) do dejetos a ser tratado

G = umidade desejada;

$M_1$  = Umidade (%) do meu dejetos a ser tratado;

$M_2$  = Umidade (%) do meu propiciador.

Os mesmo autores descreveram ainda a seguinte fórmula (Eq. 02) para determinar a quantidade, em massa (kg), do propiciador/suporte de compostagem, necessária para balancear uma massa desejada e pré-definida de dejetos em termos de relação C/N:

$$EQ. 02 \rightarrow W_2 = \frac{(W_1 \times N_1) \times \left( R - \left( \frac{C_1}{N_1} \right) \right) \times (100 - M_1)}{N_2 \times \left( \left( \frac{C_2}{N_2} \right) - R \right) \times (100 - M_2)}$$

Onde:

$W_2$  = Massa (kg) do meu propiciador/suporte a ser utilizado para balancear uma massa desejada de dejetos em termos de relação C/N;

$W_1$  = Massa total conhecida do meu dejetos a ser tratado;

$N_1$  = Conteúdo (%) de nitrogênio do meu dejetos;

R = Relação C/N necessária à compostagem;

$C_1$  = Conteúdo de carbono (%) de meu dejetos;

$M_1$  = Umidade (%) do meu dejetos a ser tratado;

$N_2$  = Conteúdo (%) de nitrogênio do propiciador/suporte;

$C_2$  = Conteúdo de carbono (%) do meu propiciador/suporte;

$M_2$  = Umidade (%) do meu propiciador/suporte;

TRAUTMANN & KRASNY (1997) orientaram a aplicação das fórmulas de forma a obter uma mistura balanceada adequadamente em termos de umidade e relação C/N para obtenção de um processo satisfatório de compostagem e conseqüente obtenção de um composto orgânico de aplicação viável.

### 3.5 Caracterização dos dejetos suínos no Brasil

Segundo SOUZA et al. (2009) até a década de 1970, os dejetos dos suínos não representavam problema ao meio ambiente, uma vez que a suinocultura intensiva era incipiente. O desenvolvimento da suinocultura industrial trouxe consigo a produção de grande quantidade de dejetos que, pela falta de tratamento adequado, vem se transformando em uma das maiores fontes poluidoras dos mananciais hídricos, principalmente nas regiões de intensa produção.

As características dos dejetos variam em função de espécie, sexo, tamanho, raça e atividade dos animais, além de serem afetadas por fatores ambientais como temperatura e umidade do ar e, ainda, pela alimentação fornecida, em função da sua digestibilidade, do seu conteúdo de proteínas, de fibras etc. Por meio da caracterização dos resíduos, pode-se verificar a viabilidade da adoção de processos de tratamento, como a digestão anaeróbia, por exemplo, ou mesmo a possibilidade de indicação de microrganismos mais adequados a um dado substrato (NOGUEIRA, 1986; LUCAS JÚNIOR, 1994).

O conhecimento das características dos dejetos dos animais é essencial para o projeto dos sistemas de tratamento e para a avaliação das consequências negativas do manejo e da disposição inadequados desse resíduo, como o lançamento direto em cursos d'água, tendo em vista que um apreciável volume produzido e lançado resulta em consequências danosas. Por exemplo, o nitrogênio oxidável está diretamente ligado à concentração de nitratos e nitritos nas águas, responsáveis pela cianose (metahemoglobina), doença infantil. O conjunto das concentrações de N, P e C nos resíduos é o maior responsável pela eutrofização dos cursos d'água, fenômeno que corresponde ao aumento da atividade vegetal aquática com alta demanda de oxigênio (LUCAS JÚNIOR, 1994).

A propagação de odores e a contaminação por microrganismos patogênicos presentes nos resíduos são outras ocorrências relacionadas aos componentes do resíduo, que justificam o conhecimento dessas características (SILVA, 1973).

A massa de dejetos produzidos varia conforme a fase de desenvolvimento do animal. Suínos em crescimento, com peso corporal vivo entre 18 e 100 kg, apresentaram produção média de 63,4 kg.dia<sup>-1</sup>, contra os 106 kg.dia<sup>-1</sup> dos suínos de 0 a 18 kg; porcas em gestação, de 27,2 kg.dia<sup>-1</sup>; porcas em lactação, de 60 kg.dia<sup>-1</sup>; e machos adultos, de 20,5 kg.dia<sup>-1</sup> (MOFFIT, 1999).

KONZEN (1983) fez referência à produção diária de 2,3 a 2,75 kg de esterco puro fresco por cabeça de suínos em fase de terminação.

Considerando os dejetos líquidos (águas residuárias) produzidos pelos referidos animais, KONZEN (1983) relatou a quantidade de 7 litros por animal ao dia.

SILVA (1973) conduziu trabalho de caracterização de resíduos (fezes + urina + restos de alimento + água de lavagem do piso) de instalações de confinamento de suínos, indicando como médias dos resultados valores de quantidade produzida de 6% do peso vivo, umidade de 76%, densidade de  $1.040 \text{ kg.m}^{-3}$ , sólidos totais de  $65 \text{ g.l}^{-1}$ , sólidos voláteis de 80% dos totais ( $52 \text{ g.l}^{-1}$ ), relação entre demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio (DBO/DQO) de 0,43, nitrogênio total de 4,7% dos sólidos totais, fósforo de 2,7% dos sólidos totais e potássio de 2,4% dos sólidos totais para suínos com peso vivo de 100 kg.

Considerando-se suínos com 100 kg de peso vivo e usando dados de MERKEL (1981), ASAE (1994), MOFFIT (1999) e BRANDÃO (2000), podem ser calculados os valores de 28.000 a 45.000  $\text{mg.l}^{-1}$  para DBO<sub>5</sub>; 50.000 a 90.000  $\text{mg.l}^{-1}$  para DQO; 4.570 a 9.145  $\text{mg.l}^{-1}$  para nitrogênio, 2.500 a 5.300  $\text{mg.l}^{-1}$  para fósforo total, 4.140  $\text{mg.l}^{-1}$  para potássio, 950  $\text{mg.l}^{-1}$  para sódio, 70.000 a 150.000  $\text{mg.l}^{-1}$  para sólidos totais, 50.000 a 120.000  $\text{mg.l}^{-1}$  para sólidos voláteis e 27.000 a 64.000  $\text{mg.l}^{-1}$  para carbono.

### **3.6 Compostagem usada para tratamento de dejetos suínos**

Segundo PAILLAT et al. (2005), citado por OLIVEIRA (2006), o sistema de tratamento via compostagem dos resíduos da suinocultura é uma prática que vem crescendo entre os criadores de suínos na Europa.

O mesmo autor ainda citou que esta técnica foi desenvolvida como um método alternativo de manejo dos dejetos oriundos da criação de suínos d visa modificar as características químicas e físicas dos dejetos, dando origem a um produto final de alto valor agronômico.

A alternativa de tratamento de dejetos suínos pelo processo de compostagem é extremamente importante e absolutamente segura para as regiões de pequenas propriedades, com alta concentração populacional de suínos e pouca área agrícola disponível, sendo viável para a maioria dos produtores, desde que adequados os dimensionamentos para cada volume de dejetos gerados pela produção (OLIVEIRA, 2004; DAI PRÁ et al., 2005; PAILLAT et al., 2005, citados por OLIVEIRA, 2006).

Os odores são fortemente reduzidos pelo processo de compostagem, construindo-se uma das vantagens deste tratamento sobre os tratamentos convencionais que utilizam

lagoas anaeróbias e facultativas (PAILLAT et al. citado por OLIVEIRA, 2006). Esses autores, estudando as emissões de gases em sistema de tratamento dos dejetos de suínos via compostagem, concluíram que: primeiramente 65% do total de carbono inicial é perdido, sendo 57% perdido sob a forma de CO<sub>2</sub>, 6% sob a forma de CH<sub>4</sub> e 2% como composto orgânico volátil; um segundo ponto considerado é que do total inicial de nitrogênio, 60% é perdido, sendo 10% sob a forma de NH<sub>3</sub>, 6% sob a forma de N<sub>2</sub>O e 44% sob a forma de N<sub>2</sub>.

Trabalhos realizados por OLIVEIRA et al. (2003a) demonstraram a possibilidade do uso de compostagem para tratar dejetos de suínos, utilizando-se maravalha ou serragem de madeira como fonte de carbono propiciadora de compostagem. Os resultados demonstraram acúmulo de nutrientes no composto e evaporação d'água contida nos dejetos, obtendo-se uma taxa de incorporação (kg de esterco bruto por kg MS no substrato) de 1:8 a 9 para a maravalha e serragem (OLIVEIRA et al., 2003a; NUNES, 2003).

Os resultados obtidos nas avaliações de unidades de compostagem realizados por MAZÉ et al. (1999); e DAI PRÁ (2006), citados por OLIVEIRA (2006), demonstraram a viabilidade do sistema e observaram que as temperaturas desenvolvidas na biomassa mantiveram-se entre 40 a 55°C por um período longo, sendo registradas elevações médias de 10°C, logo após a incorporação dos dejetos ao substrato.

Segundo OLIVEIRA (2006), o teor de umidade é um dos principais fatores ambientais de interesse para o fornecimento de um meio de transporte de nutrientes dissolvidos para a atividade metabólica e fisiológica dos micro-organismos. Além disso, a disponibilidade de água, segundo o mesmo autor, está diretamente relacionada ao suprimento de oxigênio, o que também afeta a atividade microbiana. Valores baixos de umidade podem causar a desidratação no interior da meda de compostagem, o que inibe o processo biológico, trazendo a estabilidade física, porém instabilidade biológica. Por outro lado, umidade elevada pode promover condições de anaerobiose no interior das medas (OLIVEIRA, 2006).

BARRINGTON et al. (2003), estudando o efeito da aeração passiva e ativa na compostagem de dejetos de suíno com 3 substratos diferentes (maravalha, palha e feno) em umidades de 60, 65 e 70%, concluíram ser a umidade um fator determinante nos padrões de temperatura alcançados, principalmente, no caso dos substratos maravalha e palha. No caso da maravalha, a umidade de 65% produziu temperaturas altas para ambos os regimes de aeração adotados (ativo e passivo). No caso da palha, a umidade mais alta (70%) proporcionou as temperaturas mais altas também para ambos os regimes de aeração.

### **3.7 Unidade de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos**

OLIVEIRA (2006) desenvolveu no Sul do Brasil, nas instalações da EMBRAPA Suínos e Aves um experimento de instalação de uma Unidade de Compostagem Para o Tratamento de Dejetos Suínos (Sistema Manual).

A tecnologia de compostagem apresentada pelo autor não é, de certa forma, interessante para utilização dos pequenos criadores sul-mineiros, devido ao custo elevado do projeto e à grande necessidade de disponibilidade de dejetos.

O projeto do Sistema Manual de Unidade de Compostagem para o Tratamento de Dejetos de Suínos proposto por OLIVEIRA (2006) prevê a impregnação seriada de dejetos à maravalha de madeira. Essa incorporação é automática, com dejetos conduzidos diretamente da granja por um tubo de PVC (150 mm) até as caixas de depósito, onde são misturados ao propiciador/suporte de compostagem maravalha de madeira.

Em médio e longo prazo esse sistema de tratamento pode ser interessante se adotado pela granja do IFSM, porém para os pequenos criadores da região este empreendimento requer investimentos, que muitas vezes, do ponto de vista dos criadores, é desnecessário.

O ponto mais interessante do projeto de OLIVEIRA (2006) é a verificação da necessidade de evitar o desperdício de água nos bebedouros dos animais e nas tarefas de limpeza das instalações, o que não altera os valores naturais de umidade dos dejetos. A captação e destinação correta da água da chuva que escoam pelos telhados das instalações também é uma forma importante de se evitar o aumento da umidade dos dejetos.

### **3.8 Vantagens e desvantagens do uso da compostagem de dejetos suínos**

#### **3.8.1 Vantagens**

Segundo OLIVEIRA (2006), a compostagem atua diretamente no volume total dos dejetos produzidos na granja, reduzindo-os consideravelmente, e age também na maturação dos mesmos tornando-os menos agressivos em termos de contaminação microbiana.

Na fase de maturação do composto, o potencial risco de poluição é reduzido pela compostagem aeróbia da biomassa, eliminando grande parte dos micro-organismos e estabilizando a matéria orgânica (OLIVEIRA, 2006).

Segundo o mesmo autor o nitrogênio é fixado no composto não sofrendo os efeitos da lixiviação quando utilizado como adubo orgânico, em lavouras.

A oportunidade de extração deste nitrogênio na forma orgânica é bem maior do que quando na forma mineral, minimizando desta forma a possibilidade de lixiviação para as águas subterrâneas (KONZEN, 2000).

No tratamento de dejetos na forma líquida em lagoas ou estações de tratamento e fermentação é anaeróbia, gerando odores bastante desagradáveis, porém no tratamento na forma de compostagem sólida a fermentação é aeróbia, reduzindo consideravelmente a emissão desses odores (OLIVEIRA, 2006).

### **3.8.2 Desvantagens**

Segundo OLIVEIRA (2006) as desvantagens do uso de compostagem são as seguintes: necessidade de previsão de substrato para a utilização no leito de compostagem; custo do substrato; exigência de um monitoramento constante para a avaliação da evolução do processo de compostagem; necessidade de uma instalação coberta para operação do sistema; maior necessidade de mão-de-obra em sistema de compostagem manual.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Descrição do local de realização do trabalho

O trabalho foi realizado no município de Inconfidentes, localizado no Sul do estado de Minas Gerais (Figura 02), na Fazenda Experimental do Instituto Federal do Sul de Minas Gerais (IFSMG) – Campi Inconfidentes, situada nas coordenadas de latitude 22° 19' 1,2'' S, longitude 46° 19' 40,8'' W e altitude média de 855 m. O clima da região, classificado segundo KOËPPEN (1931) é do tipo tropical úmido, com duas estações definidas: chuvosa (outubro a março) e seca (abril a setembro), com média anual de precipitação de 1500 mm e temperatura média de 19°C.



Figura 02 – Mapa de localização do município de Inconfidentes/MG (Fonte: *Google Maps*).

## 4.2 Composição das misturas para compostagem

Foram realizados experimentos para compostagem de quatro misturas com composições diferentes a fim de determinar uma mistura ótima para a compostagem dos dejetos da suinocultura utilizando-se da maravalha de madeira como propiciador/suporte para compostagem. O Quadro 02 mostra os ingredientes das misturas e suas respectivas quantidades.

Quadro 02 – Misturas para compostagem

<b>Misturas</b>	<b>Ingredientes</b>
<b>01</b>	Esterco suíno fresco (40 kg) + cana-de-açúcar picada (20 kg) + palha de café (56 kg)
<b>02</b>	Esterco suíno fresco (60 kg) + palha de café (20 kg) + maravalha de madeira (10 kg)
<b>03</b>	Esterco suíno fresco (60 kg) + maravalha de madeira (20 kg)
<b>04</b>	Esterco suíno fresco (10 kg) + maravalha de madeira (05 kg) + cama equina (56 kg)

Fonte: FERNANDES, 2009.

## 4.3 Tecnologia utilizada nos experimentos

As misturas foram realizadas em um chamado “compostor rotor”, composto por um tambor com capacidade para 200 litros ou cerca de 120 kg de material, montado apoiado sobre um suporte de metal com roldanas a fim de permitir sua rotatividade para mistura e areação adequadas dos materiais.

O tambor é atravessado horizontalmente em uma das extremidades horizontais por um tubo de PVC com diâmetro de 07 centímetros e pequenos furos em sua extensão, que detém a função de permitir a entrada de ar no interior da mistura e dar vazão ao chorume produzido durante o processo.

O compostor detém uma porta para entrada do material aberta em uma das extremidades horizontais e três pequenos furos que permitem a inserção do termômetro para aferição da temperatura em diferentes pontos sem que haja a necessidade da abertura da porta.

O compostor foi desenvolvido como uma tecnologia piloto para experimentos laboratoriais de compostagem com o objetivo de gerenciar o processo de compostagem em laboratório visando representar o processo real de forma realista sem necessidade de grandes e onerosas obras que podem consumir muitos recursos sem gerar resultados positivos e

satisfatórios. A desvantagem desta tecnologia frente à compostagem ao ar livre é a falta de aeração obtida através do reviramento do material e do vento, por isto tentou-se compensar essa desvantagem com a implantação do mecanismo de rotação do compostor, o que permite a entrada de ar.

As Figuras 03 e 04 mostram o compostor rotor montado para utilização no experimento.



Figura 03 – Composto rotor



Figura 04 – Porta aberta no compostor rotor para inserção dos materiais

#### **4.4 Pesagem e mistura dos ingredientes**

Os materiais foram pesados em balança mecânica localizada no setor de suinocultura da Fazenda Experimental do IFSMG – Inconfidentes/MG (FEIFSM).

As misturas foram realizadas imediatamente após as pesagens. A mistura 01 foi realizada no dia 30 de abril de 2009; a mistura 02 foi realizada no dia 19 de maio de 2009; a

mistura 03 foi realizada no dia 10 de junho de 2009; e a mistura 04 foi realizada no dia 13 de agosto de 2009, sendo esta a última mistura experimentada.

As misturas 01 e 02 foram inseridas no compostor e este foi instalado sob uma cobertura de lona plástica, sem paredes (Figura 05), localizada próxima ao setor de criação de animais de pequeno porte da FEIFSM. Já as misturas 03 e 04 foram inseridas no compostor, sendo este instalado em ambiente fechado, nas dependências do antigo galpão de criação de frangos de corte da FEIFSM.



Figura 05 – Cobertura onde foi instalado o compostor rotor nas misturas 01 e 02.

Os ingredientes, para as quatro misturas, foram misturados manualmente sobre uma lona plástica, antes de sua inserção no compostor rotor, para que estivessem bem misturados no momento do enchimento do compostor.

As misturas 01, 02 e 03 tiveram as proporções dos ingredientes definidas de formas empíricas de forma a definir proporções que regulassem a umidade e de escolher materiais com relação C/N satisfatória segundo a literatura.

Para a mistura 04, a fim de definir a quantidade em massa do propiciador/suporte maravalha de madeira que seria necessária para balancear uma quantidade pré-definida de esterco sólido de suíno, em termos de umidade, utilizou-se a Equação 01 proposta por TRAUTMANN & KRASNY (1997) conforme item 3.4.

A fim de definir, ainda para a mistura 04, a quantidade de massa do meu propiciador/suporte maravalha de madeira que seria necessária para balancear uma quantidade pré-definida de esterco sólido de suíno, em termos de relação C/N, utilizou-se a Equação 02 proposta por TRAUTMANN & KRASNY (1997) conforme item 3.4.

Devido à utilização das fórmulas para definição da quantidade de ingredientes a serem utilizados na mistura 04, ainda será necessária a utilização de um terceiro ingrediente

para finalizar a regulação de umidade, para tanto se decidiu utilizar a cama equina, com relação C/N, segundo ALBERTA (2005) de 27/1, o mais próxima do ideal para a obtenção de composto orgânico (30/1). Para definição da quantidade de cama equina a ser utilizada utilizou-se novamente a Equação 01, proposta por TRAUTMANN & KRASNY (1997).

O Quadro 03 a seguir mostra as características de umidade e relação C/N dos ingredientes utilizados para a realização das misturas 01, 02, 03 e 04.

Quadro 03 – Características de umidade e relação C/N dos ingredientes utilizados nas misturas do experimento.

Ingredientes	Umidade (%)		Relação C/N	
	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Esterco suíno	77,5	96	1,9	20
Cana-de-açúcar	75		19	
Palha-de-café	15,5		123	
Maravalha de madeira	15		475	
Cama equina	67		27	

Fonte: Adaptado de ALBERTA (2005).

#### 4.5 Aferição da temperatura

Nas quatro misturas a temperatura foi aferida diariamente, por volta das 17h00min, para que se obtivesse uniformidade e clareza na precisão dos dados obtidos.

Para aferição da temperatura foi utilizado um termômetro digital portátil, sensor tipo espeto, modelo RTDP – 700 – E (Figura 06).



Figura 06 – Termômetro digital portátil RTDP – 700 – E

As temperaturas da mistura 01 foram aferidas entre os dias 30 de abril e 08 de maio de 2009; a mistura 02 teve suas temperaturas aferidas entre os dias 19 de maio e 01 de junho de 2009; as temperaturas da mistura 03 tiveram suas aferições realizadas entre os dias 10 e 16 de junho de 2009; finalizando os experimentos, a mistura 04 teve suas temperaturas aferidas entre os dias 13 e 22 de agosto de 2009. Lembrando que as aferições foram realizadas diariamente no mesmo horário.

As temperaturas foram registradas em planilhas pela média aritmética de valores colhidos em três pontos no interior das misturas. Os valores geraram gráficos com as curvas de variação das temperaturas de cada mistura. Para confecção dos gráficos foi utilizado o software Microsoft Excel – Pack Office 2007.

#### **4.6 Testes de umidade e materiais voláteis**

De todas as misturas foram, no momento do enchimento do compostor retiradas amostras com cerca de 70 a 100 gramas para avaliação dos teores de umidade e materiais voláteis (matéria orgânica).

Para os testes de umidade foi utilizada a metodologia citada por MOHEE & CHOEFI (2006), anotando-se o peso da amostra úmida, colocando-se a amostra em estufa a 105°C por um período de 24 horas e em seguida anotando-se o peso da amostra seca. A diferença percentual de peso entre as pesagens antes e depois da secagem define a porcentagem de umidade da mistura. A estufa utilizada para as análises de umidade foi a estufa localizada no laboratório de irrigação e drenagem da IFSM em Inconfidentes/MG.

Para os testes de materiais voláteis, foi também seguida a metodologia citada pelos mesmos autores, pesando-se e separando-se as amostras em cadinhos que foram levados a um forno (mufla) a 550° C por um período de 3 horas. O material restante após a queima foi novamente pesado. A diferença de peso entre as amostras antes e depois da queima define o percentual de matérias voláteis contidos na mistura, ou seja, o percentual de matéria orgânica da mistura. O forno utilizado para as análises foi a mufla do laboratório de análise de solos do IFSM.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Mistura 01

A Mistura 01 teve sua temperatura monitorada durante 09 dias e não havendo elevação da temperatura a valores favoráveis ao desenvolvimento do processo de compostagem a aferição da temperatura foi interrompida e a mistura foi considerada inadequada para realização de compostagem a fim de obter composto orgânico para fins de uso como fertilizante.

A Figura 07 ilustra a curva de temperatura obtida por meio do processamento dos dados de temperatura da Mistura 01.

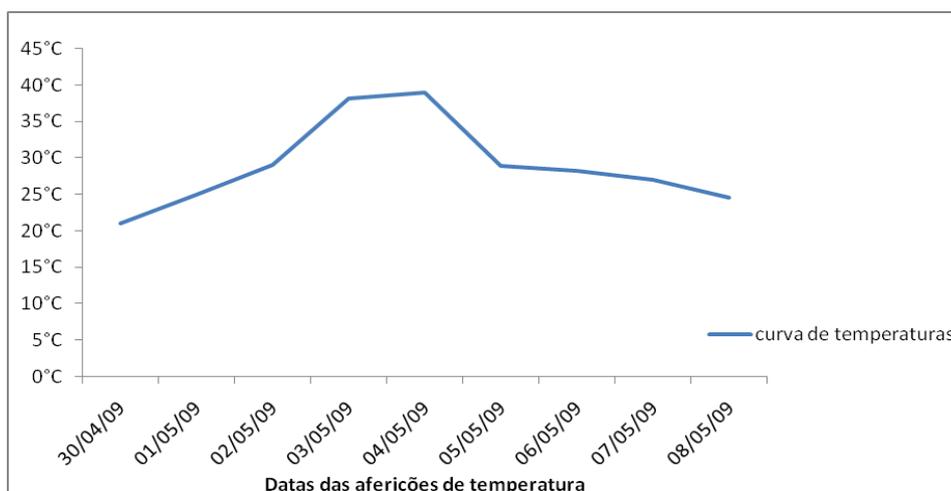


Figura 07 – Curva representativa das temperaturas atingidas durante o processo desenvolvido pela Mistura 01

A análise de umidade da amostra da Mistura 01 resultou na verificação de um valor de 66,18% de umidade na mistura do momento o enchimento do compostor. O valor é considerado elevado, mas esperava-se que a umidade em excesso fosse absorvida pela quantidade de palha-de-café contida na mistura. Considerou-se a umidade elevada a causa da não elevação da temperatura na Mistura 01, o que impossibilitou o estabelecimento de atividade microbiana termófila e consequentemente impossibilitou o desenvolvimento do processo de compostagem. Considera-se a palha-de-café, na quantidade utilizada insuficiente e ineficiente para fins de absorção de umidade para obtenção de um processo de compostagem satisfatório. Mesmo a utilização da cana-de-açúcar picada na mistura, como forma de fornecer combustível para o desenvolvimento de atividade microbiana, foi neutralizada pela umidade elevada.

O valor encontrado na análise da quantidade de matéria orgânica da mistura foi de 91,33%. Se o processo de compostagem houvesse se desenvolvido de forma satisfatória grande quantidade de material volátil (matéria orgânica) teria sido consumida pelos microorganismos durante a decomposição. Essa decomposição deveria ter se iniciado ao máximo em dois dias após a realização da mistura e seria indicada com a elevação da temperatura a valores por volta dos 65 a 70°C.

A aeração fornecida à mistura dentro do compostor rotor pode não ter sido suficiente devido ao valor elevado de umidade e à baixa porosidade da mistura (ausência de oxigênio).

A alta umidade deve-se à composição dos dejetos suínos disponíveis no setor de suinocultura da FEIFSM. Não existe um processo adequado de separação de resíduos sólidos e líquidos, ocorrendo ainda problemas com o aumento da umidade natural devido à entrada de águas pluviais nas caixas de armazenamento dos dejetos. Pode-se observar ainda, dentro dos galpões de criação dos animais, problemas com utilização de água em excesso na lavagem das instalações e desperdício de água nos bebedouros dos animais. Toda essa água tem o mesmo destino dos dejetos, o que aumenta a umidade dos mesmos.

## **5.2 Mistura 02**

A Mistura 02 teve sua temperatura monitorada durante 14 dias e não havendo elevação da temperatura a valores favoráveis ao desenvolvimento do processo de compostagem a aferição da temperatura foi interrompida e a mistura foi considerada

inadequada para realização de compostagem a fim de obter composto orgânico para fins de uso como fertilizante.

A Figura 08 ilustra a curva de temperatura obtida através do processamento dos dados de temperatura da Mistura 02.

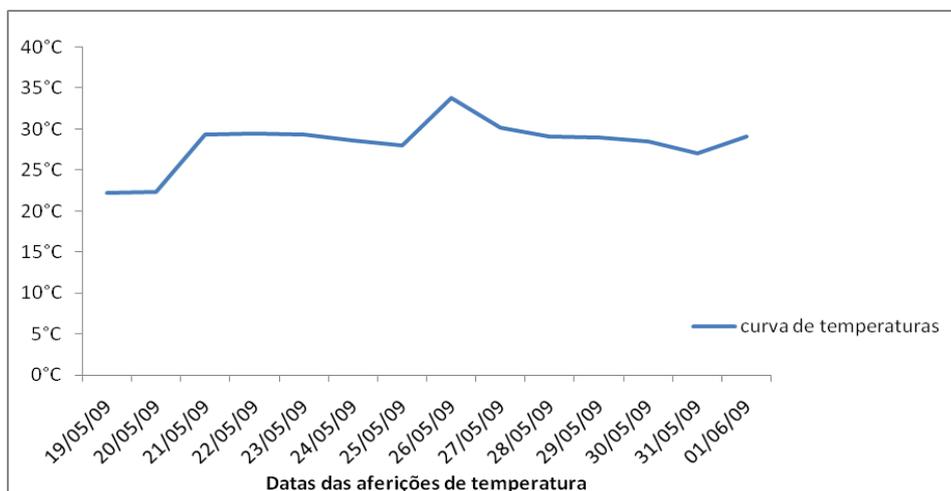


Figura 08 – Curva representativa das temperaturas atingidas durante o processo desenvolvido pela Mistura 02

A análise de umidade da amostra da Mistura 02 resultou na verificação de um valor de 66,80% de umidade na mistura do momento o enchimento do compostor. O valor é considerado elevado, mas esperava-se que a umidade em excesso fosse absorvida pela quantidade de palha-de-café contida na mistura. Considerou-se a umidade elevada uma das causas da não elevação da temperatura na Mistura 02, assim como na Mistura 01 o que impossibilitou o estabelecimento de atividade microbiana termófila e conseqüentemente impossibilitou o desenvolvimento do processo de compostagem. Considerou-se a palha-de-café, na quantidade utilizada insuficiente e ineficiente para fins de absorção de umidade para obtenção de um processo de compostagem satisfatório, por isso, aos 08 dias após o enchimento do compostor foi inserida uma quantidade de 10 kg de maravalha de madeira, a fim de melhorar o processo de absorção da umidade em excesso e fornecer uma fonte de carbono maior para o processo. A inserção da maravalha não surtiu o efeito desejado, não impedindo a continuação da diminuição da temperatura. Considerou-se a quantidade de maravalha insuficiente para o fim desejado.

O valor encontrado na análise da quantidade de matéria orgânica da mistura foi de 96,21%, sendo este valor maior que o da Mistura 01. Tal como na Mistura 01, se o processo de compostagem houvesse se desenvolvido de forma satisfatória grande quantidade de material volátil (matéria orgânica) teria sido consumida pelos micro-organismos durante a

decomposição. Essa decomposição deveria ter se iniciado ao máximo em dois dias após a realização da mistura e seria indicada com a elevação da temperatura a valores por volta dos 65 a 70°C, temperatura essa que não atingiu valores maiores que 34°C.

Considerou-se então a aeração fornecida à mistura dentro do compostor rotor insuficiente devido ao valor elevado de umidade e à baixa porosidade da mistura o que favoreceu condições de anaerobiose. Tomou-se como medida, aos 07 dias após o enchimento do compostor, sua rolagem, para fornecimento de mais oxigênio no interior do compostor; tal medida não surtiu efeito devido ao adiantamento do processo anaeróbio de fermentação dos resíduos, que havia se instituído devido à falta de oxigênio.

Outro fator considerado como contribuinte para o não aumento da temperatura e estabelecimento do processo de compostagem foi a influência do clima, visto que o compostor contendo as Misturas 01 e 02 foi instalado ao ar livre, apenas tendo como proteção do ar frio e do vento uma cobertura de lona plástica. A época do ano (meses de maio e junho) é de ventos frios e intensos na região onde se localizou o experimento.

Para minimizar os efeitos do clima frio decidiu-se por instalar as Misturas 03 e 04 em ambiente fechado e semi-protegido das ações climáticas.

### **5.3 Mistura 03**

A Mistura 03 teve sua temperatura monitorada durante apenas 07 dias e não havendo elevação da temperatura a valores favoráveis ao desenvolvimento do processo de compostagem a aferição da temperatura foi interrompida e a mistura foi considerada inadequada para realização de compostagem a fim de obter composto orgânico para fins de uso como fertilizante.

As temperaturas da Mistura 03 não atingiram valores maiores que 27°C, sendo a Mistura 03 considerada a menos eficiente para o estabelecimento de processos de compostagem.

A Figura 08 ilustra a curva de temperatura obtida através do processamento dos dados de temperatura da Mistura 03.

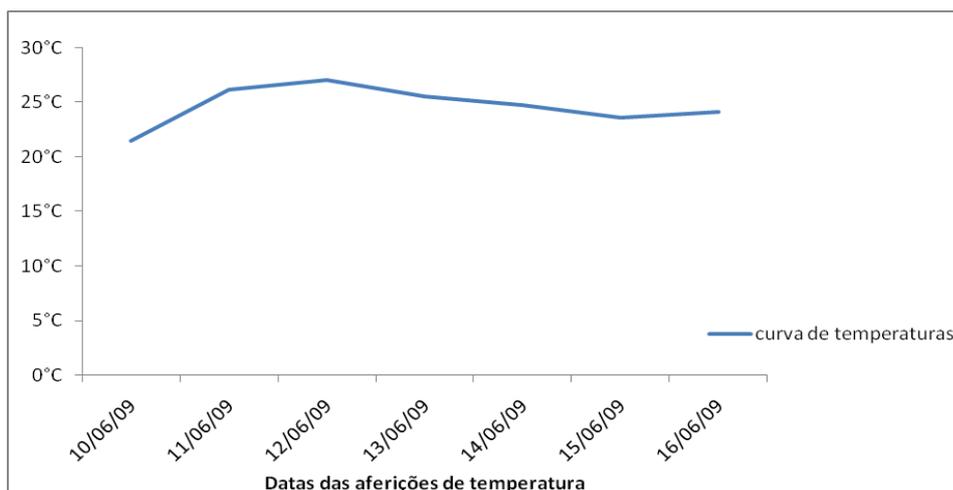


Figura 09 – Curva representativa das temperaturas atingidas durante o processo desenvolvido pela Mistura 03

A análise de umidade da amostra da Mistura 03 resultou na verificação de um valor de 72,20% de umidade na mistura do momento o enchimento do compostor. O valor é considerado elevado, ainda maior do que o das duas misturas anteriores. Isso mostra o aumento na alteração das propriedades dos dejetos oriundos da granja suína da FEIFSM pelo manejo da criação. Esperava-se que a umidade em excesso fosse absorvida pela quantidade de maravalha de madeira inserida na mistura. Visto que na Mistura 03 a palha de café foi totalmente substituída pela maravalha de madeira, a quantidade de maravalha foi considerada insuficiente no objetivo de redução de umidade.

Considerou-se, mais uma vez, a umidade elevada a causa da não elevação da temperatura na Mistura 03, assim como nas Misturas 01 e 02 o que impossibilitou o estabelecimento de atividade microbiana termófila e conseqüentemente impossibilitou o desenvolvimento do processo de compostagem.

O valor encontrado na análise da quantidade de matéria orgânica da mistura foi de 97,40%, sendo este valor maior que o da Mistura 01 e ainda maior que o da Mistura 02. Tal como nas Misturas anteriores, se o processo de compostagem houvesse se desenvolvido de forma satisfatória grande quantidade de material volátil (matéria orgânica) teria sido consumida pelos micro-organismos durante a decomposição. Essa decomposição deveria ter se iniciado ao máximo em dois dias após a realização da mistura e seria indicada com a elevação da temperatura a valores por volta dos 65 a 70°C.

É certo que o maior problema encontrado é a não uniformidade nas características, principalmente na umidade dos dejetos disponíveis para compostagem na suinocultura da

FEIFSM. A quantidade de palha foi insuficiente, pois a umidade do material estava ainda maior do que a do material utilizado nas Misturas 01 e 02.

#### 5.4 Mistura 04

A Mistura 04 teve sua temperatura monitorada durante 10 dias. A Mistura 04 atendeu, nos primeiros dois dias, o esperado de elevação da temperatura, chegando a valores próximos dos 40° C, porém, esse valor não se manteve. A causa da queda da temperatura foi considerada a quantidade baixa de maravalha de madeira utilizada, mesmo esta tendo sido definida por meio dos cálculos da equação (Anexo I). Visto a queda e não re-aumento da temperatura a aferição de temperaturas da Mistura 04 foi interrompida 10 dias após o enchimento do compostor.

A Figura 10 ilustra a curva de temperatura obtida através do processamento dos dados de temperatura da Mistura 04.

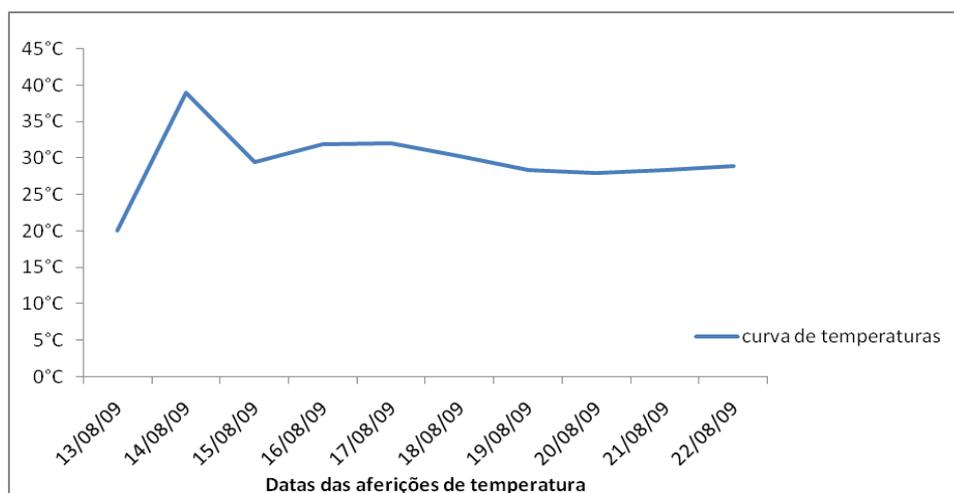


Figura 10 – Curva representativa das temperaturas atingidas durante o processo desenvolvido pela Mistura 04

A análise de umidade da amostra da Mistura 04 resultou na verificação de um valor de 69,07% de umidade na mistura do momento o enchimento do compostor, sendo este valor o menos entre as quatro Misturas. O valor é, ainda, considerado elevado, porém atende melhor aos requisitos básicos para instalação do processo de compostagem.

Considera-se, mais uma vez, a umidade elevada a causa da não elevação da temperatura na Mistura 04. O cálculo para definição da receita permitiu a adequação dos fatores relação C/N e umidade à realização de compostagem, porém alguns cuidados deveriam ser tomados com relação à inserção do material no compostor. Sugere-se a inserção

seriada de dejetos na mistura de maravalha de madeira com cama equina para experimentos futuros. A inserção dos dejetos aos poucos pode permitir a absorção mais adequada de umidade pela maravalha de madeira favorecendo o estabelecimento do processo de compostagem.

O valor encontrado na análise da quantidade de matéria orgânica da mistura foi de 92,45%. Tal como nas Misturas anteriores, se o processo de compostagem houvesse se desenvolvido de forma satisfatória grande quantidade de material volátil (matéria orgânica) teria sido consumida pelos micro-organismos durante a decomposição.

## **5.5 Controle de odor**

Constatou-se que o maior problema enfrentado pelo IFSM com relação ao setor de suinocultura é o aparecimento de odores desagradáveis oriundos da decomposição anaeróbia dos dejetos nas lagoas de tratamento e ainda oriundos do interior das instalações de criação.

O IFSM enfrenta problemas com a comunidade local que apresenta periodicamente reclamações formais com relação à presença de mau cheiro no município, oriundo da criação de suínos do Instituto.

As quatro Misturas, ainda que não desenvolvessem o processo de compostagem de maneira satisfatória, apresentaram-se eficientes no controle do odor desagradável dos dejetos.

O simples fato de permitir o mínimo de aeração e diminuir a umidade do material por si só já diminui a liberação de mau cheiro. A condução adequada do manejo das lagoas de tratamento e da destinação dos dejetos, além, é claro, da manutenção das características naturais dos dejetos, com relação á umidade é a melhor maneira de mitigar os problemas relacionados ao odor desagradável que acomete a comunidade de Inconfidentes.

## **5.6 Propostas para trabalhos futuros**

Após a constatação dos diversos problemas que envolvem a adequação de uma formulação ideal para obtenção do processo de compostagem de dejetos suínos surge a oportunidade de se desenvolverem projetos para desenvolvimento de tecnologias de compostagem para estes dejetos; e também de se desenvolverem métodos adequados de

manejo, coleta, armazenamento e destinação dos dejetos, a fim de manter suas características naturais e possibilitar a adequação de uma receita ideal para sua compostagem.

Sugere-se também o desenvolvimento de um projeto piloto baseado no trabalho proposto por OLIVEIRA (2006) (item 3.7) no IFSM, o que levantaria a bandeira do tratamento adequado de resíduos e ainda minimizaria os problemas da comunidade com o odor oriundo da criação.

O desenvolvimento de projetos de pesquisa na área de tratamento de resíduos é uma necessidade mundial vista a atual situação e alcance das preocupações com o meio ambiente. Um ambiente saudável pode ser alcançado com o trabalho em equipe e com a disseminação de técnicas e idéias inovadoras para possibilitar a proteção e manutenção da disponibilidade dos recursos naturais necessários para o desenvolvimento de uma vida saudável e em consonância com o meio ambiente de todos os seres vivos.

## **6. CONCLUSÕES**

Em virtude de todos os objetivos que se pode alcançar com a implantação do processo de compostagem de resíduos em qualquer propriedade rural, seja ela de pequeno, grande ou médio porte, considera-se a viabilidade econômica e sócio-ambiental do uso do processo de compostagem como maneira eficaz de reaproveitar os resíduos da produção agropecuária. A viabilidade econômica é demonstrada no alcance da sustentabilidade da produção com a destinação dos resíduos para uso próprio, revertendo parte dos gastos em lucros para a propriedade.

O estudo de processos de compostagem deve ser difundido e modernizado no Brasil e no mundo, por ser um processo simples e não onerosos de tratamento de resíduos, não somente oriundos da produção agropecuária como também resíduos sólidos domésticos entre outros.

O Instituto Federal do Sul de Minas – Campi Inconfidentes (IFSMG) tem uma enorme potencialidade em receber projetos de tratamento de resíduos por compostagem, haja vista a grande quantidade de resíduos produzidos em suas instalações de suinocultura e nos diversos outros setores de criação animal; devem ser considerados ainda os resíduos de todos os sistemas de cultivos agrícolas presentes na Fazenda Experimental do Instituto.

Não foi possível a determinar uma formulação perfeitamente adequada para a compostagem de dejetos suíno utilizando-se da maravalha de madeira como propiciador/suporte do processo. Este fato deve-se a fatores como aeração insuficiente e umidade elevada.

Testes foram realizados durante o processo desenvolvido no interior do compostor rotor para monitorar seus parâmetros reacionais. Em todas as misturas testadas a umidade e a aeração foram as principais causas do não desenvolvimento da atividade microbiana responsável por desencadear o processo de compostagem.

Sugere-se a incorporação seriada de dejetos à maravalha de madeira como forma de obter o desenvolvimento aeróbio de micro-organismos necessários ao desenvolvimento do processo.

Ainda que o processo de compostagem objetivado não tenha sido atingido, todas as misturas se mostraram eficientes no controle de maus odores relacionados aos resíduos da suinocultura, sendo este um dos maiores problemas enfrentado pelas instalações do Instituto.

Este trabalho serve também, como um impulso inicial, um incentivo, para que outros trabalhos da área possam ser desenvolvidos com os resíduos produzidos na FEIFSM.

Os dados desse trabalho devem ser utilizados como parâmetros de estudo para a implantação futura de uma usina de compostagem, em larga e média escala, não só nos domínios do IFSM, mas em qualquer propriedade rural.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTA – Agriculture, food and rural development. **Manure composting manual**. Livestock Engineering Unit & Environmental Practices Unit. 2005. Edmonton, Alberta/UK. 27 p.

ASAE. **Uniform terminology for rural waste management**. St. Joseph, ASAE S292.4. p. 529-532. 1994.

BARRINGTON, S.; CHOINIÉRE, D.; TRIGUI, M. KNIGHT, W. Compost convective airflow under passive aeration. **Bioresource Technology**. v. 86, p.259-266, 2003.

BRANDÃO, V. S. **Tratamento de águas residuárias de suinocultura utilizando filtros orgânicos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 130 p. 2000

CARVALHO, G. J. **Compostagem de resíduos agrícolas**. Universidade Federal de Lavras – UFLA: Departamento de Agricultura. 2005. 12 p.

DE BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. **The biology of composting**: A review. *Waste Man & Res.* p. 153-176. 1983.

DIAZ, L. F. et al. **Composting and Recycling Municipal Solid Waste**. Boca Raton: Lewis Publishers. 1993.

GOOGLE. **Mapa de localização do município e Inconfidentes – Minas Gerais**. Google Maps. Disponível em: <http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&source=hp&q=Município%20de%20Inconfidentes%20Sul%20de%20Minas%20Gerais&gbv=2&ie=UTF8&sa=N&tab=il&start=0>. Acessado em: 14 de outubro de 2009, às 16h30min.

GRAY, K.R.; SHERMAN, K.; BIDDLESTONE, A. J. **A review of composting Part 1.** Proc Bioch. V.6; m.10; p.22-28, 1971.

HOYT, P.B.; TURNER, R.C. **Effect of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH<sub>4</sub> and crop yields.** Soil Science, Baltimore, v.119, p.227-237, 1975.

HUNTER, D. J.; YAPA, L. G. G.; HUE, N. V.; EAQUB, M. Comparative effects of Green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid oxisol in Western Samoa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.26, p.375-88, 1995.

KERMARREC, C. **Bilan et transformations de l'azote en élevage intensif de porcs sur litière.** 1999. 272p. Thèse (Docteur). I' ENSA de Rennes, France.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos.** São Paulo: Ceres. 1985. 492 p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto.** Piracicaba: [s.n.], 1998. 171p.

KONZEN, E. A. **Manejo e utilização de dejetos de suínos.** Concórdia - EMBRAPA-CNPSA. (Circular Técnica, 6), 32p. 1983.

KONZEN, E. A. **Alternativas de manejo, tratamento e utilização de dejetos animais em sistemas integrados de produção.** Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 32p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 5).

KOËPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde.** Zweite verbesserte auflage der "Klimate der Erde". Berlin: Walter De Gruite Co, 1931.

LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. 397 p.

LINDENBERG, R. C. Compostagem. In: **Resíduos sólidos domésticos: tratamento e disposição final**, 1990, São Paulo. *Curso...* São Paulo: CETESB, 1990, Cap. II, p.13-72.

LOPEZ-REAL, J. M. Composting of agricultural wastes. In: **The Science of Composting - European Commission International Symposium**, Blackie Academic & Professional, England, v.1, p. 542-550. 1996.

LUCAS JÚNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios.** Tese de Livre-Docência. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 137 p. 1994.

MAZÉ, J.; THÉOBALD, O.; POTOCKY, P. Optimisation du compostage du lisier de porc avec des résidus ligno-cellulosiques. **Journées de la Recherche Porcine en France**, v.31, p.91-98, 1999.

MERKEL, J. A. **Managing livestock wastes.** Connecticut: AVI Publishing. 419p. 1981

- MIELE, M. **Levantamento sistemático da produção e abate de suíno**: 2006 e 2007. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia. Santa Catarina. 1ª Ed. 2007. 29 p.
- MOFFIT, D. Waste management and recycling of organic matter. In: **CIGR Handbook of agricultural engineering**. Animal Production and Aquacultural Engineering. St. Joseph, ASAE, v.2; p.163-196. 1999.
- MOHEE, R.; CHOEFI, F. M. **Composting of filter cake in view of organic fertilizer usage**. Sugar Cane International. vol. 24. n. 2. p. 22-25. 2006.
- NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo, Nobel. 93p. 1986.
- NUNES, M. L. A. **Avaliação de procedimentos operacionais na compostagem de dejetos de suínos**. 2003. 117p. Dissertação (mestrado) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- OLIVEIRA, P. A. V. de. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188p. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27).
- OLIVEIRA, P. A. V.; KERMARREC, C.; ROBIN, P. Balanço de nitrogênio e fósforo em sistema de produção de suínos sobre cama de maravalha. In: CONGRESSO MERCOSUR DE PRODUCCIÓN PORCINA, 2000, Buenos Aires. **Memória**. Buenos Aires: [s.n.], 2000. p.SP7.
- OLIVEIRA, P. A. V. Programas eficientes de controle de dejetos na suinocultura. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 1., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2002. p.143-15.
- OLIVEIRA, P. A. V.; NUNES, M. L. A.; KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; SCHIERHOLT NETO, G. F. Utilização de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINARIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS. Goiânia, GO. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003a. p.433-434.
- OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; NUNES, M. L. A.; Emissão de gases na suinocultura que provocam o efeito estufa. **Suinocultura Industrial**, v.25, n.7. 2003b. p.16-20.
- OLIVEIRA, P. A. V. de.; CASTILHO JUNIOR, A. B.; NUNES, M. L. A.; HIGARASHI, M. M. Compostagem usada para o tratamento dos dejetos de suínos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 2.; CONGRESSO DE SUINOCULTURA DO MERCOSUL, 4., 2004, Foz do Iguaçu. **Anais...** Campinas: Editora Animal/World, 2004. p.522-523.
- OLIVEIRA, P. A. V. de.; HIGARASHI, M. M.; **Unidade de compostagem para o tratamento de dejetos suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 39 p.

PAILLAT, J.M.; ROBIN, P; HASSOUNA, M; LETERME, P. **Effet du compostage défluentes porcins sur les émissions gazeuses et les teneurs en éléments polluants**. Rennes : INRA, Centre de Recherches de Rennes, 2005. 106 p.

PERDOMO, C. C. Alternativas para o manejo e tratamento dos dejetos de suínos. **Suinocultura Industrial**, v.152, p. 16-26, 2001.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 56p.

SILVA, P. R. Estudo das características dos resíduos das instalações de confinamento de suínos. In: **VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária**, Salvador, BA, p. 1-18. 1973.

SOUZA, C. F.; CAVALHO, C. C. S. da.; CAMPOS, J. A.; MATOS, A. T.; FERREIRA, W. P. M. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Revista Ceres**. v.2: p.128-133. 2009.

TRAUTMANN, N. M.; KRASNY, M. E. **Composting in the classroom** – Scientific inquiry for high school students. Ed. Cornell University. 1997. 126 p.

WONG, M. T. F.; AKEAMPONG, E.; NORTCLIFF, S.; RAO, M. R.; SWIFE, R. S. Initial responses of maize and beans to decreased concentrations of monomeric inorganic aluminium with application of manure or tree prunings to an oxisol in Burundi. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.171, p.275-82, 1995.

ZAHN, J. A.; HATTFIELD, J. L.; LAIRD, D. A.; HART, T. T.; DO, Y. S.; DISPIRITO, A. A. Functional classification of swine manure management systems based on effluent and gas emission characteristics. **Journal Environment Quality**, v.30, p.635-647, 2001.

## 8. ANEXO

### 8.1 Cálculo da receita para compostagem (Mistura 04)

- Dejeito a ser usado: dejeito suíno sólido separado do líquido
- C/N = 1,9 (ALBERTA, 2005);
- Umidade = 77,5% (ALBERTA, 2005).
  
- Propiciador/suporte para compostagem a ser usado: Maravalha de madeira
- C/N = 275 (ALBERTA, 2005);
- Umidade = 15% (ALBERTA, 2005).
  
- Quanto em massa (kg) do propiciador/suporte maravalha de madeira é necessário para balancear uma massa desejada (50 kg) de dejeito a ser tratada em termos de umidade (Equação 01) (TRAUTMANN& KRASNY, 1997)?
  
- Equação 01 (TRAUTMANN & KRASNY, 1997):

$$W_2 = \frac{(W_1 \times G) - (W_1 \times M_1)}{M_2 - G}$$

Onde:

$W_2$  = massa (kg) do meu propiciador a ser utilizado para tratar o meu dejetos;

$W_1$  = massa (kg) do dejetos a ser tratado (50 kg);

G = umidade desejada;

$M_1$  = Umidade (%) do meu dejetos a ser tratado (77,5) (ALBERTA, 2005);

$M_2$  = Umidade (%) do meu propiciador (15%) (ALBERTA, 2005);

$$W_2 = \frac{(50 \times 60) - (50 \times 77,5)}{15 - 60} = \frac{(3000 - 3875)}{-45} = \frac{(-875)}{-45} = 19,4 \text{ kg}$$

- **19,4 kg** do propiciador/suporte maravalha de madeira para obter umidade de 60%;
- Umidade = 77,5% → para atingir 60% deve perder 17,5% → se serão utilizados 19,4 kg de maravalha de madeira, a relação é de aproximadamente 1% menos de umidade para cada 1 kg de serragem;
- Quanto em massa (kg) do propiciador/suporte é necessário para balancear uma massa desejada (50 kg) de dejetos a ser tratado em termos de relação C/N (Equação 02) (TRAUTMANN & KRASNY, 1997)?
- Equação 02 (TRAUTMANN & KRASNY, 1997):

$$W_2 = \frac{(W_1 \times N_1) \times \left( R - \left( \frac{C_1}{N_1} \right) \right) \times (100 - M_1)}{N_2 \times \left( \left( \frac{C_2}{N_2} \right) - R \right) \times (100 - M_2)}$$

Onde:

$W_2$  = Massa (kg) do meu propiciador/suporte a ser utilizado para balancear uma massa desejada (50 kg) de dejetos em termos de relação C/N;

$W_1$  = Massa total conhecida do meu dejetos a ser tratado (50 kg);

$N_1$  = Conteúdo (%) de nitrogênio do meu dejetos (2,75 (ALBERTA, 2005));

R = Relação C/N necessária à compostagem (30 (ALBERTA, 2005));

$C_1$  = Conteúdo de carbono (%) do meu dejetos (5,225 (ALBERTA, 2005));

$M_1$  = Umidade (%) do meu dejetos a ser tratado (77,5%);

$N_2$  = Conteúdo (%) de nitrogênio do propiciador/suporte (0,4) (ALBERTA, 2005);

$C_2$  = Conteúdo de carbono (%) do meu propiciador/suporte ( $500 \times 0,4 = 200$ )

(ALBERTA, 2005);

$M_2$  = Umidade (%) do meu propiciador/suporte (15%);

$$W_2 = \frac{(50 \times 2,75) \times \left(30 - \left(\frac{5,225}{2,75}\right)\right) \times (100 - 77,5)}{0,4 \times \left(\left(\frac{200}{0,4}\right) - 30\right) \times (100 - 15)} = \frac{(137,5 \times 28,1 \times 22,5)}{0,4 \times 470 \times 85} = \frac{(86934,375)}{15980} = 5,44 \text{ kg}$$

- **5.44 kg** do propiciador/suporte maravalha de madeira para obter uma relação C/N por volta de 30/1;

- Se forem misturados 5,44 kg do propiciador/suporte com 50 kg de dejetos suíno sólido separado do líquido, uma relação C/N adequada será alcançada, porém a umidade ainda estará alta (em torno de 72%). Então um terceiro material será necessário apenas para alcançar a umidade de 60 % adequada para compostagem, sem modificar a relação C/N (deve permanecer em 30/1);

- Para determinar a umidade ( $M_1$ ) da mistura a ser corrigida (dejetos de suíno + serragem = C/N 30), pode-se admitir que a umidade da mistura diminua 1% para cada kg do propiciador suporte maravalha de madeira adicionado, assim: adicionando 5,44 kg de serragem teremos uma redução na umidade de 5,44%;

- Tem-se assim uma umidade por volta de 72% na mistura;

- Como terceiro ingrediente, utilizado apenas para controlar a umidade, sem alterar a C/N, decidiu-se por utilizar cama equina (C/N = 27 e umidade = 55% segundo ALBERTA (2005);

- Voltando para a Equação 01 (TRAUTMANN & KRASNY, 1997), quanto será necessário de cama equina para regular a umidade da mistura, mantendo inalterada a relação C/N?

$$W_2 = \frac{(W_1 \times G) - (W_1 \times M_1)}{M_2 - G}$$

$$W_2 = \frac{(54,44 \times 60) - (54,44 \times 75)}{55 - 60} = \frac{(3266,4 - 3919,68)}{-5} = \frac{(-653,28)}{-5} = 130,66 \text{ kg}$$

- **130,66 kg** de cama equina para regular a umidade da mistura sem alterar a relação C/N.
- Para a determinação da receita final da Mistura 04, contendo dejetos suínos sólidos separados do líquido, propiciador/suporte maravalha de madeira e cama equina para regular a umidade, os valores encontrados no cálculo foram proporcionalmente adequados à capacidade do compostor rotor (200 litros ou 120 kg de material aproximadamente).