



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM
CONSIDERANDO A RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO**

Débora Tairini Brietzke

Lajeado, Novembro de 2016

Débora Tairini Brietzke

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM
CONSIDERANDO A RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Odorico Konrad

Lajeado, Novembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial aos meus pais, que nunca mediram esforços para me ver feliz, e alcançar meus objetivos, e que sempre acreditaram em mim. Ao meu namorado, pelo apoio ao longo dessa caminhada, e pela paciência.

Agradeço ao professor e orientador, Dr. Odorico Konrad, por toda ajuda, orientação e amizade.

Ao colega Cezar, pela amizade, horas de conversa e contribuições.

As amigas Taciélen, Maira, Luana, Verônica, Jordana e Fernanda, pela amizade e pelos momentos de alegria compartilhados.

As amizades construídas ao longo desses anos de graduação.

Aos professores do curso de Engenharia Ambiental que contribuíram pela minha formação, pela dedicação e orientações.

RESUMO

A compostagem é um processo dinâmico, onde grande variedade de populações microbianas desempenham papéis fundamentais na biotransformação de substratos orgânicos. O produto final, conhecido como composto apresenta-se como uma ferramenta eficiente para processos de biorremediação ou restauração dos solos empobrecidos, pois tem a capacidade de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas, em particular, aumentando nutrientes disponíveis principalmente nas frações orgânica do solo. Para garantir a eficiência do processo de compostagem é importante que alguns aspectos sejam observados a fim de proporcionar condições favoráveis para que os microrganismos aeróbios possam se multiplicar e transformar a matéria orgânica. O conjunto de aspectos condicionantes para um avanço no processo biológico de compostagem são: uma combinação ótima de umidade, aeração, temperatura, pH, granulometria e a relação Carbono/Nitrogênio, que é um dos fatores que mais afeta a qualidade do processo de compostagem, pois os microrganismos absorvem o carbono e nitrogênio sempre na relação 30:1. Se a relação for baixa, haverá desprendimento de amônia, danosa às plantas, e se ao contrário, ocorre uma deficiência de nitrogênio. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o processo de compostagem de dejetos suínos com serragem levando em consideração a relação carbono/nitrogênio ideal de 30:1 e também de 15:1. Para isso, reatores em escala piloto, com aeração, revolvimento e medidores de temperatura foram utilizados para compostar esses materiais. O composto iniciado com a relação Carbono/Nitrogênio de 30:1 comparado a de 15:1 apresenta-se como a melhor relação para o processo de compostagem, pois utiliza as quantidades ideais de Carbono e Nitrogênio das amostras. As temperaturas da relação C/N 30:1 apresentaram temperatura superior a 36°C, enquanto que a temperatura ambiente era de 19,3 °C. Já a relação 15:1 alcançou 26,6°C, sendo que nesse mesmo dia a ambiente encontrava-se com temperatura de 21,3°C. Além do tempo necessário para compostar os materiais diminuir com a relação 30:1, gerou um bom composto.

Palavras-chave: Dejeto suíno. Serragem. Resíduos. Composto.

ABSTRACT

Composting is a dynamic process where a wide variety of microbial populations play key roles in the biotransformation of organic substrates. The final product, known as compound is presented as an efficient tool for bioremediation and the restoration of depleted soils, it has the ability to improve physical, chemical and biological properties, in particular increased nutrient available mainly in organic soil fractions. To ensure the efficiency of the composting process is important that some aspects are observed in order to provide favorable conditions for aerobic microorganisms can multiply and transform organic matter. The set of constraints aspects of a breakthrough in biological composting process are: a great combination of moisture, aeration, temperature, pH, particle size and the carbon/nitrogen ratio, which is one of the factors that most affect the quality of the composting process, as the microorganisms absorb carbon and nitrogen when the ratio of 30:1. If the ratio is low, there will release ammonia, harmful to plants, and instead there is a nitrogen deficiency. Therefore, the objective of this work was to evaluate the composting process of swine manure with sawdust taking into account the ideal carbon/nitrogen ratio of 30:1 and also 15:1. For this, pilot scale reactors with aeration, stirring and temperature meters were used to compost these materials. The compound started with the Carbon / Nitrogen ratio of 30:1 compared to 15:1 is the best ratio for the composting process, since it uses the ideal amounts of Carbon and Nitrogen in the samples. The temperatures of the C / N 30: 1 ratio had a temperature above 36 ° C, while the ambient temperature was 19.3 ° C. The 15: 1 ratio reached 26.6 ° C, and on that same day the atmosphere was at 21.3 ° C. In addition to the time required to compost the materials decrease with the 30: 1 ratio, it generated a good compound.

Keywords: Swine. Sawdust. Waste. Compound.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fases da compostagem.....	19
Figura 2 - Seção transversal de uma pilha de compostagem	26
Figura 3 - Procedimento de análise do Carbono.....	35
Figura 4 - Procedimento de análise do Carbono.....	35
Figura 5 - Procedimento de análise de Nitrogênio	37
Figura 6 - Procedimento de análise de Nitrogênio	37
Figura 7 - PT 100 utilizados nos testes.....	39
Figura 8 – <i>Datalogger</i> utilizado para armazenamento de dados	40
Figura 9 – Soprador utilizado no experimento	41
Figura 10 – Reatores utilizados nos testes.....	42
Figura 11 - Reatores utilizados no experimento.....	42
Figura 12 - Material relação 30:1 finalizado	52
Figura 13 - Material relação 15:1 finalizado	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Umidade dos materiais	45
Tabela 2 - Carbono e Nitrogênio dos materiais	45
Tabela 3 - Umidade dos reatores um mês após início processo	49
Tabela 4 - Umidade reatores no final do processo	50
Tabela 5 - Carbono e Nitrogênio no final do processo.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação do pH durante a compostagem	27
Gráfico 2 - Temperatura da relação 30:1	47
Gráfico 3 - Temperatura na relação 15:1	48

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Concentração Sulfato Ferroso Amoniacal.....	34
Equação 2 - Cálculo Carbono.....	34
Equação 3 - Cálculo nitrogênio	36
Equação 4 - Teor de umidade	38
Equação 5 - Cálculo da relação C/N.....	43
Equação 6 - Cálculo da relação C/N 30:1.....	46
Equação 7 - Cálculo da relação C/N 15:1.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C:	Carbono
CH ₄	Metano
CO ₂ :	Dióxido de Carbono
COT:	Carbono Orgânico Total
CTC:	Capacidade de Troca Catiônica
Cu:	Cobre
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
K:	Potássio
MAPA:	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
mm	Milímetros
N:	Nitrogênio
NBR:	Norma Brasileira
NH ₃	Amônia
NT:	Nitrogênio Total
O ₂ :	Oxigênio
P:	Fósforo
Zn:	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	Classificação dos resíduos sólidos.....	16
3.2	Fertilização orgânica.....	17
3.3	Compostagem.....	18
3.3.1	Fases da compostagem.....	19
3.3.2	Materiais orgânicos que podem ser compostados.....	20
3.3.3	Relação C/N.....	20
3.3.4	Microrganismos.....	23
3.3.5	Temperatura.....	23
3.3.6	Umidade.....	24
3.3.7	Oxigenação.....	25
3.3.8	Tamanho da partícula.....	26
3.3.9	pH.....	27
3.3.10	Vantagens do processo.....	27
3.4	Dejetos suínos.....	28
3.5	Conservação ambiental.....	30
3.6	Serragem para utilização na compostagem.....	31
4	METODOLOGIA.....	32
4.1	Materiais utilizados.....	32
4.1.1	Dejeto Suíno.....	32
4.1.2	Serragem.....	32
4.1.3	Insumos e Equipamentos.....	33
4.2	Métodos.....	33
4.2.1	Análise de Carbono.....	33
4.2.2	Análise de Nitrogênio.....	36
4.2.3	Umidade.....	38
4.2.4	Montagem do Experimento em Escala Piloto.....	38
4.2.5	Monitoramento do Processo de Compostagem.....	39
4.2.6	Aeração.....	40
4.2.7	Compostagem em Escala Piloto.....	41

4.3	Cálculo Relação C/N	43
5	RESULTADOS	44
5.1	Características Iniciais	44
5.1.1	Umidade	44
5.1.2	Carbono e Nitrogênio	45
5.2	Cálculo Relação C/N	45
5.3	Monitoramento do Processo de Compostagem	46
5.3.1	Temperatura.....	46
5.3.2	Umidade	49
5.4	Composto Final	49
5.4.1	Tempo de Compostagem.....	50
5.4.2	Umidade Final	50
5.4.3	Relação C/N.....	51
6	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A prática de aplicar matéria orgânica no solo desempenha efeitos benéficos sobre suas propriedades quando empregadas em quantidades apropriadas, melhorando as características físicas, químicas e biológicas, contribuindo para o desenvolvimento e crescimento das plantas, aumentando conseqüentemente a produção agrícola (EMBRAPA, 2016).

Conforme Kiehl (1985), os resíduos gerados pela produção agropecuária, como esterco de animais *in natura* podem ser chamados de fertilizantes orgânicos simples, porém uma atenção maior deve ser dada ao seu tratamento e utilização, dado que esses resíduos não devem ser dispostos no ambiente sem um devido tratamento, pois são passíveis de contaminação.

O Brasil é o quarto produtor e exportador mundial de carne suína, com produção média anual de 2,84% e exportação de 4,91%. O rebanho suíno nacional estimado para 2014 foi de 37.929.357 cabeças, concentrando na região sul 18.681.908 cabeças (49,25% do rebanho nacional) (IBGE, 2014).

Com o intensivo desenvolvimento da suinocultura teve-se conseqüentemente, um incremento na produção de dejetos, que na maioria das vezes são dispostos ao solo, transformando-se em grande fonte de poluição de mananciais de água e solo (OLIVEIRA, 2002; OLIVEIRA, 2004).

Atualmente o modelo de produção de suíno caracteriza-se pela intensiva criação e em confinamento, concentrando grande número de animais em áreas reduzidas, aumentando ainda mais os riscos de contaminação ambiental. O manuseio inadequado dos resíduos da

suinocultura como aplicação excessiva no solo e extravasamento de esterqueiras, podem ocasionar a contaminação do solo (patógenos e excesso de nutrientes), de rios (eutrofização), lençóis subterrâneos (aumento da concentração do íon nitrato) e do ar (emissões gasosas) (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Uma alternativa para o tratamento de dejetos líquidos suínos é a compostagem, visando transformá-lo em uma matriz sólida, facilitando o manejo e aplicação como fertilizante (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

O manejo da compostagem com dejetos líquidos de suínos deve ser diferenciado em relação à compostagem convencional, uma vez que apresenta umidade tipicamente maior que 95%. A serragem é uma opção para ser incorporada no processo de compostagem de dejetos suínos, pois possui características de absorver umidade (NUNES, 2003).

O processo de compostagem de resíduos, subprodutos e outros materiais orgânicos, pode atender a crescente demanda por fertilizantes orgânicos (LEAL et al., 2013). Para Fialho et al. (2010), o processo é exotérmico aeróbio que transforma resíduos orgânicos de origens diferentes em materiais estáveis.

Para a obtenção de um bom composto é necessário considerar os fatores que influenciam no processo de compostagem. O fator mais importante é a relação carbono/nitrogênio (C/N), visto que o crescimento e diversidade de microrganismos relacionam-se com a concentração de nutrientes, responsáveis por fornecer material para a síntese protoplasmática e a energia necessária para o crescimento celular (TROMBIN et al, 2005). Segundo Kiehl (2001) a relação C/N inicial deve estar entre 25:1 a 35:1, pois os microrganismos absorvem C e N sempre na relação adequada. O fator relação C/N influenciará o tempo de maturação do composto, pois quando a relação for muito elevada o tempo de compostagem será maior, pois faltará N para os microrganismos, e se for muito baixa, o excesso de N será eliminado pelos microrganismos na forma de amônia (NH₃).

Compostar os dejetos suínos e serragem contribui para a redução da disposição final dos resíduos em locais inadequados, e sem devido tratamento, diante disso, o presente trabalho busca relacionar a melhor relação de C/N de 30:1, com uma relação escolhida aleatoriamente, como não ideal de 15:1 e verificar as particularidades em cada tratamento, e como a relação pode influenciar no produto final, na carga de C e N, umidade do composto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o processo de compostagem de dejetos suínos e serragem em escala piloto, levando em consideração os diferentes valores iniciais da relação C/N de 30:1 e 15:1, determinando-se as características dos produtos finais.

2.2 Objetivos específicos

- Compostar, em escala piloto, dejetos suínos e serragem com as relações C/N iniciais de 15:1 e 30:1;
- Avaliar e monitorar o processo de compostagem durante a fase de experimento;
- Verificar a qualidade final do composto quanto aos parâmetros N, C, relação C/N e umidade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado o referencial teórico relacionado ao tema da compostagem, dejetos suínos e serragem. No primeiro momento será abordada a definição de resíduos e a fertilização orgânica. Em seguida são apresentados os fatores que interferem para um bom andamento do processo de compostagem. E por fim, são apresentadas características dos dejetos suínos e serragem.

3.1 Classificação dos resíduos sólidos

A norma brasileira (NBR) 10.004 define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Os resíduos sólidos são divididos segundo as classificações (ABNT, 2004):

- Resíduos classe I – perigosos: Aqueles que apresentam periculosidade ou características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
- Resíduos classe II – não perigosos subdivididos entre:

- Resíduos classe II A – não inertes: Aqueles que não se enquadram como resíduos de classe I e que apresentem características de biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água.
- Resíduos classe II B – inertes: Aqueles que não se enquadram nas demais classificações e que se submetidos a testes, conforme especifica a NBR 10.004, em água destilada ou deionizada a temperatura ambiente, não apresentem componentes solubilizados com concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, com exceção da cor, turbidez, dureza e sabor.

Segundo Inácio e Miller (2009), os resíduos interessantes para o tratamento via compostagem são os resíduos classe II A. Entretanto, para a evolução do processo é necessário conhecer a composição dos resíduos, visto que alguns materiais são incompatíveis, não podendo ser compostados ou gerando compostos de baixa qualidade.

3.2 Fertilização orgânica

É das frações minerais e orgânicas do solo que as plantas retiram os elementos necessários para seu crescimento e manutenção, os macro e micronutrientes, além disso, precisam de água, luz e Dióxido de Carbono (CO₂). Em condições naturais todos os nutrientes estão disponíveis para as plantas no solo, mas com o cultivo excessivo e a erosão, os níveis de nutrientes se tornam escassos e precisam ser repostos para garantir a produtividade do solo (MALAVOLTA, 1979).

Diversos tipos de fertilizantes visam melhorar as condições do solo, entre eles, minerais, orgânicos e organominerais. Para Kiehl (1985), o fertilizante orgânico é um produto de origem animal ou vegetal, que pode ser adicionado ao solo, com o intuito de melhorar as condições do mesmo nos aspectos físicos, químicos e também biológicos.

A produção e comercialização de fertilizantes no Brasil é fiscalizada de acordo com a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, regulamentada pelo Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 e que segue a Instrução normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A normativa em questão tem o intuito de especificar as garantias, tolerâncias, registro, embalagens e rotulagem dos fertilizantes

orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura (BRASIL, 2009).

De acordo com a Instrução normativa nº 25 do MAPA (BRASIL, 2009) os fertilizantes orgânicos simples, organominerais, compostos e mistos, dividem-se em quatro classes, de acordo com a matéria prima a partir do qual são preparados, da seguinte forma.

- Classe "A": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;
- Classe "B": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura;
- Classe "C": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura;
- Classe "D": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura (BRASIL, 2009).

3.3 Compostagem

A compostagem pode ser definida como a decomposição biológica de resíduos orgânicos em matéria orgânica estabilizada. A eficiência desejada para o processo de compostagem somente será encontrada quando as exigências ambientais de decomposição forem ótimas. Diversos fatores podem interferir na atividade microbiológica dos microrganismos, para transformação em um produto final estável, como aeração, umidade, temperatura, pH, tamanho da partícula e relação C/N (PRÁ et al., 2009; EPSTEIN, 2011).

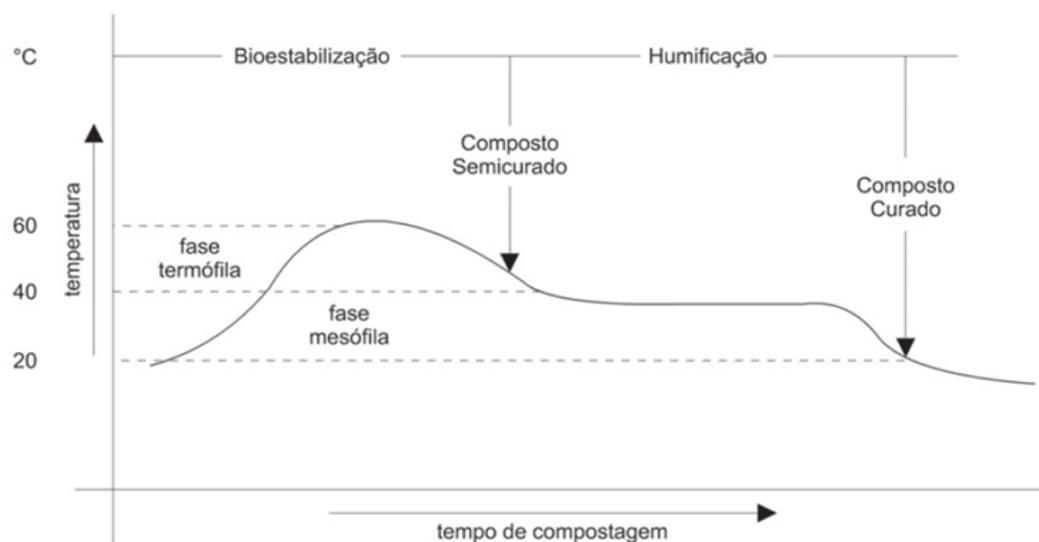
O produto resultante do processo de compostagem é chamado de composto orgânico que, conforme Lima (2004) é também conhecido como o fertilizante orgânico. Esse produto

possui uma abundância de nutrientes, o que o torna adequado para diversas finalidades (TUROVSKIY; MATHAI, 2006). O material quando devidamente compostado pode ser utilizado como corretivo orgânico para o solo, além de ser aplicado na agricultura e horticultura (TCHOBANOGLIOUS; BURTON; STENSEL, 2003), pois possui matéria orgânica parcialmente estabilizada, substâncias húmicas e elementos minerais (INÁCIO e MILLER, 2009). Quando aplicado dessa maneira, permite melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, aumentando assim, a retenção de água e a capacidade de infiltração, especialmente em solos argilosos (SANTOS, 2001). Além disso, dá lugar ao aumento do arejamento e diminui a sua densidade aparente (TUROVSKIY; MATHAI, 2006).

3.3.1 Fases da compostagem

Durante o processo de compostagem observam-se três fases: uma primeira inicial e rápida de fitotoxicidade ou de composto cru ou imaturo, fase em que ocorre o desprendimento de calor, vapor d'água e CO_2 , além da reação ácida dos materiais orgânicos crus que liberam toxinas danosas às plantas, e em função disso o composto não pode ser utilizado como adubo nessa primeira fase. A segunda fase é de semi-cura e ocorre a bioestabilização, para atingir finalmente a terceira fase, a humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica (KIEHL, 1998). Na Figura 1, observa-se as fases da compostagem relacionando a temperatura do composto no tempo.

Figura 1- Fases da compostagem



Fonte: (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

No processo de compostagem, ocorre o aumento da temperatura, e essa fase é conhecida como termófila, na qual há reações bioquímicas de oxidação mais intensas, e a temperatura permanece na faixa de 40 a 65 °C. A fase dura de 5 a 60 dias, dependendo de como é conduzido o processo. Quando o composto começa a perder calor, passa para a fase de maturação, chamada de mesófila, nessa fase a temperatura fica entre 35 e 45 °C e a duração é de 60 a 90 dias, nela ocorre o processo de humificação do material orgânico e mineralização do Carbono remanescente (MATOS, 2014).

3.3.2 Materiais orgânicos que podem ser compostados

A compostagem possibilita tratar grande diversidade de resíduos orgânicos, entretanto, somente os resíduos de classe II A são indicados para tanto. Os resíduos que são destinados para a compostagem precisam de autorização do órgão ambiental competente, e devem ser avaliados a fim de verificar se não possuem substâncias tóxicas. Menciona-se alguns resíduos orgânicos que podem ser destinados a compostagem (INÁCIO e MILLER, 2009):

- Resíduos agroindustriais: Restos de madeira não tratada, palhas, resíduos de silos, bagaço de cana de açúcar, casca de eucalipto;
- Resíduos industriais: Lodo de tratamento de efluentes, madeira tratada;
- Resíduos da agricultura e pecuária: Cascas de grãos, frutos não comercializados, esterco animal, partes folhosas;
- Resíduos orgânicos da coleta de resíduos sólidos urbanos, lodo das estações de tratamento de esgoto e restos de podas de árvores.

É necessário que sejam observadas as características físico-químicas dos materiais orgânicos, para que o processo de compostagem seja realizado de forma satisfatória, pois os resíduos precisam ser misturados e combinados em função das suas especificidades, garantindo um eficiente processo de compostagem, e um produto final de qualidade (INÁCIO e MILLER, 2009).

3.3.3 Relação C/N

A relação C/N é um dos fatores importantes que afetam a qualidade do processo de compostagem (ZHU, 2007; GOLUEKE, 1977; MICHEL et al., 1996). Pois, segundo Pereira

Neto (1996), os microrganismos necessitam da presença de macro e micro nutrientes para o exercício de suas atividades metabólicas. Dentre os nutrientes utilizados pelos microrganismos, o C e N são de extrema importância, uma vez que a concentração e disponibilidade biológica de ambos afetam o desenvolvimento do processo. Ainda, o C é fonte de energia ou unidade estrutural básica das moléculas orgânicas, promovendo desta forma o crescimento microbiano e o N representa um papel bastante importante na composição de alguns elementos essenciais para o crescimento e funcionamento das células como proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas (BATISTA e BATISTA, 2007)

Quando presente em condições aeróbias, uma parte do C é libertado na forma de CO₂, sendo o restante combinado com N durante o processo de crescimento microbiano. A libertação deste nutriente como CO₂ é mais elevada ao longo da fase termofílica. Deste modo, o teor em C de uma pilha de compostagem é decrescente ao longo do processo de compostagem (BATISTA e BATISTA, 2007).

Segundo Batista e Batista (2007) no decorrer de um processo de decomposição aeróbia ativa, o consumo de C pelos microrganismos é cerca de 15 a 30 vezes mais elevado do que o de N. Também Epstein (2011) refere que, normalmente, os microrganismos utilizam uma parte de N para cada 30 partes (em peso) de C, o que sugere que esta razão de C/N (30:1) seja a mais desejável para uma compostagem eficiente, pois é desta forma que os organismos absorvem estes elementos. Em termos gerais, razões C/N entre os 25 e os 35 promovem melhores condições para a compostagem (KIEHL, 2004). Quanto à relação C/N e o tempo de maturação, segundo Kiehl (2004):

- Relação C/N muito abaixo de 10:1 – pode haver perda de N por volatilização na forma de NH₃, se o resíduo não receber materiais ricos em C para ajustar a relação até a considerada ótima e reduzir o tempo de maturação;
- Relação C/N entre 25:1 e 30:1 – é considerada ótima;
- Relação C/N entre 30:1 e 50:1 – permite uma decomposição um pouco mais rápida que a 50:1;
- Relação C/N acima de 50:1 – indica deficiência de N, sendo o tempo de maturação mais prolongado.

Quando o composto é incorporado ao solo, com relações C/N muito baixas ou muito altas, pode causar problemas à cultura. Se a relação for baixa ocorrerá um desprendimento de NH_3 , que é danosa às plantas. Já, se a relação for alta, haverá consumo de N do solo pelos microrganismos, causando deficiência temporária as plantas (KIEHL, 2004).

Os microrganismos requerem certos nutrientes em grandes quantidades e, neste sentido, as quantidades relativas de C e de N presentes têm um efeito considerável sobre o processo de compostagem, sendo por isso utilizadas como indicadores primários do conteúdo de nutrientes. Os fenômenos químicos que ocorrem no processo de compostagem baseiam-se no equilíbrio de materiais carbonáceos e nitrogenados contidos na mistura. A proporção de C e N é uma característica nutritiva muito importante porque, quando estes elementos existem nos valores adequados, os restantes nutrientes tendem a estar presentes em quantidades aceitáveis (FERNANDES, 2012)

A regulação do C/N depende da dosagem dos materiais adicionados ao composto. Geralmente, resíduos palhosos, como por exemplo, os vegetais secos são caracterizados como fonte de C, já os legumes frescos e os resíduos fecais são fonte de N. No entanto, o emprego somente dos resíduos orgânicos ou somente do palhoso, não será capaz de fornecer nutrientes necessários para o desenvolvimento da compostagem, por isso é recomendado serem misturados em uma proporção ideal (MARAGNO et al., 2007).

Resíduos palhosos usados com o objetivo de alcançar as características aspiradas para o avanço do processo de compostagem são normalmente chamados de materiais de enchimento ou fonte de C. Esses resíduos são agregados a fim de ajustar a umidade, a relação C/N ou a textura da massa da compostagem (NUNES, 2003).

A serragem foi classificada por Nunes (2003) como um tipo de palhoso ideal para ser utilizado como material de enchimento na compostagem de dejetos de suínos, pois possui a característica de fornecer porosidade apropriada para o processo e absorver umidade. Tratando-se de compostagem é relevante citar que a capacidade de absorção de água é uma característica muito importante, pois permite regular o teor de umidade da massa de resíduos em degradação (MARAGNO et al., 2007).

O acompanhamento da relação C/N durante a compostagem proporciona conhecer, o andamento do processo, informando quando o composto atingiu a fase de semicura ou está

bioestabilizado (relação C/N em torno de 18:1), e depois quando se tornou um produto acabado ou humificado (relação C/N em torno de 10:1) (KIEHL, 1998). A diminuição da relação C/N ocorre, pois as perdas de C que, são maiores que as de N no decorrer da compostagem (KIEHL, 2004).

3.3.4 Microrganismos

Os microrganismos são os principais responsáveis pela transformação da matéria orgânica em húmus. Além desses, participam também da degradação da matéria orgânica outros organismos como algas, protozoários, nematoides, vermes, insetos e suas larvas. Os agentes bioquímicos, como enzimas, hormônios e vírus também contribuem para a degradação da matéria orgânica. O número e a natureza da comunidade microbiana, além da intensidade da decomposição e das espécies, dependem da fase em que se encontra o processo (KIEHL, 2004).

O fator predominante para a seleção da flora microbiana é a elevação natural da temperatura, sendo que as pilhas de composto bem arejadas devem alcançar temperaturas próximas de 75°C (KIEHL, 1985).

Durante o processo de compostagem as bactérias são os microrganismos encontrados em maior quantidade, sendo que são detectadas em um número grande tanto na fase mesófila como termófila, e são responsáveis por cerca de 90% dos processos de degradação (KIEHL, 1985).

As bactérias mesófilas são encarregadas pela decomposição de compostos de estrutura mais simples além de iniciarem a produção de calor e iniciar o crescimento das bactérias termófilas (FERNÁNDEZ, 2008). Os compostos mais complexos são degradados pelos actinomicetes, além de serem importantes na eliminação de patógenos presentes na compostagem (KIEHL, 1985).

3.3.5 Temperatura

A compostagem é considerada como um processo microbiológico, e que o metabolismo conduz a produção de calor, sendo a temperatura um parâmetro importante de controle (BATISTA e BATISTA, 2007).

O calor que é gerado no interior da biomassa do processo é importante e necessário, pois ele estabilizará os resíduos transformando-os em húmus, facilitando a evaporação de água e reduzindo a carga de patógenos (BIDONE e POVINELLI, 1999).

O equilíbrio biológico do processo é indicado pela temperatura. Nos primeiros dias de compostagem, na fase mesófila em que a temperatura é de 40 °C a 60 °C, se não estiver nessa faixa, pode ser uma indicação de que algum outro parâmetro do composto, como pH, umidade ou C/N não está de acordo, afetando a atividade das bactérias aeróbias. Na fase termófila, onde a temperatura ideal é de 55 °C e 65 °C, a atividade microbiana tem seu ápice (BIDONE e POVINELLI, 1999).

A elevação da temperatura é importante para ocorrer a atividade microbiana, porém temperaturas prolongadas de 70 °C a 75 °C reduzem a atividade benéfica microbiana e aumenta a possibilidade da perda de N (BIDONE e POVINELLI, 1999; KIEHL, 2004).

3.3.6 Umidade

A umidade é um fator limitante no processo de compostagem, pois, a água é fundamental para microrganismos aeróbios decompositores da matéria orgânica no processo de compostagem. Manter as condições ideais de umidade permitem que ocorram trocas gasosas, transporte de produtos decompostos e que a temperatura se mantenha elevada (FERNÁNDEZ, 2008). A oxigenação e a umidade são dois aspectos que se relacionam, uma vez que, em função da eficácia na aeração e as características dos materiais compostados, como estrutura e porosidade, tem-se o teor de umidade ideal no composto (BIDONE e POVINELLI, 1999).

A umidade pode ser ajustada com a mistura dosada de diferentes materiais compostados, em função da umidade presente nos mesmos, ou ainda com a adição de água. Em caso de excesso de água a utilização de materiais mais grosseiros como palhas e cascas, são indicados, aumentando conseqüentemente, a aeração da composteira (KIEHL, 2001).

A faixa ideal de umidade para a compostagem aeróbia encontra-se entre 50-60%, sendo que com a aeração tende a diminuir com o decorrer do processo. Teores de umidade abaixo de 40% limitam a atividade microbiana podendo até ser interrompida. E teores acima

de 65% podem tornar o ambiente anaeróbio, impedindo a ação de microrganismos aeróbios (KIEHL, 2001; BIDONE e POVINELLI, 1999).

3.3.7 Oxigenação

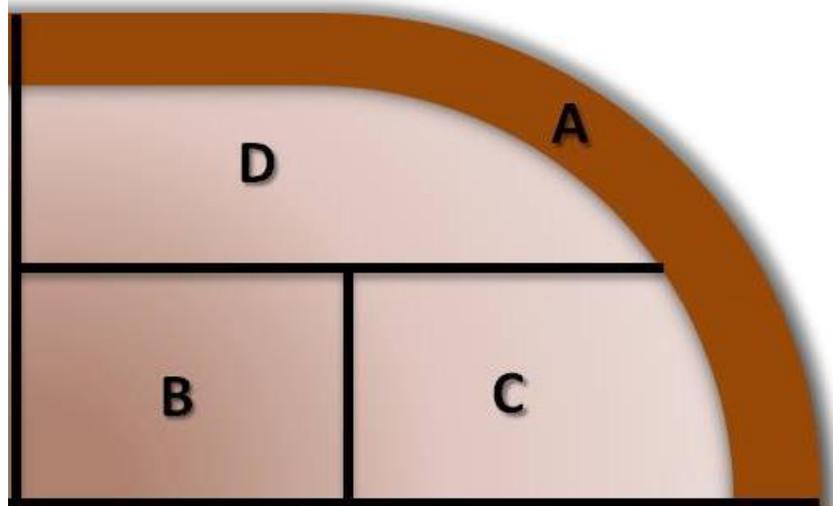
Devido à compostagem ser um processo aeróbio, necessitando obrigatoriamente de oxigênio (O_2) torna-se necessário oxigenar o composto, a partir do qual é promovida a chegada de O_2 às várias camadas da pilha de compostagem (EPSTEIN, 2001).

A presença de O_2 é fundamental para manutenção dos microrganismos, visto que esses seres requerem quantidades elevadas de O_2 , principalmente na fase inicial do processo. Sem a presença de O_2 a compostagem torna-se anaeróbia, prolongando o tempo de estabilização do composto e o excesso de umidade gera maus odores. A oxigenação do composto durante o processo pode ser realizada por revolvimento ou insuflação de ar (BIDONE e POVINELLI, 1999).

A diferença de temperatura em uma pilha de compostagem pode ser elevada, podendo apresentar uma variação de cerca de 30 °C desde o centro (zona mais quente) até a camada superficial (zona menos quente), por isso a importância do revolvimento regular (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Com o revolvimento é possível que a parte do substrato que se encontra em uma temperatura inferior seja movida para a zona mais quente da pilha. Do ponto de vista microbiológico, podem ser identificadas quatro zonas principais dentro de uma pilha de compostagem (DIAZ et al., 2007; RUSSO, 2004), as quais se encontram representadas na Figura 2.

Figura 2 - Seção transversal de uma pilha de compostagem



Fonte: Adaptado de Insam, H. e M. Bertoldi, 2007

A zona mais fresca é a zona mais exterior (A), e conta com abundância de O_2 . Já na zona mais inferior (B) têm-se um menor fornecimento de O_2 . Na zona mais superficial (C) as temperaturas são medianas e bom fornecimento de O_2 , enquanto a zona superior (D) é a mais quente, e conta com abastecimento considerável de O_2 (DIAZ et al., 2007).

3.3.8 Tamanho da partícula

O tamanho da partícula tem grande importância no processo de compostagem, pois quanto menor a partícula do material a ser compostado, melhor será a atividade das bactérias aeróbias sobre o substrato, assim maior será a área superficial de contato com o O_2 , favorecendo as reações químicas (BIDONE e POVINELLI, 1999).

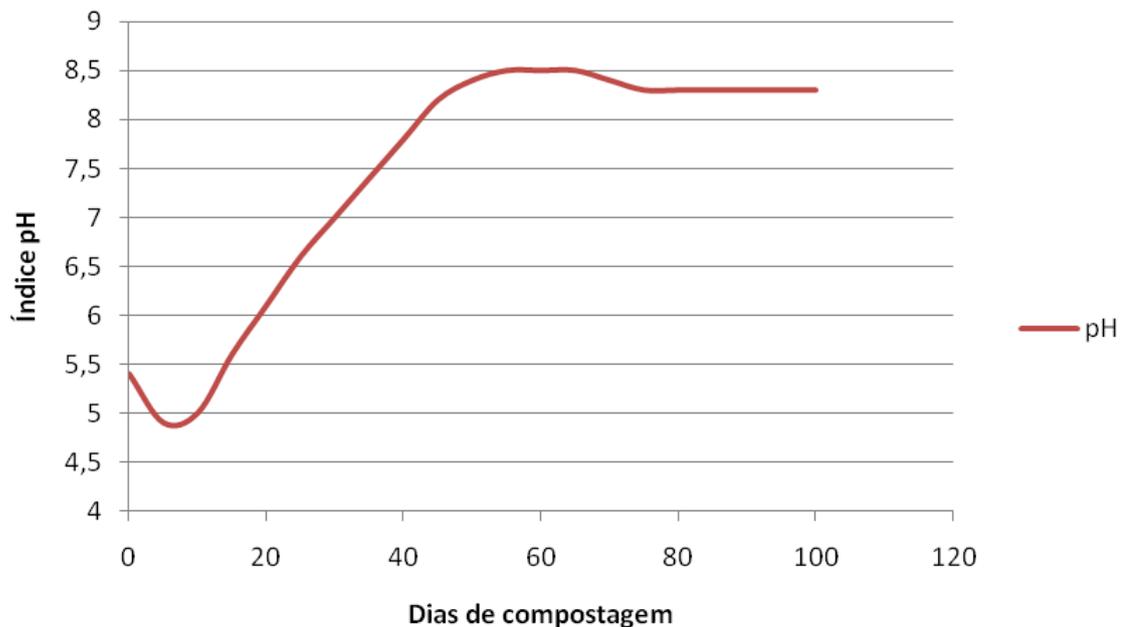
A legislação brasileira classifica os fertilizantes orgânicos, segundo a granulometria, em granulado e mistura granulada, mistura de grânulos, microgranulado, pó, farelado fino, farelado e farelado grosso (BRASIL, 2007).

Segundo BIDONE e POVINELLI (1999) a porosidade ideal do composto é de 30 a 36%, onde as partículas variam, quanto ao seu tamanho de 25 a 75 milímetros (mm).

3.3.9 pH

Durante o processo ocorre a produção de ácidos orgânicos, e a compostagem conduz a pH ligeiramente ácido (pH 5,0-6,0) na fase mesófila. No entanto, com a produção de amoníaco durante a fase termófila, o ambiente é neutralizado pelas bases liberadas através da matéria orgânica já em processo de degradação, transformando o meio em alcalino (pH 7,5-9,0) (BIDONE e POVINELLI, 1999; KIEHL, 2004; FERNÁNDEZ, 2008). Para a compostagem, níveis de pH em torno de 7,0 a 8,0 são considerados benéficos, pois podem ser usados para a correção de solos ácidos (PEREIRA NETO, 1996). No Gráfico 1, é possível verificar a variação do pH durante o processo de compostagem.

Gráfico 1 - Variação do pH durante a compostagem



Fonte: Baseado em KIEHL (1985).

3.3.10 Vantagens do processo

O processo de compostagem apresenta a vantagem de ser um método de tratamento de resíduos orgânicos, que são gerados em grandes quantidades e causam notáveis danos ambientais, caso não sejam tratados. Com a alta temperatura atingida na fase termófila de degradação do material orgânico (até 65 – 70 °C), ocorre a inibição de patógenos responsáveis por algumas doenças em plantas, animais e seres humanos (MATOS, 2014). Além disso, um bom composto possui a capacidade de melhorar as características físicas, químicas e

biológicas do solo. Assim, a produção de composto orgânico não é somente uma solução final para a produção de alimentos ou para o saneamento ambiental de resíduos, mas pode auxiliar na atenuação dos danos causados pela disposição inadequada dos resíduos, propiciando a recuperação de solos agrícolas empobrecidos pela ação de fertilizantes químicos aplicados indevidamente (LIMA, 2004).

O uso de composto orgânico no solo é benéfico, pois é fonte de matéria orgânica e nutrientes para as plantas, eleva a Capacidade de Troca Catiônica (CTC), auxilia na diminuição de perdas por lixiviação, na formação de agregados e conseqüentemente na aeração do solo, aumenta a estabilidade do pH e incrementa a biodiversidade da microbiota do solo (INÁCIO e MILLER, 2009).

Segundo Inácio e Miller (2009) o composto orgânico quando aplicado em elevadas doses e por longo período no solo pode substituir o uso dos fertilizantes químicos ou pode ser aplicado em conjunto com estes, aumentando a eficiência da absorção de nutrientes solúveis. Entretanto, fatores como clima local, condições de solo, temperatura e textura, quantidade de composto aplicado e tipo de cultura desenvolvida, influenciam no sucesso do uso dos compostos orgânicos.

3.4 Dejetos suínos

O rebanho suíno é o segundo em número de animais quadrúpedes criados no Brasil, sendo que em 2014 apresentaram 37.929.357 de cabeças, concentrando na região sul 18.681.908 cabeças (49,25% do rebanho nacional). Com isso o Brasil é o quarto produtor e exportador mundial de carne suína, com produção média anual de 2,84% e exportação de 4,91% (IBGE, 2014).

A suinocultura representa a principal fonte de proteína animal para a nutrição humana, e ocupa uma colocação estratégica na produção global de alimentos (FAO, 2010). Todavia, o crescimento acelerado dessa atividade têm causado impactos ambientais, em especial em países em desenvolvimento como o Brasil.

A grande quantidade de N e fósforo (P) encontrada nos dejetos suínos causam desequilíbrio ecológico, como eutrofização das principais bacias hidrográficas nas regiões produtoras, impactos no solo e atmosfera (PRÁ et al., 2009).

Em geral, os produtores mantem a maior parte do ciclo produtivo dos suínos em confinamento total, ocasionando um grande número de animais em pequenas áreas, o que gera grandes volumes de dejetos, em sua maioria na forma líquida e em pequenas áreas (PRÁ et al., 2009). Devido a isso, a criação de suínos é rotulada como uma atividade de alto potencial poluidor pelos órgãos de fiscalização ambiental (PRÁ et al., 2009).

Grande parte dos dejetos suínos gerados na suinocultura são manejados e armazenados na forma líquida (OLIVEIRA, 2002). O alto volume de material orgânico gerado nesse sistema, aliado à concentração da atividade suinícola em regiões que apresentam limitação de áreas agrícolas para uso dos dejetos líquidos, potencializa o impacto negativo da suinocultura sobre o meio ambiente (GIACOMINI; AITA, 2008).

A atual legislação ambiental exige formas de tratamento desses dejetos, que nem sempre oferecem eficiência na redução do impacto ambiental causado pela suinocultura, além disso, apresenta alto custo de implantação, e operação, normalmente superior à capacidade de investimento dos produtores, limitando a utilização de algumas tecnologias (PRÁ et al., 2009).

Os dejetos provenientes da suinocultura caracterizam-se por elevada carga de matéria orgânica, P, potássio (K), zinco (Zn), cobre (Cu), N e contaminantes biológicos, causando grande impacto quando manejados incorretamente (HECK, 2013).

Conforme Heck et al. (2013) se os dejetos da suinocultura forem descartados de maneira incorreta, podem causar problemas sanitários e ambientais, propiciando o surgimento de um ambiente favorável ao desenvolvimento de parasitas e vetores de doenças, além da contaminação das águas e emissão de odores e gases poluentes. Entretanto, os dejetos suínos podem ser aproveitados, sendo utilizados como fonte de N e outros elementos químicos através da técnica da compostagem (SOARES, 2014).

Soares (2014) avaliou o processo de compostagem de dejetos suínos e serragem e encontrou resultados satisfatórios, visto que no início do processo a serragem apresenta níveis mais altos de carbono orgânico.

Estudos realizados por Mazé et al. (1999) demonstraram a viabilidade dos sistemas de compostagem para o tratamento de dejetos suínos. Os resultados demonstraram que é possível

atingir uma absorção relativa entre 8 e 14 litros de dejetos líquidos para cada kg da mistura de maravalha e palha, respectivamente.

3.5 Conservação ambiental

A atividade suinícola é reconhecida como de grande potencial poluidor por gerar grande quantidade de dejetos, que possuem em sua composição elevado número de metais pesados como Cu e Zn, além de materiais orgânicos e nutrientes (VIVAM, 2010).

Os dejetos provenientes da suinocultura são entendidos como composto de fezes e de urinas dos animais, água excedente dos bebedouros, utilizada para higienização das baias, além de pêlos e ainda resíduos de rações em comedouros (ALVES, 2007).

Vários fatores como a falta de formação pessoal, orientação técnica aos produtores e falta de eficiência na fiscalização governamental, gera uma contaminação maior ao meio ambiente, destacando principalmente em águas e lençóis freáticos, poluição causada por organismos enteropatogênicos, alterações no solo, e ainda poluição do ar causada pelos gases dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) e cheiro desagradável de sulfeto de hidrogênio (H_2S) e NH_3 (ARAÚJO, 2007). Esses gases estão associados de forma diversa com o aquecimento global, e com isso a diminuição da camada de ozônio e a chuva ácida. Com isso, os impactos gerados são o resultado da tecnologia e do sistema de manejo adotado, da escala da atividade e mais significativamente, da concentração de atividades que ocorre num determinado agroecossistema (PERDOMO et al., 2001).

A prática mais utilizada na suinocultura brasileira é armazenar os dejetos em tanques ou lagoas e posteriormente, aplicar em pastagens ou lavouras como fertilizantes do solo. Entretanto, dependendo do volume aplicado, o solo não consegue absorver e reciclar, pois essa demanda muitas vezes supera a recomendação dos órgãos ambientais fiscalizadores (VIVAN, 2010).

Dejetos frescos quando lançados direto em cursos d'água acarretam no aumento da população bacteriana e de algas promovendo a eutrofização, na redução do oxigênio dissolvido na água e na mortandade de peixes, além da presença de ácidos, óleos e outros materiais tóxicos que tornarão a água imprópria para consumo humano e à vida aquática. Somado a isso, os problemas de resíduos domésticos e industriais tem causado sérios

problemas ambientais, como a destruição dos recursos naturais, especialmente a água. (RANZI; ANDRADE, 2004; PERDOMO et al.,2001).

3.6 Serragem para utilização na compostagem

A serragem é um subproduto do beneficiamento de madeiras, obtida no “fio da serra”, com partículas de diâmetro médio aproximado de 2 mm (PRÁ et al., 2009). É um resíduo ideal para utilização no processo de compostagem de dejetos suínos, pois possui a capacidade de absorver umidade e fornecer porosidade adequada para a compostagem (NUNES, 2003).

A produção de serragem é de grande importância tendo em vista o custo de estocagem. Embora possa ser utilizada para fins como forragem em granjas, queima para produção de energia e para compostagem o volume residual ofertado é consideravelmente superior ao volume demandado (OLIVEIRA et al., 2008).

Trombin et al. (2006) concluiu que a serragem adicionada a resíduos orgânicos domiciliares em sistema de minicompostagem, permitiu regular adequadamente o alto teor de umidade dos resíduos orgânicos, controlar a umidade e obter um composto seguro, livre de microrganismos patogênicos por ter alcançado temperaturas termofílicas, além de equilibrar a relação C/N.

Kunz et al. (2005) testaram serragem e maravalha em composteiras com dejetos suínos e concluíram que composteiras são boas alternativas para o tratamento de dejetos suínos e a serragem ou maravalha se mostraram eficientes, não apresentando diferenças entre os produtos.

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais utilizados

4.1.1 Dejeito Suíno

Para realização do experimento em escala piloto optou-se por utilizar dejeito suíno, visto que a atividade suinícola é reconhecida como de grande potencial poluidor por gerar grande quantidade de dejetos, que possuem em sua composição elevado número de metais pesados como Cu e Zn, além de materiais orgânicos e nutrientes (VIVAM, 2010).

O dejeito suíno, proveniente de matrizes, utilizado no processo de compostagem em escala piloto foi coletado em uma esterqueira, de uma propriedade rural do município de Estrela/RS.

4.1.2 Serragem

A serragem foi escolhida por ser ideal para utilização no processo de compostagem de dejetos suínos, pois possui a capacidade de absorver umidade e fornecer porosidade adequada para a compostagem.

A serragem utilizada no processo de compostagem em escala piloto foi adquirida em uma madeireira do município de Lajeado/RS.

4.1.3 Insumos e Equipamentos

Para realização dos testes e análises da compostagem em escala piloto, utilizou-se os seguintes equipamentos e insumos:

- Chapa aquecedora;
- Estufa de secagem;
- Balança analítica;
- Bloco digestor;
- Destilador de nitrogênio;
- Sensores PT 100;
- *Datalogger*;
- Bombonas plásticas de 50 litros nas dimensões de 31,5 x 31 x 59,7 cm;
- Vidrarias e reagentes disponíveis junto aos Laboratórios de Gerenciamento de Resíduos do Centro Universitário UNIVATES.

4.2 Métodos

4.2.1 Análise de Carbono

Foram realizadas análise de Carbono Orgânico Total (COT), para caracterizar as amostras de dejetos suíno e serragem utilizadas no processo em escala piloto. O parâmetro C foi analisado antes de iniciar o processo de compostagem, para conhecer as características dos produtos utilizados no experimento, e também no final do processo, para avaliação do produto final. A determinação do COT foi realizada conforme o método descrito pela APHA (1998).

A amostra foi seca em estufa a 105 °C por 24 horas em um recipiente de alumínio, posteriormente colocadas em dessecador até atingirem temperatura ambiente, logo, foram maceradas e homogeneizadas. Pesou-se 0,1 g da amostra e transferiu-se para o Erlenmeyer. Em seguida adicionou-se 50 mL de Dicromato de Potássio 0,20 M e foi pipetado 50 mL de Ácido Sulfúrico, sob agitação, cobrindo com um vidro relógio o Erlenmeyer. Sob chapa de aquecimento as amostras ficaram por 30 minutos a 140 °C. Após, quando já frias, foram transferidas para um balão de 250 mL. Em seguida avolumadas e homogeneizadas. Ficaram em descanso por mais 1 hora, e posteriormente ajustado novamente o menisco. Em seguida

pipetou-se 50 mL da amostra do balão de volta para o respectivo Erlenmeyer e adicionou-se 50 mL de água deionizada. Foi pipetado em cada Erlenmeyer 10 mL de Ácido Fosfórico, e 8 gotas do Indicador Ferroína. Em seguida, foram tituladas com Sulfato Ferroso Amoniacal 0,5 M.

Equação 1 - Concentração Sulfato Ferroso Amoniacal

$$c = \frac{2}{V_p}$$

Onde:

V_p = mL de Sulfato Ferroso Amoniacal gasto na titulação da amostra padrão

Equação 2 - Cálculo Carbono

$$\% C = \frac{9c (V_B - V_A)}{g}$$

Onde:

V_B = mL de Sulfato Ferroso Amoniacal gasto para titular a prova em branco;

V_A = mL de Ácido Fosfórico gasto para titular a prova em branco;

g = massa em gramas pesada da amostra;

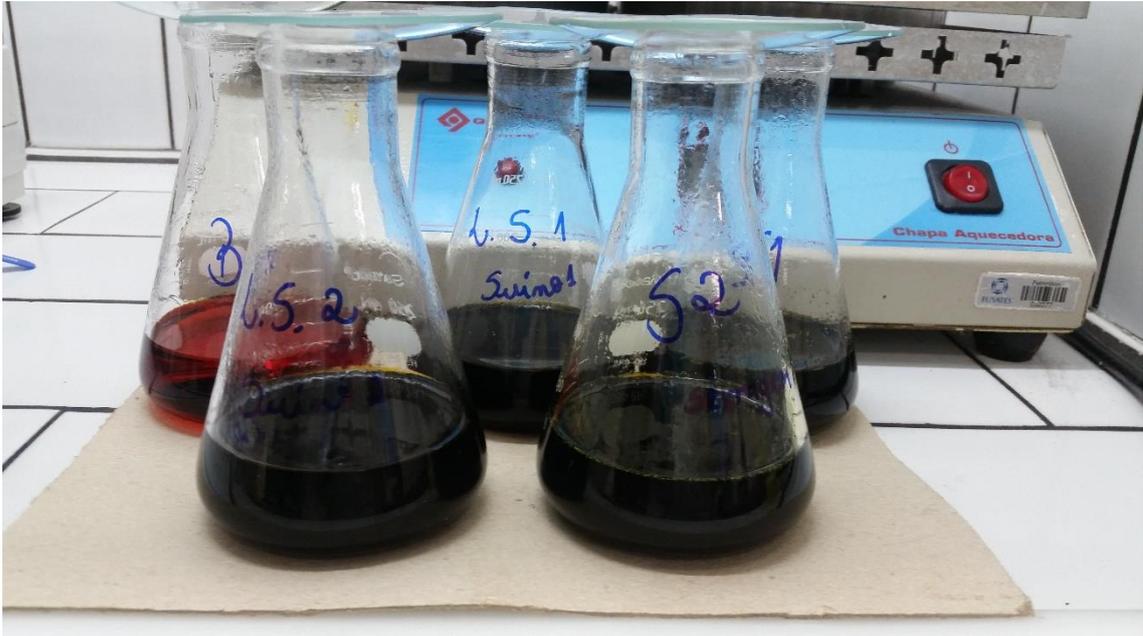
c = Concentração de Sulfato Ferroso Amoniacal

Prova em Branco: em um Erlenmeyer foi adicionado 50 mL de Dicromato de Potássio e 50 mL de Ácido Sulfúrico, foi coberto com vidro relógio e colocado sob a chapa de aquecimento, junto com as outras amostras.

Amostra Padrão: em um Erlenmeyer foi pipetado 10 mL de Dicromato de Potássio, adicionado 90 mL de água deionizada, 10 mL de Ácido Fosfórico e 8 gotas de Indicador Ferroína. Foi titulado juntamente com as outras amostras.

Na Figura 3 é possível verificar as amostras após o aquecimento sob chapa.

Figura 3 - Procedimento de análise do Carbono



Fonte: do autor.

Já na Figura 4, as amostras transferidas para o balão volumétrico, durante o processo de análise de C.

Figura 4 - Procedimento de análise do Carbono



Fonte: do autor.

4.2.2 Análise de Nitrogênio

Com o objetivo de conhecer as características das amostras, a análise de N também foi realizada antes do início do processo, e ao final, no composto produzido para conhecer as características do material. As análises do nitrogênio total (NT) foram realizadas conforme o APHA (1998).

Para a determinação de NT, pesou-se de aproximadamente 3 g das amostras em papel filtro, foram colocadas em tubo macro de digestão, e adicionou-se 50 mL do Reagente de Digestão. Em seguida foram colocadas no Bloco Digestor, primeiramente a 150°C, até que o volume da amostra reduzisse em torno de 30 mL. Em seguida, a temperatura foi elevada a 385 °C e mantidas em digestão até adquirir a cor verde claro. Em seguida, foram retiradas do bloco para que resfriassem, logo acrescentou-se 50 mL de água deionizada. Posteriormente as amostras foram destiladas, com 50 mL de Hidróxido de Sódio 40% com Tiosulfato de Sódio, o destilado foi recolhido em um Erlenmeyer contendo 50 mL de Ácido Bórico 2%, e quatro gotas de indicador misto. Foi destilado até atingir o volume de 175 mL. Em seguida foram tituladas com Ácido Sulfúrico 0,02 N (Padronizado).

Equação 3 - Cálculo nitrogênio

$$N \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{(V_A - V_B) \times F}{P}$$

Onde:

V_A = mL de Ácido Sulfúrico gasto para titular a amostra

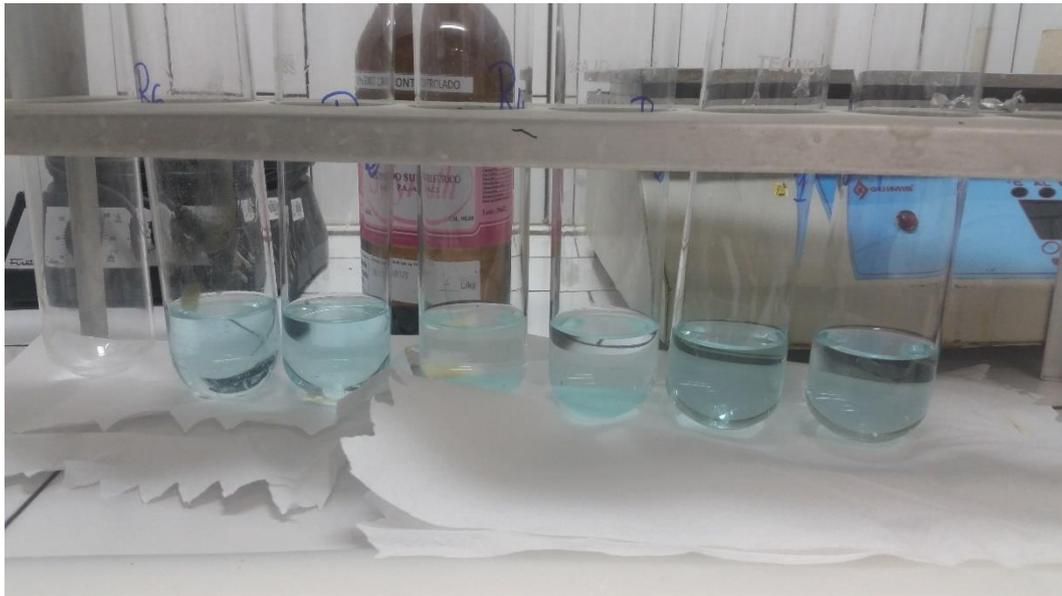
V_B = mL de Ácido Sulfúrico gasto para titular o branco

P = peso da amostra

F = fator de correção do ácido (f) x 280

Na Figura 5, é possível verificar as amostras após a digestão em bloco digestor.

Figura 5 - Procedimento de análise de Nitrogênio



Fonte: do autor.

E na Figura 6 durante a destilação do Nitrogênio, em destilador.

Figura 6 - Procedimento de análise de Nitrogênio



Fonte: do autor.

4.2.3 Umidade

A umidade é essencial para o processo de compostagem. Visto isso, essa análise foi realizada antes do início do processo, para caracterizar os materiais. Outra, depois de decorrido um mês do início da compostagem, com o objetivo de avaliar o andamento do processo e outra no final, do composto finalizado.

A determinação do teor de umidade foi realizada conforme o método descrito pela AOAC (1995).

Em uma cápsula de porcelana pesou-se aproximadamente 5 g de amostra, em seguida foi colocado em uma estufa a 105 °C por 8 horas. Posteriormente, as amostras foram esfriadas em dessecador até a temperatura ambiente e após pesadas.

Os resultados foram obtidos através da seguinte fórmula:

Equação 4 - Teor de umidade

$$\text{Teor de umidade (\%)} = \frac{(A - B) \times 100}{(A - C)}$$

Onde:

A = peso da cápsula + amostra

B = peso pós estufa

C = peso da cápsula

4.2.4 Montagem do Experimento em Escala Piloto

O experimento foi realizado em escala piloto, na sala de Pesquisas em Compostagem no campus da Univates no município de Encantado/RS, no período de agosto a outubro de 2016.

As relações escolhidas para o experimento foram 30:1 e 15:1. A relação 30:1 foi escolhida por ser a ideal para a fase inicial do processo de compostagem, já a de 15:1 foi

predeterminada aleatoriamente, e não é reconhecida como proporção ideal para início do processo de compostagem.

4.2.5 Monitoramento do Processo de Compostagem

Um dos parâmetros de acompanhamento do processo de compostagem foi a temperatura. A medição da temperatura interna foi realizada utilizando sensores PT 100. O sensor PT 100 é um tipo de termorresistência que mede a temperatura pela correlação da sua resistência elétrica com a temperatura (Figura 7). A maioria destes sensores é feita a partir de uma espiral de fio fino montada num suporte cerâmico ou de vidro. Os sensores PT 100 foram conectados a um *Datalogger*, (Figura 8), o qual armazena os valores de temperatura a cada hora, para cada reator.

Figura 7 - PT 100 utilizados nos testes



Fonte: do autor

Na Figura 9 é possível verificar o *Datalogger* utilizado no experimento, responsável pelo armazenamento dos dados de temperatura.

Figura 8 – *Datalogger* utilizado para armazenamento de dados



Fonte: do autor

4.2.6 Aeração

No experimento, a aeração foi controlada através do soprador (Figura 9), conectado a um *timmer*, que aerava a compostagem duas vezes ao dia, uma pela manhã, e outra à tarde, durante 15 minutos. O revolvimento manual ocorria semanalmente.

Figura 9 – Soprador utilizado no experimento



Fonte: do autor.

4.2.7 Compostagem em Escala Piloto

A compostagem em escala piloto foi montada em reatores de 50 litros cada (Figura 10). Os reatores são sustentados por uma estrutura de cantoneira de aço, com uma parte superior móvel, com uma manivela acoplada ao recipiente, o que facilita o manuseio e revolvimento dos mesmos, apresentando na parte externa, um sistema de isolamento térmico composto por espuma de polietileno e um artifício de drenagem de chorume, que possa vir a se formar eventualmente.

Para fins de nomenclatura, os reatores utilizados no experimento foram numerados de 1 a 6. Sendo os reatores 1, 2 e 3 correspondentes a relação C/N de 30:1, e os reatores 4, 5 e 6 para a relação 15:1.

Figura 10 – Reatores utilizados nos testes



Fonte: do autor

Na Figura 11 é possível verificar o sistema de aeração instalado nos reatores.

Figura 11 - Reatores utilizados no experimento



Fonte: do autor.

4.3 Cálculo Relação C/N

Para calcular as quantidades ideais de cada material a ser utilizado na compostagem, a fim de obter a relação C/N de 30:1 e de 15:1, utilizou-se o cálculo citado por Brito (2016).

Equação 5 - Cálculo da relação C/N

$$\frac{C}{N} = \frac{(P_1[C_1(100 - U_1)]) + (P_2[C_2(100 - U_2)])}{(P_1[N_1(100 - U_1)]) + (P_2[N_2(100 - U_2)])}$$

Onde:

P = *Peso da amostra*

C = *% de Carbono*

N = *% de Nitrogênio*

U = *Umidade da amostra*

5 RESULTADOS

Neste capítulo serão discutidos os resultados obtidos, segundo a metodologia proposta para avaliar o processo de compostagem em escala piloto, levando em consideração os valores de relação C/N de 30:1 e também de 15:1.

5.1 Características Iniciais

Para avaliar os materiais utilizados no processo de compostagem (dejeito suíno e serragem) realizou-se as análises de C, N e teor de umidade. Todas análises foram realizadas no laboratório de Gerenciamento de Resíduos da UNIVATES.

Salienta-se que nas Tabelas, gráficos e demais informações que seguem, os resultados estão expressos com relação à média de três amostras já que as análises foram conduzidas em triplicata.

5.1.1 Umidade

Realizou-se análise de umidade do dejeito suíno e da serragem. O resultado obtido foi utilizado para calcular, juntamente com o C e N, as quantidades ideais de cada material, para atingir as relações C/N de 30:1 e de 15:1.

Na Tabela 1 é possível verificar os valores de umidade para as amostras de dejeito suíno e serragem.

Tabela 1 - Umidade dos materiais

Material	Umidade (%)
Serragem	20,70± 0,56
Dejeto suíno	98,60± 0,98

Fonte: do autor.

Através dos resultados é possível verificar que o dejeto suíno apresenta altos teores de umidade. Nesse sentido, o uso da serragem em compostagem com dejeto suínos, ao mesmo tempo em que permite absorver umidade, pois possui a característica de fornecer porosidade apropriada, apresenta-se como bom material estruturante, auxiliando o andamento do processo de compostagem.

5.1.2 Carbono e Nitrogênio

As análises de C e N foram realizadas nos materiais serragem e dejeto suíno, a fim de conhecer suas características, e para que os resultados pudessem ser utilizados no cálculo da Relação C/N.

Tabela 2 - Carbono e Nitrogênio dos materiais

Material	C (%)	N (%)
Serragem	46,13±0,71	1,14±0,61
Dejeto suíno	28,89±0,91	8,90±0,64

Fonte: do autor.

Através dos resultados, percebe-se que o dejeto suíno apresenta baixo teor de C, e alto teor de N. Já a serragem possui alto teor de C, e baixo de N. Aliado a isso, um material complementa o outro.

5.2 Cálculo Relação C/N

Os resultados de C, N e umidade encontrados nas análises do dejeto suíno e da serragem, foram aplicados na Equação 5, para calcular as quantidades ideais de cada material

a ser utilizado na compostagem, a fim de obter a relação C/N de 30:1 e de 15:1. Os sub índices 1 e 2 indicam os materiais utilizados (dejeito suíno e serragem, respectivamente).

Equação 6 - Cálculo da relação C/N 30:1

$$\frac{30}{1} = \frac{(22_1[28,89_1(100 - 98,60_1)]) + (8_2[46,13_2(100 - 20,70_2)])}{(22_1[8,90_1(100 - 98,60_1)]) + (8_2[1,14_2(100 - 20,70_2)])}$$

Equação 7 - Cálculo da relação C/N 15:1

$$\frac{15}{1} = \frac{(22_1[28,89_1(100 - 98,60_1)]) + (1,5_2[46,13_2(100 - 20,70_2)])}{(22_1[8,90_1(100 - 98,60_1)]) + (1,5_2[1,14_2(100 - 20,70_2)])}$$

Através do cálculo obteve-se as quantidades de 22 kg de dejeito suíno, e 1,5 kg de serragem, para compor a relação C/N de 15:1. Já para a relação 30:1, encontrou-se os valores de 22 kg de dejeito suíno misturados a 8 kg de serragem.

5.3 Monitoramento do Processo de Compostagem

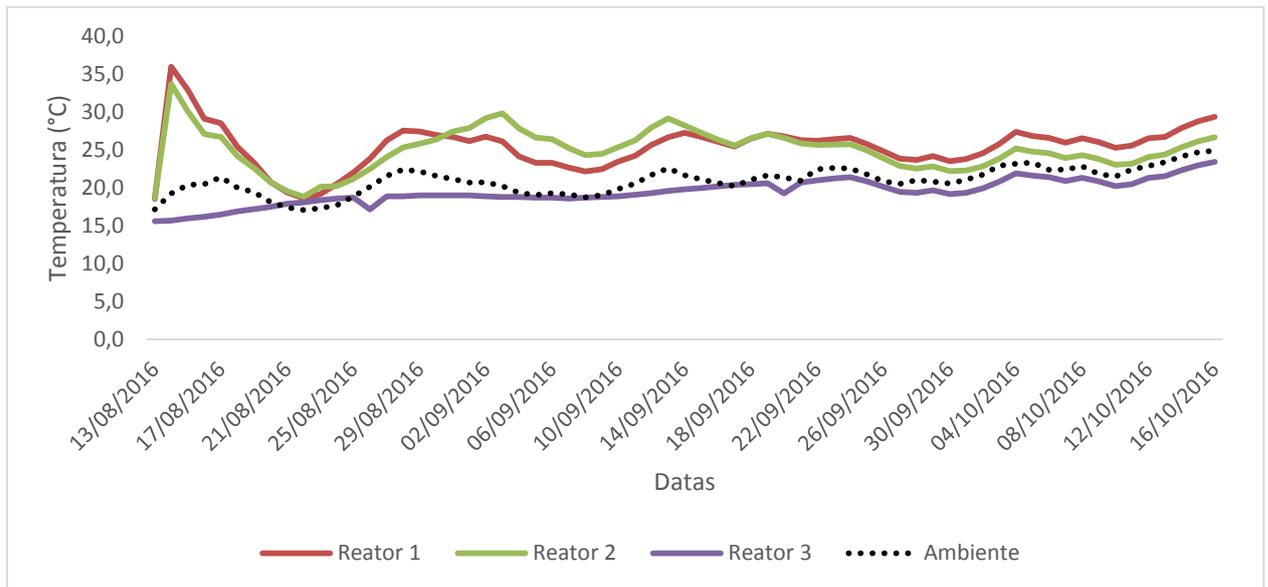
Para acompanhar as características do processo de compostagem em escala piloto, foram utilizados os sensores PT 100 para controle da temperatura, além da análise de umidade, realizada decorridos 30 dias do início do processo.

5.3.1 Temperatura

Através da leitura e armazenamento dos dados de temperatura, foi possível acompanhar o processo de compostagem em escala piloto.

No Gráfico 2 é possível verificar as temperaturas dos reatores 1, 2 e 3, representantes do experimento de relação C/N 30:1, e também da temperatura ambiente, ambos medidos utilizando sensores PT 100.

Gráfico 2 - Temperatura da relação 30:1



Fonte: do autor.

Com base nos dados obtidos de temperatura, percebe-se que o reator 3, apresentou resultados diferentes dos reatores 1 e 2, ficando abaixo da temperatura ambiente, em durante praticamente toda fase experimental. Esse fato pode estar ligado ao medidor de temperatura – PT100 – utilizado, pois o mesmo pode ter apresentado problemas durante o processo de compostagem, e ter apresentado resultados equivocados. Diante disso, a discussão se dará com base nos reatores 1 e 2.

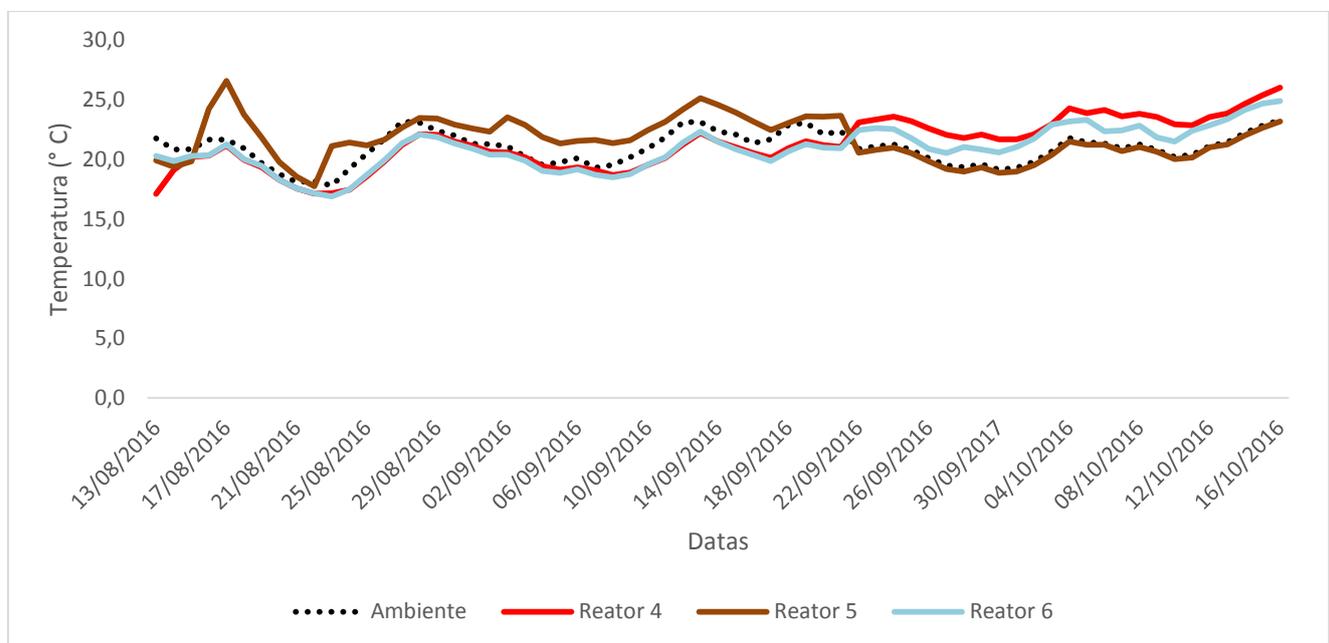
Verifica-se pelo Gráfico 2 que o pico de temperatura alcançado nos reatores ocorreu nos primeiros dias de experimento, caracterizando atividade microbiana intensa. Apesar das temperaturas não apresentarem valores superiores a 36°C, se comparadas à temperatura ambiente de 19,3 °C percebe-se claramente a atividade microbiana associada à compostagem, corroborando com estudos realizados por Kiehl (1998), que concluiu que no processo de compostagem, a atividade microbiológica atinge alta intensidade, provocando a elevação da temperatura no interior da compostagem.

A diferença dos reatores 1 e 2 com relação à temperatura ambiente, ocorreu durante toda fase experimental. Decorridos 15 dias do início do processo, o reator 2 apresentou temperatura de 29,8 °C, enquanto que a temperatura ambiente 20,2°C.

Destaca-se que ao final dos 60 dias de experimentação, os reatores 1 e 2 ainda apresentavam temperatura de 5 °C superior com relação à temperatura ambiente, demonstrando ainda haver atividade microbiana. Ressalta-se que, caso fosse possível manter em funcionamento o experimento, e realimentar os reatores com dejetos suíno, provavelmente novos picos de temperatura ocorreriam em ambos os reatores.

Com relação ao experimento C/N 15:1, os resultados obtidos através da medição de temperatura, podem ser verificados no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Temperatura na relação 15:1



Fonte: do autor.

Com a relação C/N de 15:1, as temperaturas apresentaram-se próximas a temperatura ambiente. O pico de temperatura ocorreu nos primeiros dias de experimento, e alcançou 26,6°C, sendo que nesse mesmo dia a ambiente encontrava-se com temperatura de 21,3°C. Após os primeiros dias e pico de temperatura, no decorrer do processo de compostagem, não houve atividade microbiana nos reatores, pois as temperaturas mantiveram-se limítrofe com a temperatura ambiente.

Os resultados obtidos demonstram que devido ao dejetos suíno, em grande quantidade no caso da relação C/N de 15:1, se infiltrar na serragem, uma característica de anaerobiose

pode ter se criado nos reatores 4, 5 e 6. Aliado a isso, as condições dos reatores não favoreciam a atividade microbiana.

5.3.2 Umidade

As análises de umidade foram realizadas para acompanhar o processo de compostagem. Diante disto realizou-se as análises um mês após o início do experimento e no composto finalizado.

Os resultados obtidos na análise de umidade podem ser verificados na Tabela 3.

Tabela 3 - Umidade dos reatores um mês após início processo

Material	Umidade (%)
Reator 1 30:1	55,01 ±0,74
Reator 2 30:1	68,40 ±0,90
Reator 3 30:1	50,72 ±0,63
Reator 4 15:1	98,51 ±0,95
Reator 5 15:1	98,40 ±0,27
Reator 6 15:1	97,51 ±0,75

Fonte: do autor.

Para os reatores 1, 2 e 3, os resultados de umidade obtidos foram em torno de 55%, classificando-se como ideal segundo estudos realizados por Kiehl (2004), que considera a umidade ideal para o processo de compostagem entre 50 e 60%. Já os reatores 4, 5 e 6, apresentaram umidade em torno de 98%. Segundo Richard et al. (2002) materiais com umidade acima de 65% conferem uma decomposição lenta, criam condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes.

5.4 Composto Final

Para verificar as características dos produtos finais gerados no processo de compostagem com a relação C/N 30:1 e também 15:1, realizou-se análises de C, N e umidade no composto final produzido.

5.4.1 Tempo de Compostagem

O processo de compostagem em escala piloto durou 60 dias, devido a relação C/N inicial e ideal de 30:1, o tempo reduzido não interferiu na estabilização e maturação dos produtos, corroborando com os estudos de Valente et al. (2009), que concluiu que o tempo para que ocorra a estabilização ou a maturação dos resíduos orgânicos, está diretamente relacionado à relação C/N inicial dos materiais utilizados como substratos. Além disso, estudos realizados por Golueke (1977) demonstram que a relação C/N ideal indica a aptidão do substrato para ser degradado, pois o seu valor inicial afeta a velocidade de decomposição do material.

5.4.2 Umidade Final

Os resultados obtidos na análise de umidade do composto final produzido, pode ser verificado na Tabela 4.

Tabela 4 - Umidade reatores no final do processo

Material	Umidade (%)
Reator 1 30:1	39,31± 0,98
Reator 2 30:1	62,50±0,70
Reator 3 30:1	49,83±0,64
Reator 4 15:1	98,64±0,01
Reator 5 15:1	99,18±0,02
Reator 6 15:1	98,59±0,02

Fonte: do autor.

O controle do alto teor de umidade é imprescindível para o andamento adequado do processo de compostagem, visto isso, uma alternativa para controlar os excessos de umidade é a adição de resíduos palhosos, como a serragem (MARAGNO, et al., 2007). Destaca-se que nos reatores 1, 2 e 3, onde houve um controle das quantidades ideais de entrada de material, a

umidade manteve-se sempre próxima a ideal. Em comparação aos reatores 4, 5 e 6 a umidade excessiva, devido a pequena quantidade de serragem adicionada, não obteve-se as condições ideais para desenvolvimento da atividade microbiana.

5.4.3 Relação C/N

Decorridos os 60 dias do processo de compostagem, realizou-se novamente os testes de C e N, para avaliar o produto final gerado no processo. Esses resultados podem ser verificados na Tabela 5.

Tabela 5 - Carbono e Nitrogênio no final do processo

Material	C (%)	N (%)	Relação C/N final	Relação C/N inicial
Reator 1	28,91±0,92	1,81±0,21	15,9:1	30:1
Reator 2	23,00±0,07	1,28±0,52	17,9:1	30:1
Reator 3	29,58±0,91	1,57±0,07	18,8:1	30:1
Reator 4	18,08±0,79	1,08±0,87	16,6:1	15:1
Reator 5	16,43±0,72	1,10±0,60	14,9:1	15:1
Reator 6	17,27±0,26	1,05±0,78	16,4:1	15:1

Fonte: do autor.

Através dos resultados obtidos nas análises de C e N, percebe-se que os reatores 1, 2 e 3 sobressaíram-se em comparação aos resultados encontrados nos reatores 4, 5 e 6. Apresentando, conseqüentemente relações C/N final maiores, corroborando com os valores encontrados por Kiehl (2004), que sugere valores finais de processo de 10 a 20:1 devido às perdas de C que, são maiores que as de N no decorrer da compostagem.

Os resultados de Relação C/N finais para os reatores 4, 5 e 6 demonstram que não houve diferença em relação à quantidade inicial, uma vez que a relação C/N utilizada para iniciar o experimento foi de 15:1. Segundo Golueke (1977), se a relação C/N inicial for

demasiado baixa, a quantidade de C existente é menor do que a necessária para converter o N em material celular.

Na Figura 12, é possível verificar o produto final da compostagem de relação C/N 30:1.

Figura 12 - Material relação 30:1 finalizado



Fonte: do autor.

Salienta-se que o aspecto visual do composto maturado foi excelente, apresentando cor e odor característico de composto orgânico.

Na Figura 13 observa-se o produto final do processo de compostagem de relação C/N 15:1.

Figura 13 - Material relação 15:1 finalizado



Fonte: do autor.

O aspecto visual do composto de relação C/N 15:1, não apresentou característica de composto finalizado, e ainda apresentava cheiro característico de dejetos suíno.

Através dos resultados obtidos, pode-se destacar que para cada m³ de serragem utilizada no processo são necessários aproximadamente 379 litros de dejetos suíno. Esse raciocínio é possível de ser aplicado em escala real.

6 CONCLUSÃO

A partir da metodologia utilizada, conclui-se que a relação C/N de 30:1 é a melhor relação para iniciar o processo de compostagem. Visto que utiliza as quantidades ideais de Carbono e Nitrogênio, e também de umidade das amostras.

O método utilizado apresentou-se como eficiente para calcular as quantidades de cada material a ser utilizado na compostagem. Uma vez que o cálculo proporciona conhecer as quantidades ideais de cada material a ser utilizado para a relação C/N aspirada, e compostar com qualidade e agilidade os materiais escolhidos.

Com a relação C/N ideal, de 30:1, percebeu-se que o tempo necessário para compostar os materiais diminuiu, visto que tinha as condições ideais, de C, N, umidade, e também de aeração e revolvimento, uma vez que esses parâmetros eram controlados no processo de compostagem em escala piloto.

Os resultados demonstram que o controle das quantidades de materiais a serem acrescentados na compostagem, determina o tempo necessário para estabilizar o produto final, e influenciará diretamente na qualidade do composto produzido.

Com os testes em escala piloto, foi possível verificar que alto teor de umidade não gera bom composto, pois as condições da compostagem não são favoráveis para a presença de microrganismos. Comprovando que o teor de umidade ideal para o processo de compostagem é de 50-60%, valores próximos aos encontrados nos testes da relação C/N 30:1. A relação 15:1, escolhida aleatoriamente, apresentou alto teor de umidade, inibindo a

atividade microbiana do processo, e conseqüentemente diminuindo a qualidade do produto final, aumentando o tempo de maturação do produto, e ainda indeterminando o tempo de conclusão do processo de compostagem.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. G. C. de M. **Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processos anaeróbicos:** operação e avaliação de diversos reatores em escala real. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2007.
- APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed Washington, 1998.
- ARAÚJO, I.S. **Avaliação de lagoas facultativas aerada e de maturação, em escala real, como etapas secundárias e terciárias de sistema de tratamento de dejetos suínos.** Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-10004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official methods of analysis.** 16 ed. Arlington: AOAC International, 1995.
- BATISTA, J.G.F.; BATISTA, E.R.B. **Compostagem:** Utilização de compostos em horticultura. Universidade dos Açores - Centro de Investigação e Tecnologias Agrárias dos Açores, 2007.
- BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos.** São Carlos: EESC/USP, Projeto REENGE, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 05,** de 01 de março de 2007. Disponível em:
<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229260>>. Acesso em: abr. 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 23,** de 23 de julho de 2009. Disponível em:
<<http://www.laborsolo.com.br/arquivos/normativas/INM25.pdf>>. Acesso em: abr. 2016.
- BRITO, L.M. **Compostagem para agricultura biológica:** Manual de Agricultura Biológica - Terras de Bouro. Disponível em:
<<http://www.ci.esapl.pt/mbrito/Manual%20de%20AB%20%20compostagem.pdf>>. Acesso em 18/05/2016.
- D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal:** manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT: CEMPRE, 2000.

DIAZ, L.F.; BERTOLDI, M. De; BIDLINGMAIER, W.; STENTIFORD, E. **Compost Science and Technology**. Elsevier. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/338818/1/sistemabrasileirodeclassifica caodossolos2006.pdf>>. Acesso em: abr. 2016.

EPSTEIN, E. **Industrial Composting: Environmental Engineering and Facilities Management**. Taylor and Francis, 2011.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of Food and Agriculture**. Rome, Italy, 2010.

FERNANDES, M. J. C. **Avaliação do processo a implementar numa central de compostagem**: Formulação de mistura de resíduos. Dissertação – Universidade do Porto (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Porto – Portugal, 2012.

FERNÁNDEZ, H. T. M. **Producción de biofertilizantes por degradación microbiológica de residuos orgánicos**. Microorganismos e Agrobiodiversidade: O novo desafio para a agricultura, Editora Agro livros, 353 – 373p., 2008.

FIALHO, L. L.; SILVA, W. T. L.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. **Characterization of organic matter from composting of different residues by physicochemical and spectroscopic methods**. Bioresource Technology, v.101, p.1927-1934, 2010.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. **Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho**. Revista Brasileira Ciência do Solo, 2008.

GOLUEKE, C.G. **Biological Reclamation of Solid Wastes**. Rodale Emmaus, PA, 1977.

HECK, K.; MARCO, E. G.; HANN, A. B. B.; KLUGE, M.; SPILKI, R.; SAND, T. V. **Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 54-59, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divulgação dos resultados do censo 2014 IBGE**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em 15 abr 2016.

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

INSAM, H.; M. BERTOLDI. **Microbiology of the Composting Process**. Compost Science and Technology. Elsevier. p. 26 - 48. 2007

KIEHL, C.J. **Produção de composto orgânico e vermicomposto**. Informe Agropecuário, v.22, n.212, p.40-42, 47-52, Belo Horizonte, 2001.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4 ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: E. J. Kiehl, 1998.

KIEHL, J.E. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. **Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil**. Cadernos de Ciência & Tecnologia. Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, set./dez. 2005.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. **Utilização de maravalha e serragem como substrato para compostagem de dejetos suínos**. Comunicado técnico Embrapa. Concórdia/SC, Dez 2005

LEAL, M. A. A.; GUERRA, J. M.; ESPINDOLA, J. A. A.; ARAÚJO, E. da S.. **Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N**. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental. Campina Grande, v.17, n.11, p.1195–1200, 2013.

LIMA, L.M.Q. **Lixo Tratamento e Biorremediação**. 3 ed. São Paulo: Hemus, 2004.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979.

MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA, E. **O uso da serragem no processo de minicompostagem**. Engenharia Sanitária Ambiental. vol.12 no.4 Rio de Janeiro Oct./Dec. 2007.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa/MG: Editora UFV, 2014.

MICHEL, F.C.; FORNEY, L.J.; HUANG, A.J.F.; CZUPRENSKI, M.; DREW, S.; LINDBERG, J.D.; REDDY, C.A. **Effects of turning frequency, leaves to grass mix ratio and windrow vs. pile configuration on the composting of yard trimmings**. Compost Sci. Util, 1996.

NUNES, M. L. A. **Avaliação de procedimentos operacionais na compostagem de dejetos de suínos**. 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. Jerônimo Monteiro: Supremo, 2008.

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. 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.

PERDOMO, C.C.; LIMA, G.J.M.M; NONES, K. Produção de suínos e meio ambiente. In: Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura, 9., 2001, Gramado, RS. **Anais...** Concórdia, SC: EMBRAPA- CNSPA, 2001. P 8-24.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

PRÁ, M. A. D.; CORRÊA, E. K.; CORRÊA, L. B.; LOBO, M. S.; SPEROTTO, L.; MORES, E. **Compostagem como alternativa para gestão ambiental na produção de suínos**. Porto Alegre: Editora Evangraf Ltda, 2009.

RANZI, T.J.D.; ANDRADE, M.A.N. Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004. 1 CD-ROM.

RUSSO, M. **Avaliação de Parâmetros que Influenciam a Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos e a sua Importância na Qualidade do Composto**: Aplicação e Casos de Estudo. In: Escola Superior de tecnologia e Gestão: Instituto Superior Politécnico de Viana do Castelo. 2004.

SANTOS, L.M.C. **Resíduos com interesse agrícola**. Evolução de parâmetros da sua compostagem. Bragança: Ed. I.P.d, 2001.

SOARES, C. **Compostagem de dejetos líquidos de suínos utilizando diferentes substratos**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia). 2014. 48 f. Universidade Federal do Sergipe. 2014.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F.L.; STENSEL, H.D. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. McGraw-Hill: ed. Metcalf and Eddy, 2003.

TROMBIN, D. F.; VIANA, E.; MARAGNO, E. S. O uso da serragem em sistema de minicompostagem. In: 58ª Reunião Anual da SBPC, 2006, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis: 2006.

TROMBIN, D.F.; VIANA, E.; RÉUS, G. Z.; BALLMANN, C. **A relação C/N dos resíduos sólidos orgânicos do bairro universitário da cidade de Criciúma – SC**. In: XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre/RS, 2005.

TUROVSKIY, I.S.; MATHAI P.K. **Wastewater sludge processing**. Wiley-Interscience. 2006.

VALENTE B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S.; BRUM, B. de S.; CABRERA, B.R.; MORAES, P. de O. Moraes; LOPES, D.C.N. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos.** Arch. Zootec. 58 (R): 59-85. 2009.

VIVAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V. **Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos.** Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental. v.14, n.3, p.320–325, 2010.

ZHU, N. **Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw.** Bioresource Technology 9–13, 2007.