

COMPOSTAGEM DE RESÍDUO SÓLIDO DE INDÚSTRIA OLEOQUÍMICA
SUBMETIDO A TRÊS INOCULANTES

ISABELA MAREGA RIGOLIN

COMPOSTAGEM DE RESÍDUO SÓLIDO DE INDÚSTRIA OLEOQUÍMICA
SUBMETIDO A TRÊS INOCULANTES

ISABELA MAREGA RIGOLIN

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique dos Santos

363.728 2 Rigolin, Isabela Marega.
R573c Compostagem de resíduo sólido de indústria
oleoquímica submetido a três inoculantes / Isabela
Marega Rigolin. - Presidente Prudente, 2013.
67 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) -
Universidade do Oeste Paulista - Unoeste,
Presidente Prudente, SP, 2013.

Bibliografia.

Orientador: Carlos Henrique dos Santos.

1. Degradação. 2. Material Orgânico. 3.
Poluição. I. Título.

ISABELA MAREGA RIGOLIN

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUO SÓLIDO DE INDÚSTRIA OLEOQUÍMICA
SUBMETIDO A TRÊS INOCULANTES**

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Presidente Prudente, 08 de Agosto de 2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Henrique dos Santos
Universidade do Oeste Paulista - Unoeste
Presidente Prudente-SP

Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan
Universidade do Oeste Paulista - Unoeste
Presidente Prudente-SP

Prof. Dr. Hélio Grassi Filho
Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP
Botucatu-SP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a *Deus* e a minha *Família*, pela paciência, incentivo e amor. Pois neles encontro força, esperança e conforto. Eles são minha rocha onde encontro proteção e segurança. Tudo o que sou devo a eles.

AGRADECIMENTOS

"A cada vitória em minha vida o reconhecimento devido ao meu *Deus*, pois só ele é digno de toda honra e toda glória"... Obrigada Senhor por fazer presente em minha vida, por ser minha força e esperança, pelo porto seguro nos momentos de angústia e aflição enchendo meu coração de paz e confiança sempre.

Ao Prof. Dr. Carlos Henrique dos Santos, pela sua dedicada orientação, confiança e apoio. Obrigada pelo reconhecimento, paciência e amizade de sempre.

Aos professores da pós-graduação, em especial aos professores Carlos Sergio Tiritan e José Eduardo Creste pelas contribuições e sugestões durante a banca de qualificação.

Aos meus pais, Vania e Júlio a quem eu devo tudo o que sou, pois neles sempre encontro o colo acolhedor e o exemplo de amor e dedicação. Eles que sempre estiveram intercedendo por mim e acalmando meu coração nos momentos de tristezas e incertezas. Obrigada por todas as oportunidades, apoio e incentivo.

Aos meus irmãos, Bruno e Guilherme por toda a paciência e o apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

A família em geral, avós, tios, tias, primos, sogros e cunhados, pelo carinho e torcida.

Ao Paulo Vinicius Fuzeto, pela calma e paciência. Por me ouvir e me acolher sempre nos momentos de dificuldade. Por me proporcionar momentos de alegria e pela busca de futuro melhor para a nossa futura família.

A todos do Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais – Unoeste, pelo aprendizado, acolhida e companheirismo.

Aos alunos da graduação e companheiros de trabalho Felipe Emanuel dos Santos Moraes e Josiander da Costa Silva e Guilherme Marega Rigolin.

A todos os meus amigos, em especial: Thadeu, Renato, Plínio, João Dal Ponte, Gabriel, Felipe, Helena, Adriana, Leila Esturaro, Leila Silva, Taila e Carlos.

Em especial a minha amiga Renata Pereira Prates pelo amor, palavras de apoio e incentivo. Pelas alegrias e tristezas divididas no dia-dia, fazendo com que os obstáculos fossem ultrapassados de maneira menos dolorida.

Aos Professores e Funcionários da Faculdade de Engenharia “Cons. Algacyr M. Maeder” – Eng. Ambiental e da ETEC – Prof. Dr. Antônio Eufrásio de Toledo pelo incentivo e torcida.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e me apoiaram em todos os momentos, a todos que me proporcionaram importantes lições para minha formação e desenvolvimento acadêmico e em especial por esta nova conquista.

Muito Obrigada!

“... para mim, é impossível existir sem sonho. A vida na sua totalidade me ensinou como grande lição que é impossível assumi-la sem risco”.

(Paulo Freire)

RESUMO

Compostagem de resíduo sólido de indústria oleoquímica submetido a três inoculantes

Uma das formas de reduzir a concentração de resíduos é através da compostagem, sendo considerada como uma alternativa privilegiada de tratamento. Este trabalho teve como objetivo avaliar a compostabilidade de um resíduo industrial através do monitoramento de parâmetros químicos. O experimento foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias, do Curso de Agronomia, localizada no Campus II, na Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Prudente/SP. Para os tratamentos, utilizou-se o resíduo industrial de uma empresa do setor de oleoquímica, devidamente caracterizado quimicamente antes da efetivação das misturas. Os tratamentos foram dispostos em pilhas de compostagem e caracterizados da seguinte forma: **(T1)** = Testemunha; **(T2)** = Proporção de 75% do Resíduo Principal + 25% de Lodo de Esgoto (ETE) (3:1); **(T3)** = Proporção de 50% do Resíduo Principal + 50% de Lodo de Esgoto (ETE) (1:1); **(T4)** = Proporção de 25% do Resíduo Principal + 75% de Lodo de Esgoto (ETE) (1:3); **(T5)** = Proporção de 75% do Resíduo Principal + 25% de Fertilizante Mineral (3:1); **(T6)** = Proporção de 50% do Resíduo Principal + 50% de Fertilizante Mineral (1:1); **(T7)** = Proporção de 25% do Resíduo Principal + 75% de Fertilizante Mineral (1:3); **(T8)** = Proporção de 75% do Resíduo Principal + 25% Esterco de Curral in natura; **(T9)** = Proporção de 50% do Resíduo Principal + 50% Esterco de Curral in natura; **(T10)** = Proporção de 25% do Resíduo Principal + 75% Esterco de Curral in natura. As amostras coletadas foram secas à 65 °C durante 72 horas e depois moídas para a determinação dos seguintes parâmetros: Condutividade elétrica (Ce) em água na relação; pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, Umidade (%) das amostras eliminada à 65°C; Relação C/N, Teor de Matéria Orgânica Total (MOT) e C total. Os resultados foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias F ao nível de 5% de probabilidade e, quando pertinente os efeitos dos tratamentos foram avaliados aplicando-se os modelos de regressão polinomial. O melhor modelo para o ajuste dos dados foi escolhido em função do grau de significância do coeficiente de determinação (R²). De acordo com os dados obtidos verificou-se que a compostagem é uma técnica que poderá ser eficiente no tratamento do resíduo proveniente da indústria oleoquímica, sendo necessária, a adição de inoculantes e nutrientes que forneçam condições necessárias para a atividade microbiana; a proporção de 25% do RI + 75% de LE, foi considerada como um tratamento que obteve um resultado relevante diante da dificuldade de compostagem do RI; que o período de 120 dias não foi suficiente para transformação em composto humificado e a adição de fertilizante mineral não proporcionou efeito significativo.

Palavras-chave: degradação; material orgânico; poluição ambiental; lodo de esgoto; fertilizante mineral; esterco de curral.

ABSTRACT

Composting of solid residue from the oil industry submitted to three inoculants

One way to reduce the concentration of waste through composting is being considered as an alternative privileged treatment. This study aimed to evaluate the compostability of industrial waste through monitoring of chemical parameters. The experiment was conducted at the Agricultural Sciences College, School of Agronomy, located in Campus II, Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE in Presidente Prudente/SP. For treatments we used the residue of an industrial company in the oilchemical, properly characterized chemically before the mixtures. The treatments were arranged in compost piles and characterized as follow way: (T1) = Test, (T2) = 75% Proportion of Principal residue + 25% Sewage Sludges (ETE) (3:1), (T3) = Proportion of 50% of the residue Principal + 50% Sewage Sludges (ETE) (1:1), (T4) = 25% Proportion of Principal residue + 75% of Sewage Sludges (ETE) (1:3) , (T5) = 75% Proportion of Principal residue + 25% Mineral Fertilizer (3:1), (T6) = 50% Proportion of Principal residue + 50% Mineral Fertilizer (1:1), (T7) = 25% Proportion of Principal residue + 75% Mineral Fertilizer (1:3), (T8 = 75% Proportion of Principal residue + 25% Farmyard Manure natural; (T9) = 50% Proportion of Principal residue I + 50% Proportion of Principal residue; (T10) = 25% Proportion of Principal residue + 75% Farmyard Manure natural . The samples were dried at 65 ° C for 72 hours, after that it was grinded to determine the following parameters: electrical conductivity (EC) in relation to water, pH CaCl₂ 0.01 mol L⁻¹, Moisture (%) of the samples removed 65°C; Relation C/N; Content of Organic Matter (MOT) and total C. The results were submitted to analysis of variance and mean comparison test F at 5% probability, and where relevant treatment effects were evaluated by applying the polynomial regression models. The best model to fit the data was selected based on the significance degree of the coefficient of determination (R²). The data obtained showed that composting is a technique which may be effective in the treatment of waste from the oil industry, which requires the addition of inoculum and nutrients to provide the necessary conditions for microbial activity, the proportion of 25 RI% + 75% of LE. It was considered as a treatment which obtained an important result given the difficult to composting RI, that the period of 120 days was not enough to transform into compost humified and the addition of mineral fertilizer provided no significant effect.

Keywords: degradation; organic material; environmental pollution; sewage sludge; mineral fertilizer; farmyard manure.

LISTA DE SIGLAS

ABIOVE – Associação de Indústria Brasileira de Óleos Vegetais

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DIC – Delineamento Estatístico Casualizado

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

FISQ – Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

LISTA DE SIMBOLOS

% – Por cento

°C – Grau Celsius

B – Boro

C – Carbono

Ca – Cálcio

CO – Carbono Orgânico

CO₂ – Dióxido de Carbono

Ce – Condutividade Elétrica

Cu – Cobre

S – Enxofre

EC – Esterco de Curral

K – Potássio

FM – Fertilizante Mineral

Fe – Ferro

LE – Lodo de Esgoto

MO – Matéria Orgânica

MOT – Matéria Orgânica Total

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

N – Nitrogênio

NT – Nitrogênio Total

P – Fósforo

Zn – Zinco

RI – Resíduo Industrial

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Detalhes do Resíduo Industrial.....	37
FIGURA 2 -	Detalhes do Lodo de Esgoto.....	38
FIGURA 3 -	Detalhes do Esterco de Curral.....	38
FIGURA 4 -	Detalhes do Fertilizante NPK.....	39
FIGURA 5 -	Balde utilizado como medida para elaboração das leiras de compostagem.....	41
FIGURA 6 -	Mistura do resíduo industrial com os inoculantes.....	41
FIGURA 7 -	Temperatura das leiras durante o período de compostagem.....	42
FIGURA 8 -	Detalhe do termômetro digital com haste metálica.....	42
FIGURA 9 -	Utensílios utilizados para a moagem do material.....	43
FIGURA 10 -	Material antes e depois da moagem destinado para análise química.....	43
FIGURA 11-	Amostras em fase de filtração para determinação da Ce.....	44
FIGURA 12-	Condutivímetro digital e material após a mistura.....	44
FIGURA 13-	Medidor de pH.....	44
FIGURA 14-	Queima do material em forno mufla.....	45
FIGURA 15-	Equipamentos utilizados para a quantificação do N.....	45
FIGURA 16-	Equipamentos utilizados para a quantificação do P e K.....	46
FIGURA 17-	Equipamentos utilizados para a quantificação do P e K.....	46
FIGURA 18-	Valores de pH das pilhas de compostagem formadas com RI e suas misturas em proporções variadas de LE, EC e FM.....	49
FIGURA 19-	Valores de Condutividade Elétrica das pilhas de compostagem formadas com RI e suas misturas em proporções variadas de LE, EC e FM.....	51
FIGURA 20-	Valores de Umidade das pilhas de compostagem formadas com RI e suas misturas em proporções variadas de LE, EC e FM.....	53
FIGURA 21-	Valores de Matéria Orgânica das pilhas de compostagem formadas com RI e suas misturas em proporções variadas de LE, EC e FM.....	55
FIGURA 22-	Valores de Carbono Orgânico das pilhas de compostagem formadas com RI e suas misturas em proporções variadas de	

	LE, EC e FM.....	56
FIGURA 23-	Valores de Carbono/Nitrogênio das pilhas de compostagem formadas com RI e suas misturas em proporções variadas de LE, EC e FM.....	57
FIGURA 24-	Valores de Nitrogênio das pilhas de compostagem formadas com RI e suas misturas em proporções variadas de LE, EC e FM.....	59
FIGURA 25-	Valores de Fósforo das pilhas de compostagem formadas com RI e suas misturas em proporções variadas de LE, EC e FM	60
FIGURA 26-	Valores de Potássio das pilhas de compostagem formadas com RI e suas misturas em proporções variadas de LE, EC e FM.....	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1 Panorama da Geração de Resíduos do Brasil.....	20
2.1.1 Compostagem de resíduos sólidos	20
2.1.2 Geração de resíduos industriais.....	22
2.2 Industria Oleoquímica: Mercado de Óleo Vegetal no Brasil	23
3 MINIMIZAÇÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUO ATRAVÉS DA COMPOSTAGEM.....	24
3.1 Parâmetros Físicos - Químicos Fundamentais no Processo de Compostagem.....	27
3.1.1 Aeração.....	27
3.1.2 Temperatura.....	28
3.1.3 Umidade.....	29
3.1.4 Relação C/N.....	29
3.1.5 pH.....	30
3.1.6 Condutividade elétrica.....	31
3.2 Importância da Microbiológica na Compostagem de Resíduos.....	31
4 INOCULANTES.....	33
4.1 Lodo de Esgoto.....	33
4.2 Esterco de Curral	34
4.3 Fertilizante Mineral.....	35
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
5.1 Localização da Área Experimental.....	37
5.2 Caracterização dos Resíduos.....	38
5.2.1 Resíduo industrial.....	38
5.2.2 Lodo de esgoto.....	38
5.2.3 Esterco de curral curtido.....	38
5.2.4 Fertilizante mineral.....	39
5.3 Composição dos Tratamentos e Delineamento Estatístico.....	40
5.4 Manejo da Compostagem.....	40
5.5 Parâmetros para a Avaliação.....	43

5.5.1 Análise química do resíduo durante o período de compostagem.....	43
5.6 Análise Estatística dos Dados.....	47
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
7 CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

Todas as atividades que são realizadas pelo homem tem como consequência a geração de resíduos sólidos de diversas origens, que quando não são dispostos adequadamente podem causar diversas alterações no ambiente. Além disso, o acentuado crescimento demográfico e o desenvolvimento de novas tecnologias têm estimulado o aumento da geração destes resíduos, que com o passar do tempo são produzidos em grande quantidade e de forma acelerada. Os resíduos sólidos representam uma parcela significativa em relação aos outros resíduos gerados e quando são mal geridos, acabam se tornando um problema sanitário, ambiental e social. Um instrumento básico para o gerenciamento deste problema é o conhecimento das fontes geradoras e quais as características do resíduo (KGATHI; BOLAANE, 2002).

O setor industrial é muito importante para o desenvolvimento econômico e social do país, porém, o mesmo é uma fonte de intensa geração de resíduos líquidos e sólidos. Estes resíduos gerados devem ser depositados em aterros sanitários evitando com que os mesmos tenham contato com o solo, com a água e com o ar. No entanto, este procedimento acaba inviabilizando a vida útil dos aterros, pelo fato de se observar a redução da disponibilidade de áreas viáveis para servirem como tal, além de ser considerado um processo muito caro de deposição final de resíduos.

No Brasil, a indústria oleoquímica também tem seu destaque no setor alimentício. E neste setor a gordura animal predominou como principal fonte de óleo para consumo humano até a década de 60. Paralelamente, no setor alimentício o abastecimento do óleo vegetal, por exemplo, foi garantido a partir do caroço de algodão e do amendoim, enquanto na indústria química a fonte de óleo foi a semente de mamona. Além disso, a oferta de óleo vegetal foi ampliada com a expansão do cultivo da palma no nordeste brasileiro e da soja no mundo. No caso da soja, o principal foco da produção brasileira foi estabelecido para garantir o abastecimento de farelo para a atividade de avicultura e suinocultura (OSAKI; BATALHA, 2011).

Entretanto, a produção de óleo vegetal gera resíduos, como a borra a qual possui como característica básica a baixa degradação ambiental em função do seu elevado teor de óleo. Assim, uma das formas de reduzir a concentração de

resíduos é a realização da compostagem, considerada uma alternativa privilegiada de tratamento, permitindo o co-processamento de vários resíduos, resultando em um produto higienizado e com boas características agronômicas (FERNANDES; PIERRO; YAMAMOTTO, 1993; BUENO et al., 2008). Para Costa et al. (2005), o processo de compostagem tem sido utilizado como alternativa mais viável para a disposição ambientalmente correta de resíduos oriundos das atividades agrícolas, agroindustriais e industriais.

Além disso, Inácio e Miller (2009) destacam os benefícios ambientais, como a redução da poluição de recursos hídricos e a minimização de emissões de metano provenientes da disposição de resíduos urbanos e industriais de forma inadequada.

Este trabalho de pesquisa teve como objetivo avaliar a compostabilidade de um resíduo industrial através do monitoramento de parâmetros químicos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama da Geração de Resíduos no Brasil

Segundo Cavalcanti (1998) a década de 70 foi considerada a década da água, a de 80 foi a década do ar e a década de 90 a de resíduos sólidos, destacando que isso não ocorreu somente no Brasil. Para Leripio (2004), a sociedade atual é a sociedade do lixo, cercados totalmente por ele, mas só recentemente acordamos para este triste aspecto da realidade. Nos últimos 20 anos, a população mundial cresceu menos que o volume de lixo por ela produzido. Enquanto de 1970 a 1990 a população do planeta aumentou em 18%, a quantidade de lixo sobre a Terra passou a ser 25% maior. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), o Brasil nos últimos dez anos vem se preocupando com as questões dos resíduos gerados, sendo que no ano de 2008, aproximadamente 55% dos municípios brasileiros já realizam processos de coleta seletiva e tratamento adequado dos resíduos.

Segundo a ABNT (2004) resíduos sólidos podem ser classificados como: lixo urbano, lixo hospitalar, lixo agrícola ou rural, lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários ou industriais entre outros, onde suas características tornam-se inviáveis para o lançamento deste no solo e nos recursos hídricos.

2.1.1 Compostagem de resíduos sólidos

Os resíduos orgânicos urbanos produzidos pela população, quando dispostos inadequadamente, trazem prejuízos consideráveis ao solo, ao ar e a água e podem abrigar ou serem criadouros de vetores de importância epidemiológica. O cenário atual, no país, ainda é alarmante, pois os chamados lixões ou aterros controlados ainda são a maneira mais utilizada e menos custosa de dispor dos resíduos embora condenáveis sob o ponto de vista ambiental e de saúde pública. Em contrapartida, esses resíduos orgânicos são passíveis de reciclagem por meio do processo de compostagem, um método barato quando comparado a outras

formas de tratamento e eficaz na diminuição da quantidade de material a ser aterrado. Esse processo tem como definição a decomposição controlada, exotérmica e bio-oxidativa de materiais de origem orgânica por microrganismos autóctones, num ambiente úmido, aquecido e aeróbio, com produção de dióxido de carbono, água, minerais e uma matéria orgânica estabilizada, definida como composto (LOPEZ-REAL, 1990; PARR; HORNICK, 1992; DIAZ et al., 1993; KIEHL, 1998).

Na compostagem existem muitos fatores que interferem ou influenciam a decomposição, a maturação e a qualidade do produto final, pode-se citar a umidade, a temperatura, a relação C/N e os resíduos orgânicos utilizados. Muitos desses fatores podem ser controlados durante o processo de decomposição, mas, de acordo com diversos autores, a qualidade do produto final é totalmente dependente da qualidade da matéria-prima de origem (SAVAGE, 1996; MERILLOT, 1996). Rodrigues (1996) complementa que resíduos urbanos altamente contaminados produzirão um composto com elevados teores de metais pesados não sendo verificada essa afirmativa quando os resíduos são provenientes de coleta seletiva. Estudos realizados por Grossi (1993) indicaram valores elevados de metais pesados nos compostos produzidos nas usinas de compostagem do Brasil justamente por trabalharem com resíduos sólidos urbanos de origem misturada.

Essa consideração é aceita pela maioria de pesquisadores que discutem que a coleta e o processamento dos resíduos de forma separada de acordo com suas diferentes frações - orgânica, metais, vidro, papéis, alumínio, tecidos, madeira - é uma das melhores maneiras de obter um produto final de boa qualidade, que pode ser utilizado sem maiores preocupações e que possui potencial atrativo aos agricultores (SCHALCH; REZENDE, 1991; RICHARD; WOODBURY, 1992; LOPEZ-REAL, 1994).

O composto de resíduos sólidos orgânicos para ser utilizado de maneira segura e eficiente deve ser corretamente estabilizado. Isto significa que a matéria orgânica original deve ser convertida para uma forma que seja mais resistente à degradação, contenha quantidades mínimas de componentes tóxicos e contaminantes (inertes e metais pesados) e seja livre de patógenos de plantas e animais (LOPEZ-REAL, 1990; DICK; McCOY, 1993). Além disso, deve satisfazer tanto as agências regulatórias quanto as especificações de mercado (SAVAGE, 1996).

2.1.2 Geração de resíduos industriais

Todas as atividades industriais geram resíduos e, é de responsabilidade dos geradores a realização da deposição final dos mesmos. Hoje, o resíduo industrial é considerado com um dos maiores responsáveis pelos impactos ao meio ambiente, pois na composição destes resíduos encontram-se metais pesados entre outros elementos. Quando estes resíduos são depositados de maneira incorreta no ambiente, a vida em que está ao seu redor pode sofrer muito, contaminação que pode ocorrer no ar, no solo e na água.

Naumoff e Peres (2000) citaram que os resíduos sólidos são originados das atividades dos diversos ramos da indústria, tais como metalúrgica, química, petroquímica, papelreira, alimentícia entre outras, sendo bastante variados, podendo ser representados por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros e cerâmicas, dentre outros.

Mesmo conhecendo as características e os constituintes dos resíduos de origem industrial, é muito importante que os mesmos sejam depositados em locais adequados ao fim de seu processo. A destinação, o tratamento e a disposição final de resíduos devem seguir a Norma 10.004 de 2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que classifica os resíduos conforme as reações que produzem quando são colocados no solo: *perigosos* (Classe 1 - presença de agentes contaminantes e tóxicos); *não-inertes* (Classe 2 - há possivelmente presença de agentes contaminantes); *inertes* (Classe 3 - não presença ou ausência de contaminantes).

Assim, com o passar do tempo, o setor produtivo vem incorporando à sua contabilidade os custos relacionados à questão ambiental, visualizando a necessidade de mudanças no setor produtivo. Essas mudanças respondem à normas e dispositivos legais rígidos de controle (nacionais e internacionais), associados a um novo perfil de consumidor (FIESP, 2003). Neste contexto, as indústrias começaram a mudar o seu comportamento em relação as suas ações voltadas para o meio ambiente, seja por vontade própria ou movidas por forças maiores.

2.2 Indústria Oleoquímica: Mercado de Óleo Vegetal no Brasil

No Brasil, a principal fonte de óleo vegetal é a soja. O caroço de algodão, o girassol, a mamona e a palma participam com uma pequena parcela desse mercado. A soja foi a principal oleaginosa esmagada nas unidades agroindustriais do Brasil, desde 2006, sendo processada em 83% das unidades. O caroço de algodão é esmagado em 7% das unidades esmagadoras, 2% dendê (palma) e mamona, 1% linhaça e 5% de multiprodutos (soja, girassol, canola, babaçu e algodão). De acordo com a Associação da Indústria Brasileira de Óleos Vegetais - Abiove (2012), a indústria oleoquímica do estado de São Paulo processou, em 2012, 13.050 toneladas/dia e refinou 6.215 toneladas diariamente, enquanto no Brasil foram processadas 173.441 toneladas e refinadas 24.462 toneladas diariamente.

Tanto o óleo vegetal quanto a gordura animal passam pelo processo de neutralização onde é adicionada a soda cáustica ao material para a correção da acidez; na sequência passa por outro processo químico denominado de clarificação. Neste último, uma argila especial é adicionada à solução para agregar os sólidos suspensos e clarear o óleo. Porém, neste caso, uma quantidade satisfatória de óleo vegetal permanece agregada à argila, tornando-se um resíduo poluente de difícil degradação no ambiente¹.

¹ Informação pessoal de Laisa Sanches, Eng. Química da empresa responsável pelo processo de purificação do óleo vegetal utilizado no desenvolvimento do trabalho.

3 MINIMIZAÇÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS ATRAVÉS DA COMPOSTAGEM

A compostagem pode ser definida como uma bioxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (BRUNI, 2005).

Os componentes orgânicos biodegradáveis passam por etapas sucessivas de transformação sob a adição de diversos grupos de microrganismos, resultando num processo bioquímico altamente complexo. Sendo um processo biológico, os fatores mais importantes que influem na degradação da matéria orgânica são a aeração, os nutrientes e a umidade. A temperatura também é um fator importante, principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos, porém é resultado da atividade biológica. Para Penteadó (2000), existem três métodos de compostagem:

a) Compostagem aeróbia

É a compostagem comumente utilizada, caracterizando-se pela presença de ar no interior da pilha, altas temperaturas decorrentes da liberação de gás carbônico, vapor de água e rápida decomposição da matéria orgânica. Neste processo ocorre a eliminação de organismos e sementes indesejáveis, mau odor e moscas.

b) Compostagem anaeróbia

Processo mais lento em comparação ao aeróbio ocorrendo sob condição de temperaturas mais baixas e ausência de oxigênio, devido à fermentação. Neste processo ocorre despreendimento de gases como o metano e sulfídrico, que exalam mau cheiro; nesta situação não há isenção de microrganismos e sementes indesejadas.

c) Compostagem mista

A compostagem é submetida a uma fase aeróbia e outra anaeróbia. No início da decomposição predominam bactérias e fungos mesófilos produtores de ácidos, o pH situa em torno de 5,5. Com a elevação da temperatura, na fase termófila, a população dominante passa a ser de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos, e a temperatura pode chegar aos 75 °C. Após essa fase, que dura em torno de até 90 dias, o composto começa a perder calor, retornando a fase mesófila e de maturação, onde a temperatura chega aos 40 °C e pH 8,5. A compostagem termina com a fase criófila quando a temperatura do composto se iguala à do ambiente. O período total pode chegar até os 100 a 120 dias. (KIEHL, 1985; SOUZA; REZENDE, 2006).

Dos vários elementos necessários à decomposição no composto o carbono (C) e o nitrogênio (N) são os mais importantes, sendo o C o mais requerido pelos microrganismos, em uma razão com o N ideal de pelo menos 30/1 (relação C/N). Materiais como o tecido de plantas leguminosas, em média, apresentam uma relação de 20/1 a 30/1, palhas e cereais de 50/1 a 200/1 e madeiras de 500/1 a 1000/1 (SOUZA; REZENDE, 2006).

Os principais objetivos da compostagem é gerar um composto que possa, pelo menos, melhorar as propriedades do solo principalmente com relação aos aspectos de fertilidade e estruturação do solo. Quase todo material de origem animal ou vegetal pode entrar como inoculante na produção do composto. Contudo, existem alguns subprodutos que não devem ser usados (madeira tratada com pesticidas ou verniz, couro e papel) (RICCI; NEVES; AGUIAR-MENEZES, 2006).

A relação C/N da mistura deve ser de aproximadamente 30:1; se esta razão for maior diminui-se o crescimento de microrganismos por falta de N ocasionando demora na decomposição; por outro lado, se for menor, o excesso de N acelera a decomposição, mas faz com que haja o aparecimento de áreas anaeróbias ocasionando mau cheiro no composto (SOUZA; REZENDE, 2006). Na prática, a proporção dos componentes da mistura deve ficar em torno de 70% de material fibroso e 30% de esterco. Uma regra simples é que a quantidade de material fibroso (palha) deve ser 3 vezes maior que a quantidade de esterco. São comuns as adições de termofosfato, pó de rocha, cinzas, tortas, farinha de ossos,

borra de café, dentre outros suplementos. A cinza é fonte de diversos nutrientes e enriquece o composto, sobretudo em potássio.

A primeira camada deve ser de material fibroso para diminuir a perda de nitrogênio para o solo. Essa camada deve alcançar em torno 30 cm de altura. A segunda camada deve ser de material rico em nitrogênio, com cerca de 10 cm de altura para manter a proporção. O esterco deve ser misturado a essa segunda camada e o material de enriquecimento deve ser colocado sobre ela. A pilha assim formada deve ser umedecida uniformemente. A combinação de material (palhas e restos culturais) podem ser colocadas em camadas finas de 5 cm (MATTOS; LIBERALINO FILHO, 2007). A sequência de camadas deve ser repetida, sendo a última camada de material fibroso. Recomenda-se formar pilhas de 1,2 m de altura até 1,5m de largura.

As pilhas de compostagem devem ser protegidas de insolação excessiva, do vento e, particularmente, de chuva. Recomenda-se o uso de local sombreado, bem como, uma cobertura de plástico, folhas de bananeira, palha de carnaúba, folha coqueiro dentro outras, para cobrir a pilha nos primeiros 3 dias da compostagem ou quando houver risco de chuvas fortes (RICCI; NEVES; AGUIAR-MENEZES, 2006). O teor de umidade ideal é de cerca de 60%. Um teste simples pode ser feito para avaliar a umidade da pilha. Apertar fortemente entre os dedos uma amostra, sentindo-a úmida, porém sem que nenhum líquido escorra. Para Kiehl (1985) umidade entre 60 e 70% revolver a pilha a cada 2 dias; umidade entre 40 e 60% revolver a cada 3 dias. Quando bem arejada, a decomposição da mistura é mais rápida.

O revolvimento periódico é a melhor prática para garantir a aeração das pilhas, a mistura dos componentes e, o mais importante, a exposição uniforme de todo o material às reações e às altas temperaturas resultantes. A faixa ideal de temperatura é de 55 a 70 °C pelo menos durante 15 dias. Verifica-se a temperatura introduzindo uma haste de ferro até o centro da pilha por alguns minutos. Quando se retirar o pedaço de ferro se não for possível tocá-lo, significa que a temperatura está excessivamente elevada. Neste caso, deve-se promover o revolvimento para baixar a temperatura. Se a umidade do substrato for insuficiente, a pilha deve ser regada. Se a temperatura do pedaço de ferro for suportável ao tato é sinal de que a decomposição transcorre normalmente e se estiver frio, depreende-se que a

decomposição está terminada ou que não está se processando (RICCI; NEVES; AGUIAR-MENEZES, 2006).

Um composto está pronto para ser usado quando seu volume for aproximadamente 1/3 do volume original não sendo possível identificar os componentes iniciais, molda-se facilmente nas mãos, cheiro tolerável agradável de terra como se estivesse mofada.

3.1 Parâmetros Físico-Químicos Fundamentais no Processo de Compostagem

3.1.1 Aeração

Segundo o estudo de KIEHL (1998) a decomposição da matéria orgânica pode ser realizada em ambiente aeróbio ou anaeróbio. A compostagem deve ser feita em ambiente aeróbio, pois com abundância de ar a decomposição, além de mais rápida e melhor conduzida, não produz mau cheiro nem proliferação de insetos. As pilhas de composto podem ser arejadas por meio de revolvimentos manuais, fazendo-se com que as camadas externas passem a ocupar a parte interna, por meios mecânicos o composto é remexido e as camadas são misturadas, havendo melhor homogeneização. O fornecimento de oxigênio à matéria em decomposição também tem sido realizado por insuflação de ar.

De acordo com KIEHL (1985), os microrganismos aeróbios necessitam de oxigênio para efetuar seu metabolismo; o consumo de oxigênio depende, principalmente, da temperatura, da umidade, da granulometria e da composição química da matéria-prima bem como da intensidade dos revolvimentos deveriam ser feitos de acordo com a concentração de oxigênio encontrada no seio da massa em fermentação; no entanto, dada a dificuldade de se determinar o conteúdo de oxigênio no interior da pilha de composto, o momento adequado para se fazer o revolvimento é decidido em função de outros fatores.

3.1.2 Temperatura

O metabolismo dos microrganismos é exotérmico, ou seja, quando ocorre a decomposição da matéria orgânica há geração de calor e, conseqüentemente, a elevação da temperatura das pilhas. De maneira geral, certos grupos de organismos têm faixa de temperatura ótima de desenvolvimento. Isso é tão importante para manutenção da temperatura ótima aos microrganismos que uma variação para mais ou para menos, pode provocar redução da população e da atividade metabólica (KIEHL, 1998).

Para Kiehl (1985), quando a matéria orgânica é decomposta em pequeno volume, o calor gerado pelo metabolismo dos microrganismos se dissipa e o material não se aquece; no entanto, quando se processa a compostagem de resíduos orgânicos em montes, trabalhando-se com grandes massas, por serem tais materiais bons isolantes térmicos fazem com que o calor desenvolvido se acumule e a temperatura alcance valores elevados, podendo chegar a 80°C. As altas temperaturas são desejáveis pelo fato de destruírem sementes de plantas daninhas e organismos patogênicos, os quais são pouco resistentes à altas temperaturas.

As faixas de temperatura que definem a predominância de determinados grupos de organismos podem ser classificados em criófilos, mesófilos e termófilos. A compostagem deve-se dar nas faixas mesófilas e termófilas, pois quanto maior o calor, mais rápida se torna a decomposição. Considera-se a faixa de 50 a 70°C como ótima para a compostagem sendo o valor de 60°C o mais indicado. Há autores que consideram como melhor a faixa a que vai de 50 a 60°C, pois temperaturas acima de 70°C são consideradas desnecessárias ou mesmo desaconselháveis por longos períodos, uma vez que restringem o número de microrganismos que conseguem nelas viver. Além disso, podem insolubilizar as proteínas hidrossolúveis, provocar alterações químicas indesejáveis e desprendimento de amônia, principalmente quando o material possui baixa relação C/N (KIEHL, 1985).

3.1.3 Umidade

A compostagem é um processo biológico para que haja a decomposição da matéria orgânica, por isso a presença de água é imprescindível para as necessidades fisiológicas dos organismos, os quais não vivem na sua ausência (KIEHL, 1998).

A umidade considerada ideal para a compostagem varia de 50% a 60%. A decomposição microbiana ocorre mais rapidamente na fina película líquida presente na superfície das partículas orgânicas. Enquanto níveis muito baixos de umidade (abaixo de 30%) inibem a atividade bacteriana, um meio muito úmido (acima de 65%) resulta em decomposição lenta, condições anaeróbias e lixiviação de nutrientes (RICHARD; WOODBURY, 1992).

A difusão de oxigênio é muito menor em meio líquido do que no ar. Portanto, o excesso de umidade reduz a penetração de oxigênio na leira de compostagem. Essa redução ocorre de duas maneiras: a matéria orgânica decomposta é hidrófila e as moléculas de água aderem fortemente à superfície de suas partículas e a outra maneira a umidade preenche inicialmente os poros menores, criando zonas cheias de água entre as partículas, diminuindo a difusão de oxigênio e resultando em grumos anaeróbios (ECO-CHEM, 2004).

3.1.4 Relação C/N

De acordo com Inácio e Miller (2009) C e N são os nutrientes mais importantes para a atividade microbiana e conseqüentemente para a compostagem. A relação C/N de um determinado resíduo orgânico tem influência direta sobre os grupos que serão predominantes em sua decomposição, resultando em maior ou menor tempo de completa humificação. Quanto maior a C/N, maior o tempo de decomposição do material.

O C é utilizado pelos microrganismos como fonte de energia e também para a estrutura das células microbianas, já o N é importante na formação das proteínas, principalmente do DNA e RNA microbiano, influenciando diretamente na capacidade de reprodução e crescimento da população das espécies de fungos e bactérias.

A relação C/N de microrganismos é cerca de 10:1 e, em teoria, seria o melhor valor para o seu metabolismo. O intervalo de valores para C/N entre 25:1 e 40:1 é definido como ótimo para o início do processo de compostagem. Valores mais elevados significam que não há N suficiente para o ótimo crescimento das populações microbianas, e a velocidade de decomposição será reduzida. Por outro lado, baixos valores de C/N induzem perdas de N na forma de amônia, em particular á altas temperaturas e condições de aeração forçada, causando odores indesejados (HAUG, 1993; LOPEZ-REAL, 1994).

3.1.5 pH

No processo de compostagem, quando se inicia a decomposição, ocorre uma fase fitotóxica, por ocorrer a formação de ácidos orgânicos. Estes ácidos orgânicos reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina. Com a compostagem, há a formação de ácidos húmicos que também reagiram com este elementos químicos básicos, formando compostos alcalinos, assim o pH do composto se eleva a medida que o processo se desenvolve, passando pelo pH neutro e alcançando o pH alcalino (KIEHL, 1998).

A faixa de pH entre 5,5 e 8,5 é considerada ótima para os microrganismos responsáveis pela compostagem. Na medida em que bactérias, actinomicetos e fungos digerem a matéria orgânica, eles liberam ácidos orgânicos. Assim, na fase inicial da compostagem, a concentração desses ácidos se eleva e ocorre um decréscimo no pH do material. Neste caso, estabelecem-se condições ideais para o desenvolvimento de fungos responsáveis pela digestão de lignina e celulose. Geralmente, esses ácidos orgânicos são decompostos durante o processo de compostagem, resultando num produto final com pH próximo da neutralidade (GOLUEKE, 1977). Em alguns casos, como em situações anaeróbicas pode acontecer o acúmulo de ácidos orgânicos, ocorrendo a queda no pH e tendo como consequência a limitação da atividade microbiana. Nesses casos, a simples aeração da leira é suficiente para o retorno do pH a níveis aceitáveis.

3.1.6 Condutividade elétrica

Para Silva e Hermes (2004), a condutividade elétrica é considerada como a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Assim quanto maior a quantidade de íons dissolvidos em uma solução, maior será a condutividade elétrica.

3.2 Importância da Microbiologia na Compostagem de Resíduos

De acordo com Kiehl (1998) os microrganismos como bactérias, fungos e actinomicetos são os principais responsáveis pela transformação da matéria orgânica crua em húmus, sendo que a natureza da comunidade microbiana, o número, as espécies e a intensidade da atividade da decomposição dependem das condições favoráveis.

Estes microrganismos são classificados em mesófilos e termófilos, sendo os mesófilos responsáveis pelo processo inicial de decomposição quando as temperaturas estão relativamente baixas, utilizando o oxigênio disponível para transformar o carbono do substrato orgânico para obter energia, liberando CO₂, água e calor. Este calor liberado eleva rapidamente as temperaturas das pilhas de compostagem chegando à temperaturas próximas a 45°C, inibindo a atividade dos microrganismos mesófilos. A partir dos 45°C os grupos de microrganismos termófilos, atingem um melhor desenvolvimento, consumindo rapidamente o substrato disponível. Quando a disponibilidade de nutrientes e energia contida no substrato se torna escassa, a atividade deste grupo decresce, ocorrendo a diminuição da temperatura como consequência; assim certos microrganismos mesófilos tendem a se desenvolver (INÁCIO; MILLER, 2009).

As bactérias possuem um efeito mais significativo no processo de decomposição de resíduos, sendo mais ativas no início da compostagem, decompondo materiais como carboidratos, proteínas primárias e açúcares. Já os fungos têm um importante papel ao final do processo, quando a pilha perde a umidade. As bactérias se concentram na degradação de substâncias com relação C/N entre 10:1 e 20:1, enquanto os fungos agem naquelas com C/N entre 150:1 e

200:1. Por isso, a importância da predominância inicial de bactérias na compostagem, por exemplo, de lodos de esgoto e esterco animal, enquanto os fungos estão adaptados a degradar os carboidratos mais complexos remanescentes neste mesmo ambiente (MILLER, 1993).

4 INOCULANTES PARA COMPOSTAGEM

4.1 Lodo de Esgoto

O lodo de esgoto é um produto de origem orgânica que resulta do tratamento de efluentes de esgotos, podendo ser reciclado ou reutilizado, desde que não acarrete prejuízos ambientais, para a saúde humana e dos animais. A agricultura e a indústria podem ser beneficiadas com a disposição do lodo e ser usado como condicionador de solo bem como na recuperação de áreas degradadas, uma vez que esses resíduos são produtos de baixo custo. Por outro lado, a indústria economiza com as despesas da disposição final para o resíduo visando à sua possível comercialização (HECK et al., 2013).

Com o descarte indevido, estes materiais podem gerar danos ambientais; contudo, esses problemas podem ser minimizados por meio de reciclagem, mediante a análise criteriosa de suas características e avaliação de seu potencial para, por exemplo, a utilização agrícola (KIEHL, 1985; MATTIAZZO-PREZOTTO, 1992; RAIJ et al., 1997). Se o lodo de esgoto é proveniente de estações de tratamento biológico das águas servidas, com predominância de esgotos domésticos sobre os industriais, os níveis de metais pesados permanecem dentro das faixas aceitáveis para o seu uso agrônômico (CETESB, 1999; OLIVEIRA, 2000; TSUTIYA, 2001; PEGORINI et al., 2003; GALDO; DE MARIA; CAMARGO, 2004).

Quando o lodo estiver devidamente condicionado de forma biológica e física, é denominado de bio sólido, e se o mesmo atender às diretrizes previstas na Norma P4.230 (CETESB, 1999), que legisla sobre o uso deste material na agricultura do estado de São Paulo, assim poderá ser utilizado de maneira ambientalmente responsável. Caso o lodo de esgoto tenha em sua constituição a presença de metais pesados e patógenos, este terá restrições para os fins agrícolas.

Em casos de pretensão na utilização do lodo de esgoto, as propriedades deste devem ser conhecidas, para que as considerações necessárias como a quantidade de aplicação e local de aplicação sejam estabelecidas de maneira coerente. Para Andreoli e Pegorini (1998) a reciclagem agrícola do lodo de esgoto é uma das formas mais benéficas de se gerenciar esses resíduos por representar aporte de nutrientes e matéria orgânica do solo, com reflexos na

formação de agregados do solo, na capacidade de retenção de água e na redução do uso de fertilizantes industrializados.

As pesquisas que envolvem a compostagem conjugada de resíduos sólidos de origens diversas com lodo de esgoto sanitário são pontuais e sem continuidade. Entretanto, nos últimos anos, tem-se notado uma atenção especial por essa área de estudo, sobretudo do tratamento conjunto de lodos e resíduos industriais, devido à intenção de diminuir o índice de contaminação a toxicidade e facilitar o descarte desses últimos. A compostagem conjunta de lodo de esgoto com resíduos municipais, por exemplo, é recente, por conta da percepção que integrantes da sociedade detêm sobre o lodo, acreditando que este contamina os resíduos, prejudicando a qualidade do composto formado (SILVA; FERNANDES, 1998). Rebollido et al. (2008), também mencionaram que a compostagem de resíduos sólidos com lodo de esgoto pode ser um recurso viável para o tratamento e disposição de ambos.

A compostagem de resíduos sólidos urbanos ou industriais em conjunto com o lodo de esgoto é uma estratégia interessante uma vez que apresenta elevado teor de N. Esse nutriente, quando aplicado na maioria dos solos tropicais, tem efeito fertilizante visível no desenvolvimento e na produtividade das culturas. O lodo contém uma fração de material proteico de fácil biodegradação que possibilita rápida liberação de N mineral, em quantidades proporcionais às doses de N orgânico aplicado (BOEIRA, 2009). A presença do N no lodo de esgoto pode acelerar a compostagem de resíduos industriais.

Os ganhos em relação à adoção da compostagem envolvendo resíduos com lodo de esgoto vão além dos benefícios gerados à saúde humana e da sua possível utilização na agricultura. O meio ambiente é beneficiado na medida em que se evita o aporte de matéria orgânica nos sistemas aquáticos, mitigando, dessa forma, o processo de eutrofização antrópica (SILVA; FERNANDES, 1998).

4.2 Esterco de Curral

O esterco de curral é o mais tradicional dos adubos orgânicos e é bastante utilizado tanto em países de agricultura evoluída e mais produtiva quanto nas regiões em desenvolvimento com a atividade agrícola menos tecnificada. Em

geral, a composição química do esterco varia de acordo com a espécie animal (monogástrico ou ruminante, por exemplo), com o regime alimentar e idade dos animais, bem como com o tempo de curtimento do esterco em condições naturais (MALAVOLTA; GOMES; ALCARDE, 2002).

Em geral, devido às limitações de assimilação de N por seu metabolismo os animais ruminantes excretam elevado teor de N em suas fezes. Entretanto, este resíduo possui considerável quantidade de fibra vegetal remanescente do processo digestivo animal. No caso do esterco bovino, após a eliminação do excesso de água (curtimento), que dificultaria muito a decomposição de qualquer resíduo misturado ao mesmo, torna-se um importante inoculante na compostagem, uma vez que apresenta alta disponibilidade para biodecomposição e composição de nutrientes (INÁCIO; MILLER, 2009).

A escolha do esterco de curral para auxiliar a compostagem de resíduos de difícil decomposição deve-se ao fato de que, se não houver nenhum impedimento físico-químico ao sistema solo a mistura poderá ser disposta em solos agrícolas. A maior vantagem do esterco de curral é que o mesmo aumenta a quantidade de húmus do solo. Em média, calcula-se que 30.000 kg de esterco se transformam em 8.000 kg de húmus, o que proporcionará maior retenção de água e nutrientes, melhoria do equilíbrio entre macro e microporos e maior permeabilidade do solo (MALAVOLTA; GOMES; ALCARDE, 2002).

4.3 Fertilizante Mineral

De acordo com a Lei 6.894 (de 16 de dezembro de 1980 - D.O.U. de 17/12/1980) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura e dá outras providências, classifica o fertilizante como a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes vegetais.

Conforme a ficha de informação de segurança de produto químico (FISQ), o fertilizante NPK 08-28-16 é um fertilizante mineral misto cuja natureza física é descrita como uma mistura de grânulos contendo 8% de N, 28% de P_2O_5 e 16% de K_2O .

A melhoria na qualidade de compostos orgânicos também pode ser obtida mediante o enriquecimento mineral dos mesmos. Geralmente, as recomendações técnicas para enriquecimento de composto têm focado apenas a minimização da perda de N na forma amoniacal pela adição de fontes de P (KIEHL, 1985) e sulfato de cálcio (PROCHNOW et al., 1995). A adição de fosfatos contribui para formação de compostos estáveis de N como os fosfatos monoamônico e diamônico e a adição de sulfato de cálcio para formação do sulfato de amônio, possibilitando, deste modo, redução das perdas de N das pilhas de compostagem e, a consequente poluição do ar, bem como a obtenção de composto orgânico com maior teor de N (KIEHL, 1985).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização da Área Experimental

O experimento foi instalado na Universidade do Oeste Paulista, município de Presidente Prudente/SP. O município está localizado com altitude de 430 m, com latitude 22°07'5 e longitude 51°27'W (ALVES; MINCA, 2000). O clima predominante da região segundo a classificação Koppen é Cwa, com temperatura média anual de 25°C e regime pluviométrico caracterizado por dois períodos distintos, um chuvoso de outubro a março com média mensal de 159,9 mm, e outro menos chuvoso de abril a setembro, com média mensal de 66,6 mm (ALVES, 1999).

O experimento foi realizado em local protegido para que não houvesse contato com a chuva e o sol, composto por seis compartimentos construídos de alvenaria com dimensões de 2x18 m (largura x comprimento), sendo utilizados para a montagem das pilhas de compostagem.

5.2 Caracterização dos Resíduos

5.2.1 Resíduo industrial

Para a composição dos tratamentos foi utilizado o resíduo industrial (Figura 1), originado de uma empresa do setor de oleoquímica, devidamente caracterizado quimicamente antes da efetivação das misturas de acordo com Alcarde (2009) (Tabela 1).

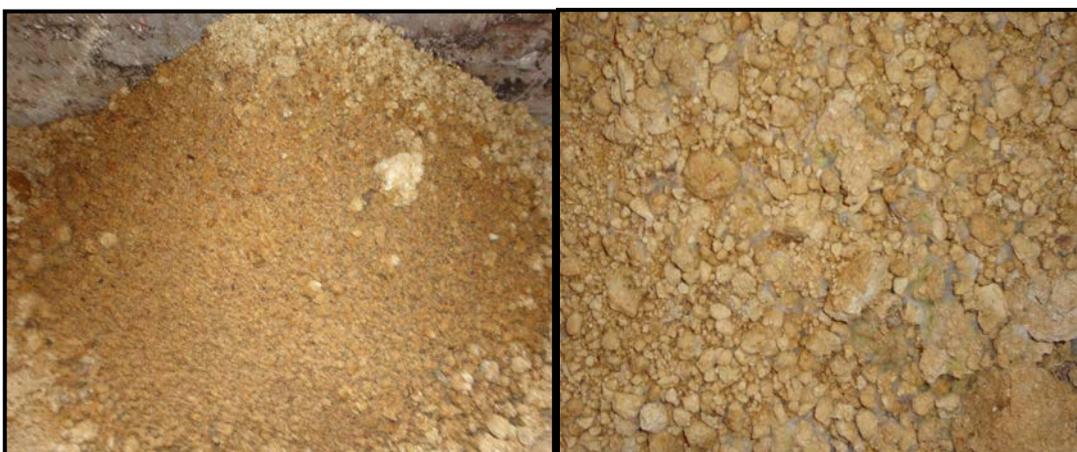


Figura 1. Detalhes do resíduo industrial.

5.2.2 Lodo de esgoto

O lodo de esgoto utilizado foi proveniente da Estação de Tratamento de Água e Esgoto da Sabesp - Presidente Prudente (figura 2). O material foi coletado após receber todo o tratamento necessário na estação de tratamento e caracterizado quimicamente de acordo com Alcarde (2009) (Tabela 1).



Figura 2. Detalhes do lodo de esgoto.

5.2.3 Esterco de curral curtido

O esterco de curral em fase de curtimento total (figura 3) foi proveniente da área de produção animal, pertencente ao centro zotécnico da Universidade do Oeste Paulista e caracterizado quimicamente de acordo com metodologia descrita por Alcarde (2009) (Tabela 1).



Figura 3. Detalhes do esterco de curral.

5.2.4 Fertilizante mineral

Para a composição de um conjunto de tratamentos optou-se pela utilização da fórmula comercial NPK 08-28-16 (figura 4). Este produto fazia parte do estoque de fertilizante do centro agrônomo da UNOESTE.



Figura 4. Detalhes do fertilizante NPK 08-28-16

Tabela 1. Atributos químicos dos resíduos antes do início da compostagem

Atributos	Resíduo Industrial (RI)	Lodo de Esgoto (LE)	Esterco de Curral (EC)
pH (H ₂ O)	4,4	7,6	7,2
Cond. elétrica (mS cm ⁻¹)	2314	2481	3290
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	355,3	167,0	237,7
N total	1,1	9,5	12,1
P total (g kg ⁻¹)	0,47	2,8	1,77
K total (g kg ⁻¹)	1,44	3,9	4,9
Ca total (g kg ⁻¹)	14,2	66,5	10,9
Mg total (g kg ⁻¹)	16,3	3,1	3,4
S total (g kg ⁻¹)	0,7	1,4	0,8
B total (mg kg ⁻¹)	11,5	25,5	22,0
Cu total (mg kg ⁻¹)	24,7	243,3	43,1
Fe total (mg kg ⁻¹)	6,2	7,2	3,3
Mn total (mg kg ⁻¹)	407,0	156,7	244,4
Zn total (mg kg ⁻¹)	55,7	310,8	93,6

5.3 Composição dos Tratamentos e Delineamento Estatístico

Os tratamentos foram dispostos em pilhas de compostagem e caracterizados da seguinte forma:

- (T1)** = Testemunha - Resíduo Industrial (RI);
- (T2)** = Proporção de 75% do RI + 25% de Lodo de Esgoto - LE (ETE) (3:1);
- (T3)** = Proporção de 50% do RI + 50% de LE (ETE) (1:1);
- (T4)** = Proporção de 25% do RI + 75% de LE (ETE) (1:3);
- (T5)** = Proporção de 75% do RI + 25% de Fertilizante Mineral - FM (3:1);
- (T6)** = Proporção de 50% do RI + 50% de FM (1:1);
- (T7)** = Proporção de 25% do RI + 75% de FM (1:3);
- (T8)** = Proporção de 75% do RI + 25% de Esterco de Curral (EC) seco;
- (T9)** = Proporção de 50% do RI + 50% de EC seco;
- (T10)** = Proporção de 25% do RI + 75% de EC seco;

As pilhas de compostagem foram dispostas na área experimental seguindo o delineamento estatístico inteiramente casualizado (DIC), com dez tratamentos e três repetições, em parcelas subdivididas, sendo as parcelas consideradas as pilhas de compostagem (tratamentos com o RI) e as subparcelas correspondentes às quatro épocas de amostragem, totalizando 30 parcelas experimentais. A amostragem dessas misturas foram realizadas aos 0 (caracterização do composto), 30, 60, 90 e 120 dias de compostagem. Foram coletadas três amostras simples de cada pilha (uma da parte superior e duas laterais) as quais, posteriormente, foram misturadas formando uma amostra composta destinada às análises químicas. Portanto, no total, foram coletadas 150 amostras.

5.4 Manejo da Compostagem

Cada pilha de compostagem foi formada por 80 litros de resíduos, sendo que para a constituição das mesmas foram utilizados recipientes com volume de 10 litros (Figura 5). Para cada tratamento uma proporção diferenciada, ou seja, 75% de RI + 25% de LE (6 litros de RI + 2 litros de LE); 50% de RI + 50% de LE (4

litros de RI + 4 litros de LE); 25% de RI + 75% de LE (2 litros de RI + 6 litros de LE) (Figura 6).

No início do experimento considerou-se a possibilidade da aplicação do composto formado em solo de área cultivada com cana de açúcar. Entretanto, este resíduo, por suas características químicas, deveria ser enriquecido com nutrientes como o N-P-K. Neste sentido, considerou-se a aplicação mínima de composto 15 Mg ha⁻¹ no sulco de plantio juntamente com o fertilizante mineral N-P-K 08-28-16 na quantidade de 30-100-80 kg ha⁻¹. Os cálculos foram realizados por hectare e adaptados para o montante de resíduo utilizado para formar a pilha de compostagem dos respectivos tratamentos.



Figura 5. Balde utilizado como medida para elaboração das leiras de compostagem

Figura 6. Mistura do resíduo industrial com os inoculantes

O manejo da compostagem foi realizado a partir do revolvimento e molhamento das pilhas. Este processo ocorreu de acordo com a variação das temperaturas, ou seja, quando o valor da temperatura atingia valores acima de 45°C ocorria o revolvimento e molhamento das mesmas. As pilhas foram molhadas de forma que as mesmas não ficassem encharcadas, pois a umidade foi mantida à 65% da massa total da mistura em compostagem. Já a temperatura foi medida diariamente em quatro pontos a 40 cm de profundidade, com auxílio de termômetro digital com cabo de 1 metro de extensão contendo na extremidade uma haste metálica (Figura 8).

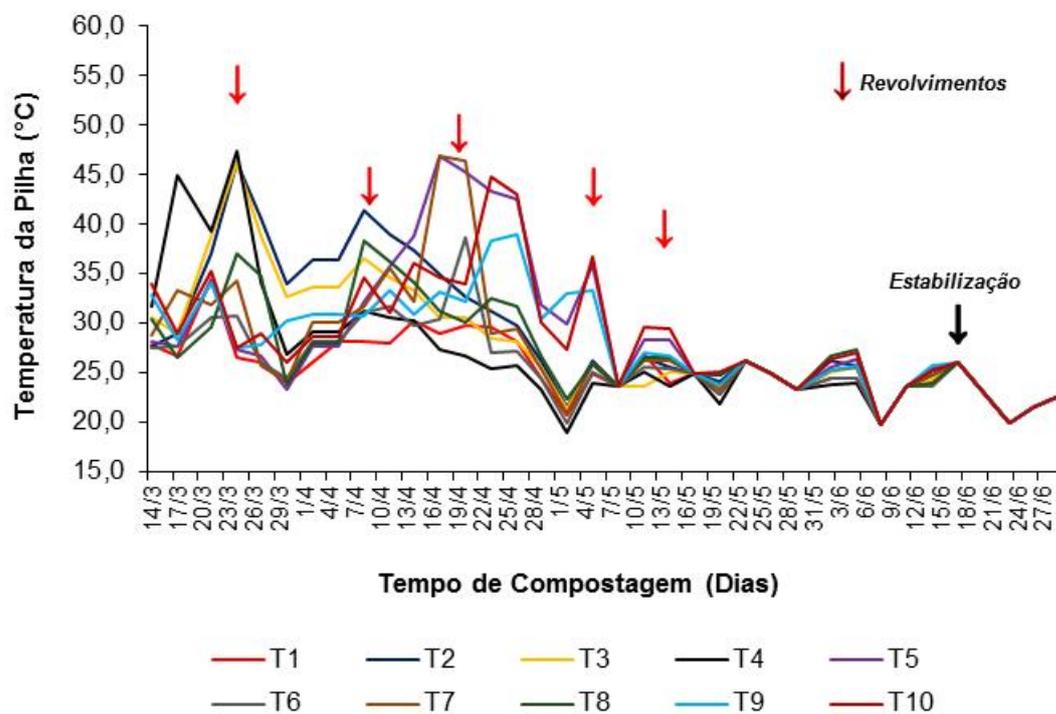


Figura 7. Temperatura das leiras durante o período de compostagem



Figura 8. Detalhes do termômetro digital com haste metálica

5.5 Parâmetros para Avaliação

5.5.1 Análise química do resíduo durante o período de compostagem

As amostras coletadas foram secadas à 65 °C durante, 72 horas, em estufa de circulação forçada de ar e moídas manualmente em peneira com malha de 200 mesh, conforme demonstrado nas Figuras 9 e 10.



Figura 9. Utensílios utilizados para a moagem do material



Figura 10. Material antes e depois da moagem destinado para análise química

Após a moagem, as amostras foram encaminhadas para a determinação dos seguintes parâmetros:

- ◆ Condutividade elétrica (Ce) em água na relação 2:1, de acordo com Lima et al. (2009) (Figura 11);



Figura 11. Amostras antes e depois da filtração para determinação da Ce



Figura 12. Condutímetro digital marca Hanna Instruments

- ◆ pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (Figura 13);



Figura 13. Medidor de pH marca Micronal

- ◆ Teor de Matéria Orgânica Total (MOT) queimada em forno mufla a 550 °C durante 1 hora e C-total, de acordo com Alcarde (2009) (Figura 14).



Figura 14. Etapa de queima do material orgânico em forno mufla

- ◆ A extração do nutriente N total foi realizado pelo processo de digestão sulfúrica à quente e destilação pelo método Kjeldahl (ALCARDE, 2009) (Figura 15).



Figura 15. Equipamentos utilizados para a quantificação do N

- ◆ A extração dos demais nutrientes, foi realizado pelo processo de digestão em ácidos nítrico-perclórico à quente de acordo com Alcarde (2009) (Figura 16).



Figura 16. Espectrofotômetro de absorção atômica modelo AA200, PerkinElmer, utilizado para a quantificação do K total

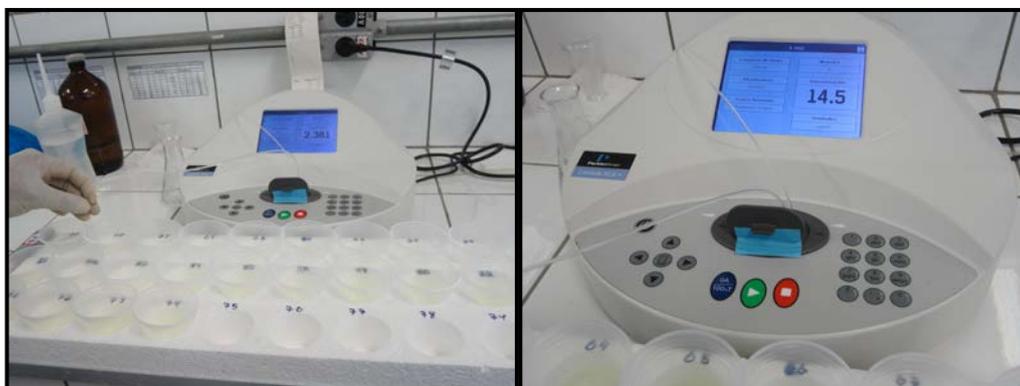


Figura 17. Espectrofotômetro UV-Vis, modelo Lambda XLS, PerkinElmer, utilizado para a quantificação do P total

- ◆ Relação C/N, através da determinação do C-orgânico total e N-total das amostras conforme metodologia descrita em Alcarde (2009).

5.6 Análise Estatística dos Dados

Os resultados foram avaliados pela análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Além disso, os resultados foram submetidos à análise de variância para aplicação dos modelos de regressão polinomial para o ajuste dos dados das variáveis quantitativas em função do tempo. O melhor modelo para o ajuste foi escolhido em função do grau de significância da equação, a 1% ou 5% de probabilidade. Para a escolha entre equações foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do Teste F, obtidos para o contraste de médias entre os tratamentos, pelo Teste de Tukey, (Tabela 2), identificam diferença significativa entre os mesmos, diante dos parâmetros pesquisados bem como nas épocas avaliadas. Assim, observa-se que houve uma eficiência na mistura dos inoculantes ao resíduo industrial (RI) e, que o tempo foi um fator importante para que o estabelecimento desta diferença significativa.

Tabela 2. Valores de F da análise de variância, calculados pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para pH, Umidade a 65°, Matéria Orgânica (MO), Carbono Orgânico (CO), Relação C/N, N-total (N), Fósforo (P) e Potássio (K) das pilhas de compostagem com o resíduo industrial (RI) em proporções com lodo de esgoto (LE), esterco de curral (EC) e fertilizantes minerais (FM).

Fatores	pH	Umid.	MO	CO	N	P	K	C/N
	------(g kg ⁻¹)-----							
Trat. (a)	117,97**	5,4**	6,68**	10,93**	37,34**	33,88**	80,44**	20,17**
Épocas (b)	28,07**	159,05**	36,30**	53,14**	13,23**	14,82**	108,44**	8,01**
Int. (a)x(b)	7,24**	4,73**	2,08**	3,64**	6,33**	3,90**	96,91**	6,64**
CV (a) (%)	7,35	23,98	22,61	18,65	25,42	36,75	42,48	66,95
DMS (a)	0,45	30,94	59,32	27,34	1,11	1,12	2,49	45,08
CV (b) (%)	6,78	24,75	18,56	15,43	29,72	36,75	39,96	18,56
DMS (b)	0,24	18,32	27,93	12,97	0,75	0,58	1,34	27,93

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns - não significativo.

Fonte: do autor.

Estabelecida a diferença entre os tratamentos pelo contraste de médias e, portanto, verificada a importância da presença dos inoculantes, nas devidas proporções em função do tempo (Tabela 2), entende-se que seria melhor expressar os resultados na forma de modelos matemáticos que possam explicar a relação entre estas variáveis estudadas.

A compostagem aeróbia proporcionou condições para elevação do pH, para os Tratamentos T1 (testemunha), T3 (50% do RI + 50% de LE) e T8 (75% do RI

+ 25%EC), como mostrado na Figura 18. Os dados de pH associados aos tratamentos como o T1 (testemunha), o T3 (50% de RI + 50% de LE), e T8 (75% de RI + 25% de EC), apresentaram ajuste polinomial quadrático, cujos valores aumentaram durante a compostagem até os 75 dias, e posterior redução a partir deste período. As pilhas de compostagem também apresentaram acréscimo na temperatura nos primeiros dias de compostagem (até 90 dias). Estes dados são corroborados por Bidone (2001).

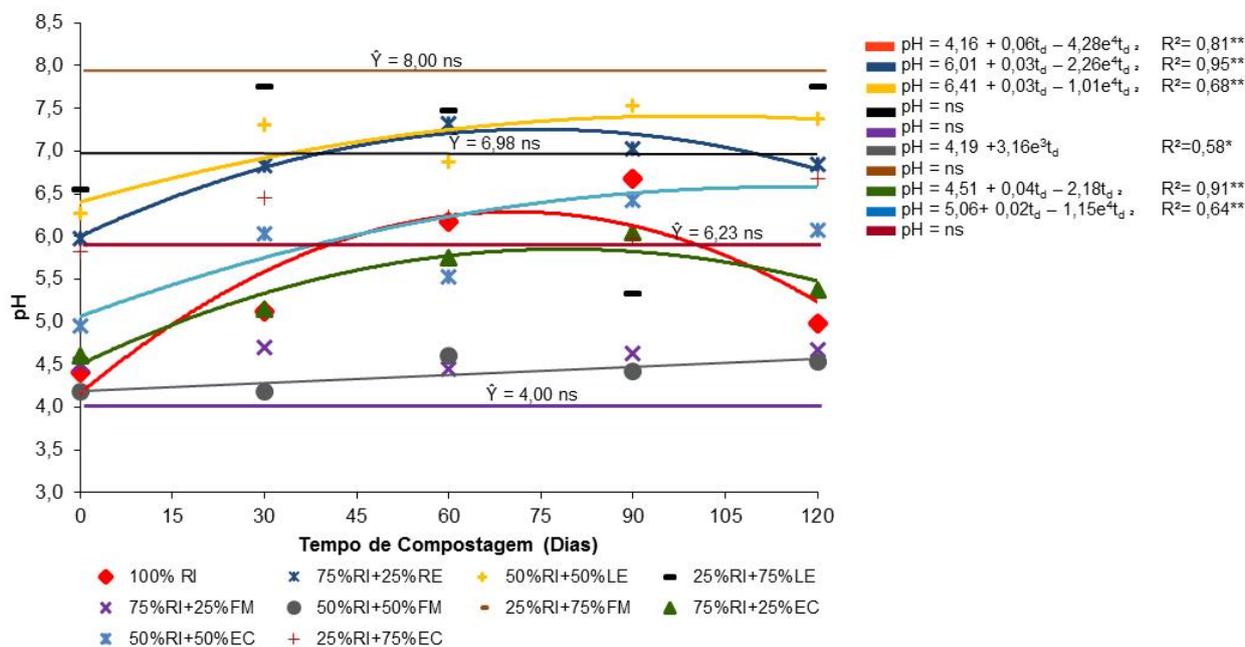


Figura 18. Valores de pH das pilhas de compostagem formadas com o resíduo industrial (RI) e de suas misturas, em proporções variadas com lodo de esgoto (LE), esterco de curral (EC) e Fertilizantes Minerais (FM).

Fonte: do autor.

Durante o período de compostagem dos resíduos ocorreu a formação de ácidos, no processo denominado de fermentação. Um conjunto de fatores contribui para alterações do pH ao longo do processo de compostagem. Nesse processo, há formação de ácidos solúveis no início da compostagem, os quais são convertidos a dióxido de carbono pela ação microbiana (IYENGAR; BHAVE, 2006). À medida que este processo se desenvolve o pH do composto se eleva devido a maior concentração de bases que contribui indiretamente para obtenção de um material mais alcalino (KIEHL, 2002). Porém, para os tratamentos mencionados

acima, a conhecida fase de redução no pH ocorreu rapidamente e, posteriormente, foi observado o aumento destes valores. A fermentação aumentou até o processo de estabilização dos materiais, porém, neste caso, deve-se levar em conta que o pH de cada inoculante utilizado no processo de compostagem também influenciou a dinâmica microbiana.

A Tabela 1 mostra que o valor de pH do resíduo Lodo de Esgoto (LE), inicialmente foi superior ao dos demais resíduos (Tabela 1) o que, provavelmente, contribuiu para a neutralização rápida dos ácidos orgânicos, bem como gerar um composto com um valor de pH maior que dos outros compostos. Para o EC constata-se a tendência diferente, mesmo que o pH original do mesmo tenha sido elevado. Neste caso, logo de início houve a formação da fase ácida característica de forma mais marcante, ao se misturar o EC com o RI nas proporções descritas na Figura 1. No início prevaleceu o pH baixo, característico do RI, o qual aumentou durante a compostagem com a eliminação dos ácidos orgânicos liberados pelo EC e RI. Provavelmente, em virtude do EC apresentar um potencial de degradação mais rápido não houve condição para a elevação do valor do pH no patamar atingido pelo T3 (50% do RI + 50% de LE) (Figura 18).

Segundo Kiehl (1985), quando se inicia a decomposição do material, ocorre uma fase fitotóxica, pela formação de ácidos orgânicos que tornam o meio mais ácido que o da própria matéria prima original. Posteriormente, estes reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina. Assim, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve.

Além disso, aproximadamente 98% do nitrogênio da matéria orgânica estão na forma orgânica. Na compostagem o N orgânico é transformado em nitrogênio amídico e, posteriormente em nitrogênio amoniacal, dando á massa em decomposição um pH mais elevado ainda, pelo fato da reação alcalina que é uma característica da amônia Kiehl (1998, 2002).

Entretanto, no final do tempo de compostagem todo o nitrogênio orgânico (amoniacal) pode ser mineralizado e transformado via oxidação para nitrato, o que gera uma acidificação do material compostado. No processo de nitrificação verifica-se uma produção líquida de $2H^+$ e a resposta diminuição do pH é observada (KHIEL, 2002).

Nos últimos dias de compostagem os tratamentos T1(testemunha), T3 (50% do RI + 50% de LE) e T8 (75% do RI + 25%EC) (Figura 19), apresentaram

decréscimo no pH. Este fato pode ser atribuído à produção de CO_2 e de ácidos orgânicos proveniente do metabolismo dos microrganismos presentes na pilha e, que tiveram sua atividade reduzida em função de uma possível estabilização do composto. As informações citadas por Albanell, Plaixats e Cabrero (1988) colaboram com as encontradas neste experimento.

Já com relação aos tratamentos com T4 (25% do RI + 75% de LE), T7 (25% RI + 75% de FM) e T10 (25% do RI + 75%EC) que possuem a menor proporção de RI não houve alteração significativa nos valores de pH durante o período de compostagem (Figura 18). Provavelmente, o RI contribui de maneira marcante na geração de ácidos orgânicos na compostagem e, neste caso, como a proporção do inoculante é muito baixa ou inexistente, não houve condição significativa para a alteração deste parâmetro.

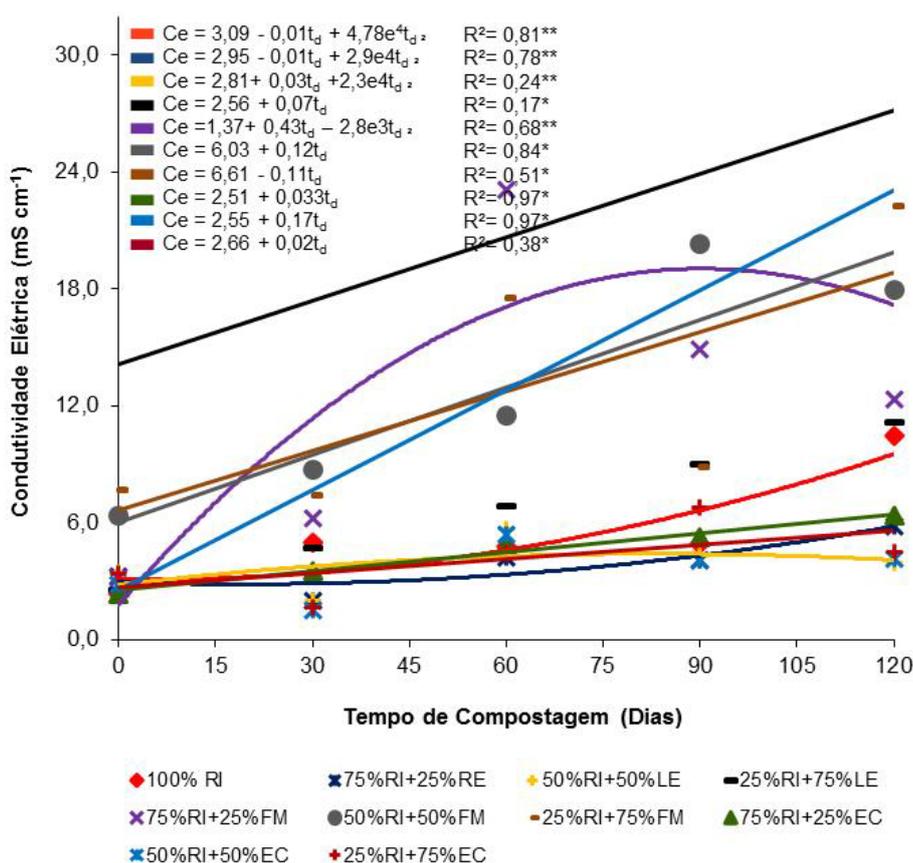


Figura 19. Valores de Condutividade elétrica (Ce), em mS cm^{-1} , das pilhas de compostagem formadas com o resíduo industrial (RI) e de suas misturas, em proporções variadas com lodo de esgoto (LE), esterco de curral (EC) e Fertilizantes Minerais (FM).

Fonte: do autor.

No decorrer do período de compostagem outros parâmetros foram alterados. A Figura 19 indica que a maioria dos tratamentos apresentaram aumento na condutividade elétrica (Ce), possibilitando os ajustes lineares e quadráticos dos dados. Os tratamentos T4 (25% do RI + 75% de LE), T7 (25% do RI + 75% de FM) e T10 (25% do RI + 75% de EC) merecem destaque, pois estão associados á menores proporções de RI. A mineralização dos compostos orgânicos acarreta aumento da concentração de sais solúveis (CAMPBELL; FOLK; TRIPERI, 1997).

Os inoculantes orgânicos tiveram sua importância na compostagem. A decomposição dos mesmos acarretou aumento da concentração de íons dissolvidos nas pilhas. Os tratamentos T5 (75%RI + 25%FM), T6 (50%RI + 50%FM) e T7 (25% do RI + 75% de FM) , apresentaram valores elevados de Ce em função da presença do fertilizante mineral, o qual também contribuiu para o aumento da concentração de sais na pilha (Figura 19). Lima et al. (2009) corroboram com estes resultados uma vez que obtiveram resultados semelhantes com a utilização de inoculantes minerais em pesquisa de caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral.

Os tratamentos T8 (75% do RI + 25% de EC), T9 (50% do RI + 50% de EC) e T10 (25% do RI + 75% de EC), concordam com os resultados de Watson (2006), um material orgânico como o esterco de curral contribui significativamente para o aumento da Ce no ambiente em virtude do alto nível de ionização dos componentes salinos (como o NaCl e o KCl) presentes neste material.

Normalmente, no final do período de compostagem, com a ação de microrganismos e aumento da concentração de N no meio, pode haver redução na Ce. Os microrganismos se desenvolvem durante a compostagem e acumulam em sua biomassa uma parte dos elementos químicos essenciais disponibilizados na pilha de compostagem. Para Rekha et al. (2005) este fato é muito comum em procedimentos de compostagem de qualquer tipo de resíduo.

Os dados referente à umidade (Figura 20), apresentaram um ajuste quadrático, indicando que ocorreu um acréscimo da umidade do 0 aos 60 dias. Com o aumento da temperatura das pilhas de compostagem, há a necessidade de ocorrer o molhamento e revolvimento das mesmas e, as coletas de amostras foram, coincidentemente, realizadas após o manejo das pilhas (revolvimento e molhamento).

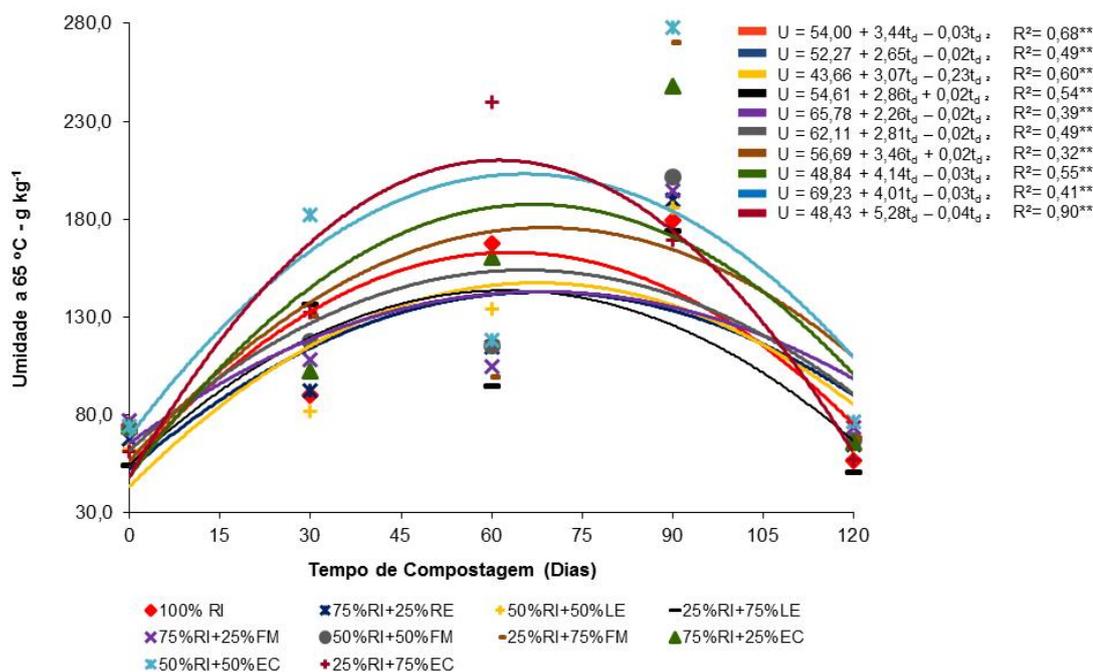


Figura 20. Valores de teor de Umidade a 65 °C, em $g\ kg^{-1}$, das pilhas de compostagem formadas com o resíduo industrial (RI) e de suas misturas, em proporções variadas com lodo de esgoto (LE), esterco de curral (EC) e Fertilizantes Minerais (FM).

Fonte: do autor.

No revolvimento, ao mesmo tempo em que se introduz novo ar, há liberação do ar contido na pilha, saturado de gás carbônico gerado pela respiração dos microorganismos. Essa renovação que ocorre através do revolvimento é importante, pois o teor de gás carbônico existente no interior da pilha pode chegar a concentrações cem vezes maiores que o seu conteúdo normal no ar atmosférico. Faltando oxigênio na pilha, haverá formação e acúmulo de dióxido de carbono e metano, componentes característicos da fermentação anaeróbia (KIEHL, 2002; GOMEZ; FERRER, 2006). Como a compostagem é um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, a presença de água e ar é um fator essencial para as necessidades fisiológicas dos organismos, os quais não sobrevivem na sua ausência (KIEHL, 2002).

A partir dos 60 dias os valores de umidade começaram a decrescer (Figura 20), pelo fato ocorrer à estabilização dos valores (Figura 1) e, possivelmente, de iniciar o processo de estabilização da matéria orgânica, ou seja, não haver mais a

necessidade de realizar o revolvimento e molhamento das pilhas. Outro fator importante é que neste período houve a mudança na estação do ano, passando do período de verão. Marcado por apresentar altas temperaturas e iniciando o período de outono, como temperaturas menores.

Lelis et al. (1999), observaram que a eficiência da compostagem depende de alguns fatores, além da temperatura tal como do teor de umidade contida no substrato. Estes são dois parâmetros de controle operacional do processo, considerando-se ótimo o teor de umidade em torno de 55%. Carvalho (2006), afirma, a partir de pesquisa, que quando a umidade da pilha de compostagem estiver abaixo de 35% pode haver dificuldade na atividade microbiana, comprometendo assim a toda qualidade do composto.

Conforme o período de compostagem aumentou, também ocorreu uma sensível diminuição do teor de matéria orgânica total e de carbono das pilhas de compostagem de todos os tratamentos (Figuras 21 e 22). Tudo isso é consequência das perdas de C na forma de CO₂ durante a compostagem. A ação dos microrganismos sobre a decomposição da matéria orgânica resulta em CO₂, água, substâncias húmicas e sais inorgânicos (HAO; CHANG; LARNEY, 2004).

Com exceção dos T1 (testemunha), T4 (25% do RI + 75% de LE), T6 (50% do RI + 50% de FM) e T10 (25% do RI + 75% de EC) os demais tratamentos apresentaram diminuição do teor de matéria orgânica durante o manejo das pilhas de compostagem (Figura 21).

Para Kiehl (1993), o resíduo orgânico em compostagem pode apresentar matéria orgânica compostável, matéria orgânica resistente à compostagem e matéria orgânica total. A matéria orgânica compostável é caracterizada, por exemplo, por restos vegetais. Já a matéria orgânica resistente à compostagem é caracterizada por ceras, resinas, graxas, óleos vegetais, couro, madeira e plástico. A matéria orgânica total é a somatória das formas já mencionadas.

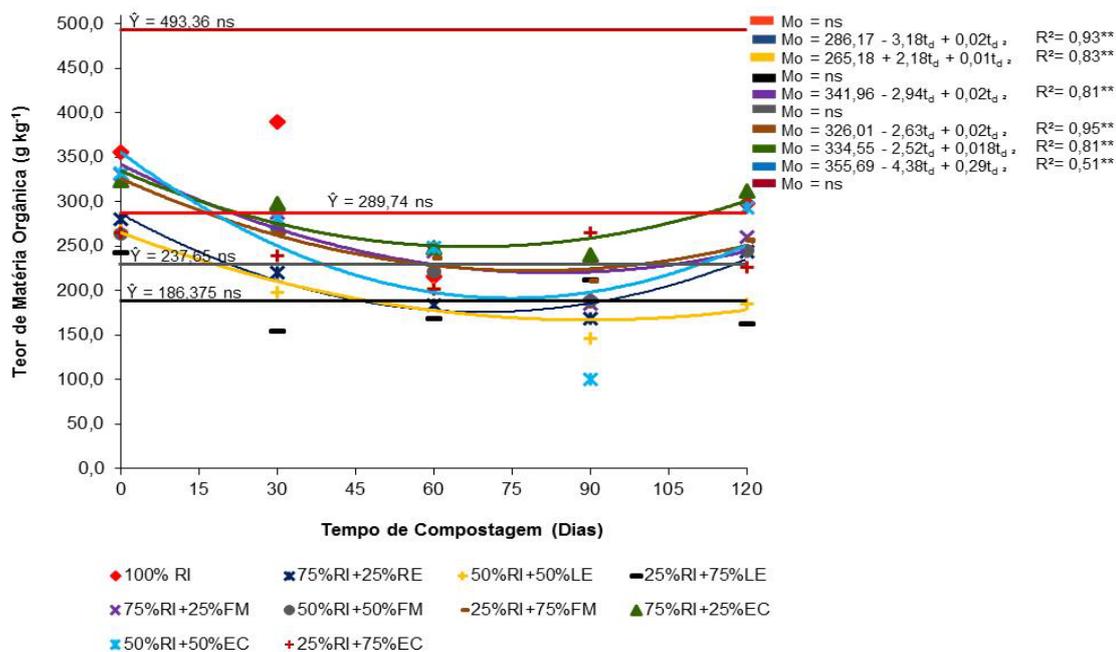


Figura 21. Valores de teor de Matéria Orgânica (MO), em g kg⁻¹, das pilhas de compostagem formadas com o resíduo industrial (RI) e de suas misturas, em proporções variadas com lodo de esgoto (LE), esterco de curral (EC) e Fertilizantes Minerais (FM).

Fonte: do autor.

Por isso, a diminuição dos valores de matéria orgânica dos tratamentos T2 (75% do RI + 25% de LE), T3 (50% do RI + 50% de LE), T5 (75% do RI + 25% de FM), T8 (75% de RI + 25% de EC) e T9 (50% do RI + 75% de EC), durante o período analisado pode estar associada à presença de material orgânico de fácil decomposição presente nos inoculantes orgânicos. A dificuldade de uniformização do RI diante sua constituição oleosa gerou alguns dados considerados fora do padrão desejado. Citam-se, como exemplo, os valores de matéria orgânica apresentados pelos tratamentos T4 (25% do RI + 75% de LE) e T10 (25% do RI + 75 de EC) que apresentam maior proporção de inoculantes e resultados não significativos. A mistura formada pela proporção no tratamento T6 (25% RI + 75% de FM) também apresentou variação significativa no teor de matéria orgânica total, pois os fertilizantes adicionados como inoculantes não foram capazes de aumentar a quantidade de inóculo microbiológico na pilha.

Entretanto, ainda existe potencial para degradação da matéria orgânica total em todos os tratamentos (Figura 21). De acordo com Kiehl (1985), os resíduos sólidos para compostagem devem conter, no mínimo, 400 g kg⁻¹ de matéria orgânica

total compostável em matéria seca para geração de húmus. A partir daí, espera-se uma redução de pelo menos 50% do teor de matéria orgânica total e carbono orgânico total após no mínimo 60 dias de compostagem. Neste contexto (Figura 21), não foi verificada a redução da matéria orgânica no patamar citado acima, provavelmente, em função das próprias características químicas apresentadas pelos RI e pelos inoculantes. Talvez, uma pilha com um volume maior de resíduos orgânicos inoculantes e um período maior de compostagem possam proporcionar melhor efeito.

À medida que a matéria orgânica total disponível diminuiu, em torno de 120 dias após o início do experimento, também ocorreu a diminuição do teor da mesma bem como o teor de C orgânico (Figura 22). Lima et al. (2009) também observaram esta redução na compostagem de biodiesel com a adição mineral. Aliás, a compostagem deste resíduo com inoculantes orgânicos misturados com farelo de mamona, torta de filtro e bagaço de cana não foi tão efetiva quanto à mistura com fertilizantes minerais.

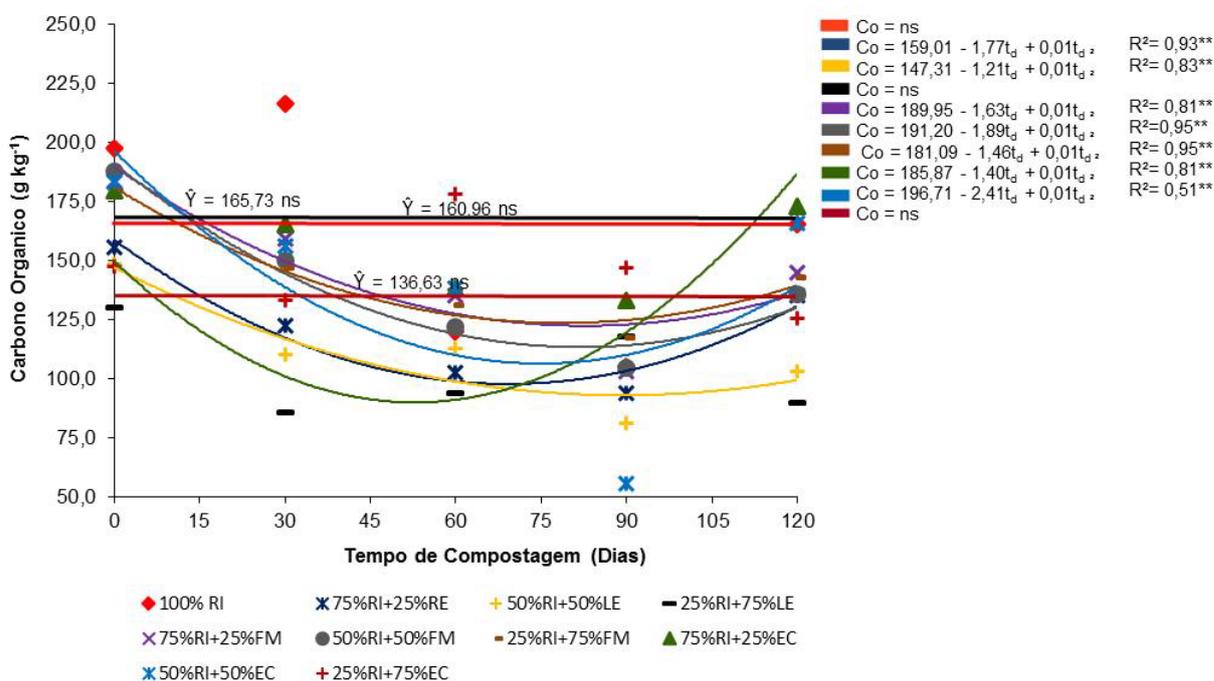


Figura 22. Valores de Carbono Orgânico (C), em $g\ kg^{-1}$, com das pilhas de compostagem formadas com o resíduo industrial (RI) e de suas misturas, em proporções variadas com lodo de esgoto (LE), esterco de curral (EC) e Fertilizantes Minerais (FM).

Fonte: do autor.

A relação C/N é o fator mais importante com referência à eficiência do processo de compostagem e para a qualidade do composto, para posterior utilização como adubo (ZHU, 2006). A mesma indica o grau de maturidade do composto, assim, o índice de maturidade do composto apresentado pelos tratamentos foi reduzido com o tempo de compostagem. Porém, o T1 (100% de RI) apresentou uma relação C/N acima de 90:1, demonstrando ainda matéria orgânica não decomposta. Tratamentos como o T6 (50% do RI + 50% de FM), T7 (25% do RI + 75% de FM) e T9 (50% do RI + 50% de EC) apresentaram redução na relação C/N (Figura 23). Entretanto, esta redução foi pouco pronunciada, estando mais relacionada com a compostagem mais específica dos inoculantes que propriamente do RI.

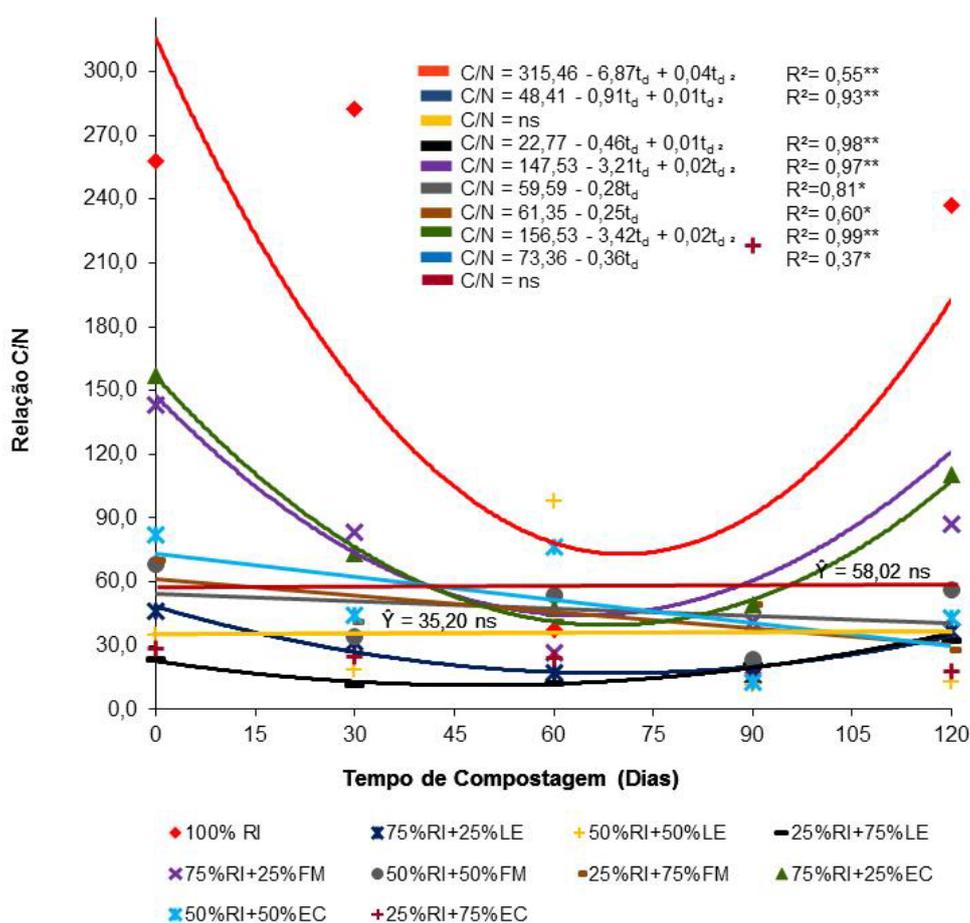


Figura 23. Valores da relação Carbono/Nitrogênio (C/N), em $g\ kg^{-1}$, com das pilhas de compostagem formadas com o resíduo industrial (RI) e de suas misturas, em proporções variadas com lodo de esgoto (LE), esterco de curral (EC) e Fertilizantes Minerais (FM).

Fonte: do autor.

Kiehl (1985) relatou que valores de relação C/N acima de 50/1 indica deficiência de N, sendo o tempo de maturação mais prolongado. Valores entre 30/1 e 50/1 permite uma decomposição um pouco mais rápida. Para Iglesias-Jimenez e Perez-García (1992), uma relação abaixo de 12 indica alto grau de maturidade do composto. Provavelmente, de acordo com a Figura 23, um tempo maior de compostagem e até mesmo um volume maior de inoculante orgânico pode ser necessários para a obtenção da redução da relação C/N e, conseqüentemente, a maturidade do composto.

Quando ocorre a compostagem de um resíduo em função do tempo, em geral, ocorre a diminuição do teor de carbono orgânico e o aumento do teor de N total do resíduo. A degradação microbiana gera dentre outros as substâncias húmicas e nutrientes, dentre os quais o N, P e K (HAO; CHANG; LARNEY, 2004; LIMA et al., 2009).

Nos tratamentos combinados em proporções tendo o LE T2 (75% do RI + 25% de LE) e T4 (25% do RI + 75% de LE), como inoculante, houve o aumento de N, pelo fato do inoculante possuir um teor de N maior que o RI (Tabela 1 e Figura 24). Os tratamentos T6 (50% do RI + 50% de FM) e T7 (25% do RI + 75% de FM), também apresentaram aumento nos teores de N pela adição do fertilizante NPK como inoculante.

Já os tratamentos T3 (50% do RI + 50% de LE) e T10 (25% do RI + 75% de EC) apresentaram decréscimo na quantidade de N (Figura 24). Provavelmente, algum fator em específico proporcionou a saída do N do composto. Bueno et al. (2008) citaram em sua pesquisa que durante a compostagem ocorre liberação de $N-NH_3^+$ (amônia), a qual é emitida em grande quantidade para o ambiente quando ocorre a compostagem do material orgânico. Emissões de NH_3^+ certamente ocorrem em altas concentrações e grandes quantidades de N são perdidas durante a degradação biológica. Este fator ocasiona diminuição no valor do composto como fertilizante, além da geração de odor. Esses resultados concordam com Kirchmann e Witter (1989), que indicaram que 44% de N inicial presente em uma mistura de esterco de frango e palha foi perdido via volatilização de NH_3^+ . Hansen, Keener e Hoitiwk (1989), relatou perdas acima de 33% do N total inicial durante a compostagem de esterco de frango e Kithome, Paul e Bomke (1999)

perdas de NH_3^+ foram de 47% a 62% do N total inicial após 25 dias de compostagem.

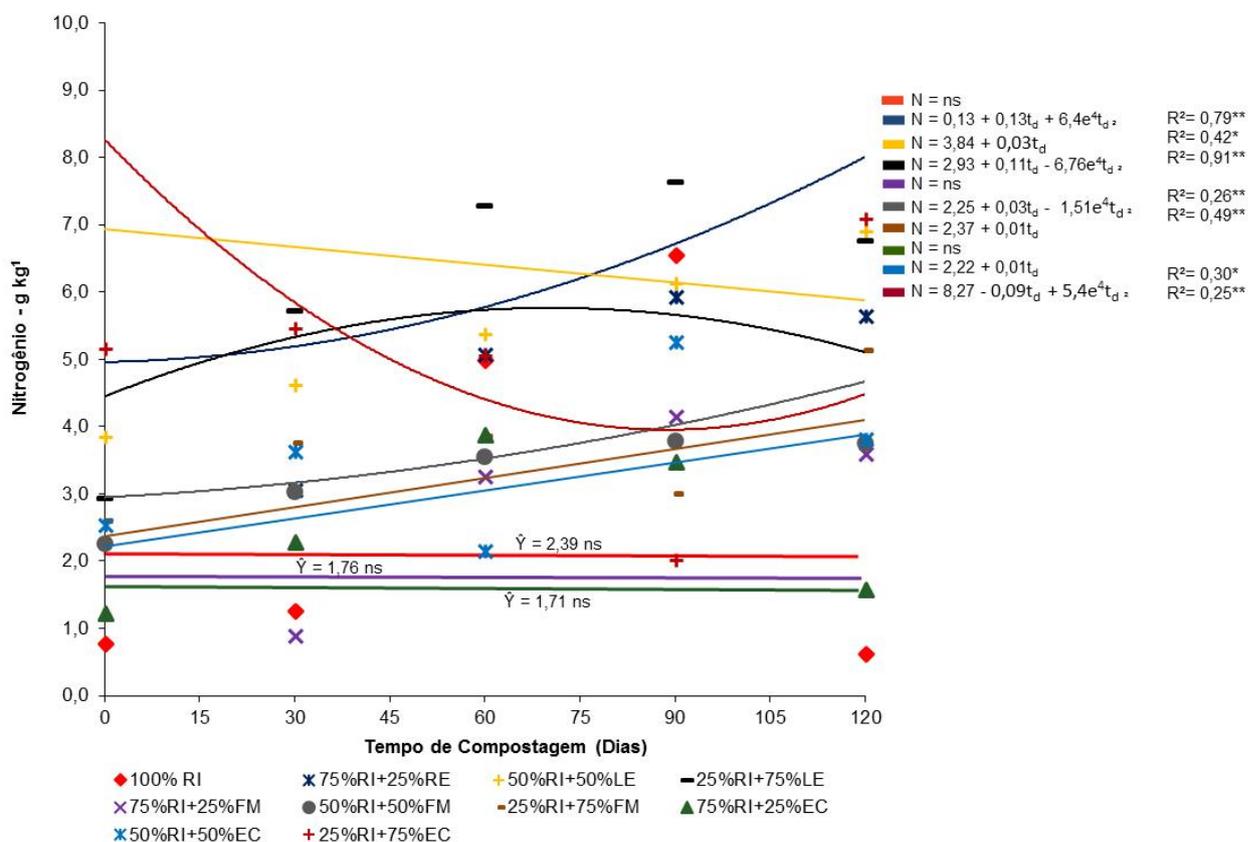


Figura 24. Valores de Nitrogênio (N), em g kg^{-1} , com das pilhas de compostagem formadas com o resíduo industrial (RI) e de suas misturas, em proporções variadas com lodo de esgoto (LE), esterco de curral (EC) e Fertilizantes Minerais (FM).

Fonte: do autor.

A composição do composto com P e K também pode depender da inoculação e consequente enriquecimento do mesmo com fertilizantes minerais. Os resultados expressos na Figura 25 mostram que a adição do fertilizante mineral aumentou os teores de P no T3 (50%RI+50%LE), T4 (25%RI+75%LE) e T5 (75%RI+25%FM). Nos demais tratamentos não foi possível estabelecer um ajuste polinomial para explicar a tendência dos dados em função do manejo e do tempo de compostagem.

Os resultados do T5 (75%RI+25%FM) (Figura 25) permitem observar que a adição de fertilizante mineral na menor proporção ocasionou aumento do teor de P no material de forma diferenciada dos T6 (50%RI+50%FM) e T7

(25%RI+75%FM). Seria normal esperar que o T7 pudesse acrescentar mais nutrientes aos tratamentos correspondentes.

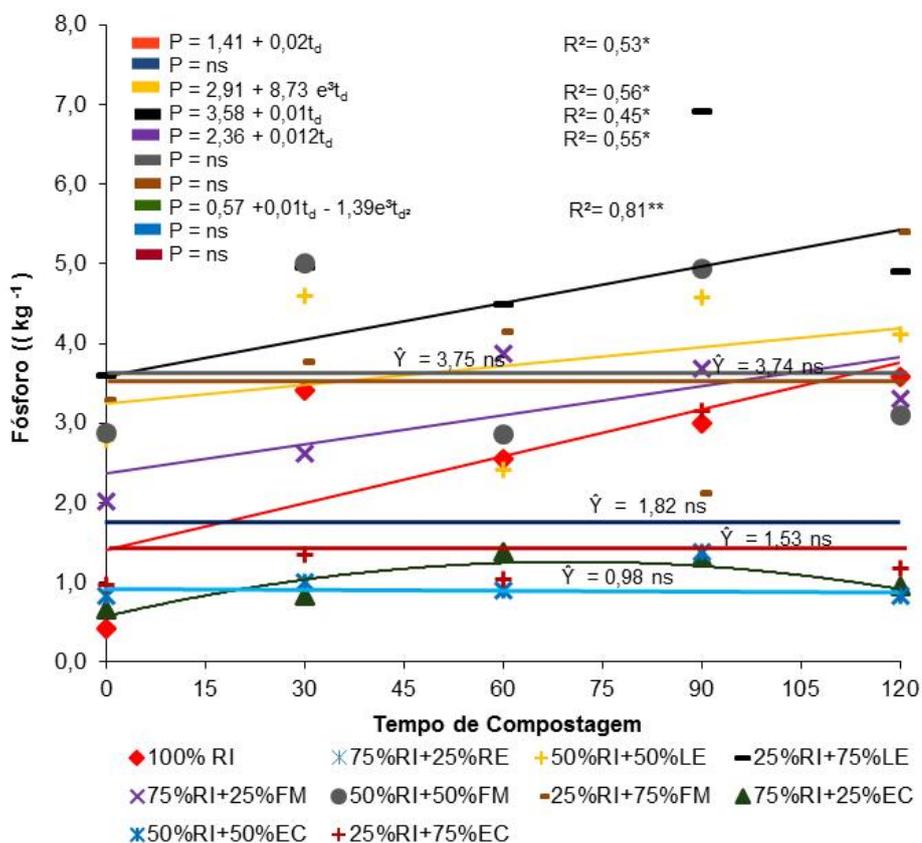


Figura 25. Valores de Fósforo, em g kg^{-1} , com das pilhas de compostagem formadas com o resíduo industrial (RI) e de suas misturas, em proporções variadas com lodo de esgoto (LE), esterco de curral (EC) e Fertilizantes Minerais (FM).

Fonte: do autor.

Contudo, existe a probabilidade de que possa ter ocorrido a lixiviação de nutrientes diante do umedecimento da pilha de compostagem e o acúmulo destes na base da mesma.

Apesar de um controle rigoroso do volume de água adicionado, justamente para se evitar a entrada excessiva de água, causando a formação de um ambiente temporariamente anaeróbico, e a própria lixiviação dos elementos químicos, a porosidade formada no composto toda vez que o mesmo foi revolvido pode ter colaborado para esta resposta. Lima et al. (2009) confirmaram esta condição em sua pesquisa e ainda comentaram que a medida em que o composto foi sendo humificado um volume menor de água foi adicionado às pilhas. Esta foi a medida

encontrada para minimizar a lixiviação de nutrientes. Estes autores ainda comentaram que em situações onde se adiciona a mesma quantidade de água aos montes de compostagem, devido á sua baixa umidade, pode haver a rápida percolação da mesma e lixiviação de nutrientes em direção á base da pilha.

A lixiviação dos nutrientes ocorre principalmente ao final do processo de compostagem, quando grande parte dos nutrientes se encontra na forma solúvel, o que aumenta ainda mais as chances de perdas. É possível que a lixiviação seja a responsável pela grande variação dos dados encontrados na literatura. Amorim, Lucas Júnior e Resende (2005) conduziram leiras de compostagem a partir dos dejetos de caprinos e observaram reduções nos teores de nutrientes do composto em relação o material inicial. Eghball (1997), por sua vez, observou perdas de 42,5; 0,8; 15,8; 1,6; 1,9 e 15,1% para N, P, K, Ca, Mg e Na, respectivamente.

Neste contexto, considerando a lixiviação, a Figura 26 demonstra que o K foi o nutriente que menos respondeu á adição dos inoculantes orgânicos e mineral. Além disso, pode-se dizer que a concentração de nutrientes no composto dependerá da composição química do resíduo.

A partir do início da compostagem, todos os tratamentos apresentaram um decréscimo no teor de K adicionado (Figura 26). Para Lima et al. (2009) a disponibilidade de nutrientes como o P e K para a pilha de compostagem depende na utilização dos mesmos pelos microrganismos, das características químicas dos resíduos em compostagem. Relacionam-se, ainda, neste comentário, algumas características como a homogeneidade da mistura e granulometria dos resíduos em compostagem.

Como já citado anteriormente, a presença de óleo vegetal no resíduo aumenta sua agregação e dificulta sua homogeneização com outros compostos, gerando, em algumas situações, resultados contraditórios com a linha de pesquisa bem como, com os resultados presentes na literatura.

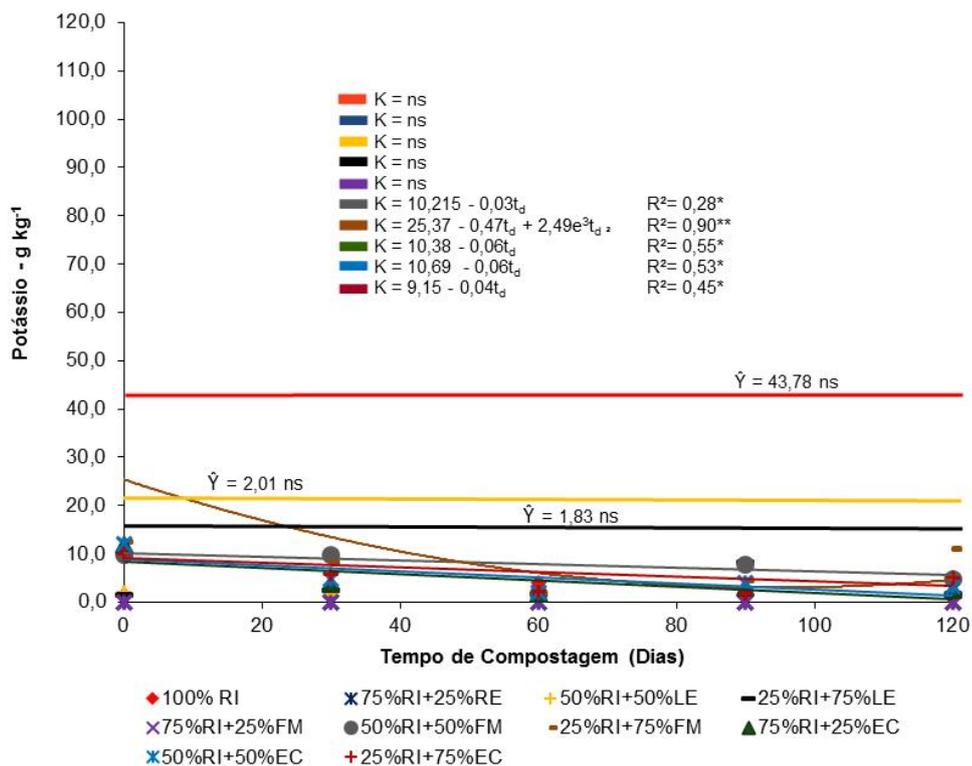


Figura 26. Valores de Potássio (K), em g kg^{-1} , com das pilhas de compostagem formadas com o resíduo industrial (RI) e de suas misturas, em proporções variadas com lodo de esgoto (LE), esterco de curral (EC) e Fertilizantes Minerais (FM).

Fonte: do autor.

7 CONCLUSÃO

De acordo com os dados obtidos verificou-se que:

1. A compostagem é uma técnica que poderá ser eficiente no tratamento do resíduo proveniente da indústria oleoquímica, sendo necessária, entretanto, a adição de inoculantes e nutrientes que forneçam condições necessárias para a atividade microbiana.
2. A proporção de 25% do RI (resíduo industrial) + 75% de LE (lodo de esgoto), foi considerada como um tratamento que obteve um resultado relevante diante da dificuldade de compostagem do RI.
3. Considerando as características do RI, conclui-se que o período de 120 dias não foi suficiente para transformação em composto humificado, sendo necessário um período maior para avaliação.

REFERÊNCIAS

ABIOVE. Associação da Indústria Brasileira de Óleos Vegetais. 2012.

ALBANELL, E.; PLAIXATS, J.; CABRERO, T. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. **Biology and Fertility of Soils**, v.6, p.266-269, 1988.

ALCARDE, J.C. **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba, FEALQ, 2009. 259p.

ALVES, V.C. Estudo de tendência temporal de temperatura máxima em Presidente Prudente. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBA, 1999. p.1438-1444.

ALVES, V.C.; MINCA, J.C. Tendência temporal de temperatura máxima em Presidente Prudente. In: VIII REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGIA, 1., 2000, Mendoza, Argentina. **Anais...** Mendoza: AADA, 2000. p11.

AMORIM, A.C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K.T. Compostagem e vermicompostagem de dejetos de caprinos: efeito das estações do ano. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.57-66, 2005.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Gestão de bio sólidos: situação e perspectivas. In: SEMINARIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSOLIDOS DO MERCOSUL., 1., Curitiba 1998. **Anais...** Curitiba, SANEPAR/ABES, 1998. p.11-18.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Resíduos sólidos**. Coletânea de normas. ABNT NBR, 10004; ABNT NBR 10005; ABNT NBR 10006; ABNT NBR 10007. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.

BIDONE, F.R.A. (coord.) **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais**: eliminação e valorização. Rio de Janeiro, ABES, 2001. 218p.

BOEIRA, R.C. Lixiviação de nitrogênio em latossolo incubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.947-958, 2009.

BRUNI, V. **Avaliação do processo operacional de compostagem aerada de lodo de esgoto e poda vegetal em reatores fechados**. Curitiba: UFPR, 2005. 95p.

BUENO, P. et al. Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. **Bioresourse Technology**, v.99, p.5069-5077, 2008.

CAMPBELL, A.G.; FOLK, R.L.; TRIPEPI, R. Wood ash as amendment in municipal sludge and yard waste composting processes. **Compost Science & Utilization**, v.5, n.1, p.62-63, 1997.

CARVALHO, J.G. **Compostagem de resíduos agroindustriais**. Lavras: Editora UFLA, 2006.

CAVALCANTI, J.E. A década de 90 é dos resíduos sólidos. **Revista Saneamento Ambiental**, n.54, p.16-24, nov./dez. 1998.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Aplicação de lodo de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas** – critérios para o projeto e operação – Norma P 4.230. São Paulo: CETESB, 1999. 32p.

COSTA, M.S.S.M. et.al. Compostagem de resíduos da indústria de desfibração de algodão. **Engenharia Agrícola**, may/aug., v.25, n.2, p.540–548, 2005.

DIAZ, L.F. et al. **Composting and recycling** - municipal solid waste. Boca Raton (USA): Lewis Publishers; 1993.

DICK, W.A.; McCOY, E.L. Enhancing soil fertility by addition of compost. In: HOITINK; KEENER. (eds). **Science and engineering of composting**: design, environmental, microbial and utilization aspects. Wooster (Ohio): The Ohio State University, 1993. p.622-644.

ECOICHEM. **Composting process**. 2004. Disponível em: <http://www.ecochem.com/t_compost_faq2.html>. Acesso em: 23 nov 2012.

EGHBALL, B. Nutrient, carbon and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. **Journal Environmental Quality**, v.26, p.189-193, 1997.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - (FIESP). **Indicadores de desempenho ambiental da indústria**. São Paulo: Fiesp/Ciesp, 2003.

FERNANDES, F.; PIERRO, A.C.; YAMAMOTTO, R.Y. Produção de fertilizante orgânico por estações de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.5, p.567–574, 1993.

GALDOS, M.V.; DE MARIA, I.C; CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroferrico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.569-577, 2004.

GOLUEKE, C.G. **Biological processing: composting and hydrolisis**. Handbook of solid waste management. New York, Van Nostrand Reinholds Company, 1977. p.197- 225.

GÓMEZ, R.B.; FERRER, A.S. The use of respiration indices in the composting process: a review. **Waste Management & Research**, v.24, n.1, p.37-47, 2006.

GROSSI, M.G. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico, através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas**. 1993. Tese (Doutorado). Instituto de Química da Universidade de São Paulo, São Paulo.

HANSEN, R.C.; KEENER, H.M.; HOITIWK, H.A.J. Poultry manure composting. An exploratory study. **Trans ASAE**, v.36, p.2151-2157, 1989.

HAO, X.; CHANG, C.; LARNEY, F.J. Carbon, nitrogen balances and greenhouse gas emission during cattle feedlot manure composting. **Journal of Environmental Quality**, v.33, n.1, p.37-44, 2004.

HAUG, R.T. **The practical handbook of composting engineering**. United States of America: Lewis Publishers, 1993.

HECK, K. et.al. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do compost final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.1, p.54-59, 2013.

IGLESIAS-JIMENEZ, E.; PEREZ-GARCIA, V. Determination of maturity indices for city refuse composts. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, v.38, n.4, p.331-343, 1992.

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

IYENGAR, S.R.; BHAVE, P.P. In-vessel composting of household wastes. **Waste Management**, v.26, n.10, p.1070-1080, 2006.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985. 482p.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes organominerais**. Piracicaba: O autor, 1993. 189p.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem – maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Editora Degaspari; 1998.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. São Paulo. Editado pelo autor, 2002.

KGATHI, D.L., BOLAANE, B. Instruments for sustainable solid waste management. **Botswana Waste Management & Research**, v.19, p.342-353, 2002.

KIRCHMANN, H.; WITTER, E. Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition. **Plant Soil**, v.115, p.35-41, 1989.

KITHOME, M.; PAUL, J.W.; BOMKE, A.A. Reducing nitrogen losses during simulated composting of poultry manure using adson bents or chemical amendments. **Journal Environmental Quality**, v.28, p.194 -2001, 1999.

LELIS, M.P.N. et al. A influencia da umidade na velocidade de degradação e no controle de impactos ambientais na compostagem. In: CONGRESSO DA ABES, 20. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999. p.10.

- LERIPIO, A.A. **Gerenciamento de resíduos**. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/~lgqa/Coferecidos.html>>. Acesso em: 12 dez 2004.
- LIMA, C.C. et al. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.3, p.334-340, 2009.
- LOPEZ-REAL, J.M. Agroindustrial waste composting and its agricultural significance. **Proceedings of the Fertilizer Society**, v.293, p.l -26, 1990.
- LOPEZ-REAL, J.M. Composting through the ages. In: **Down to Earth Composting**. 1994. p 5.
- MALAVOLTA, E.; GOMES, F.P.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. p.66-67.
- MATTOS, J.C.; LIBERALINO FILHO, J. Composto orgânico misto na formação de mudas de alface. **Revista Verde**, Mossoró, v.2, n.1, p.105-112, jan./jul. 2007.
- MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. Química ambiental e agronomia. In: DECHEN, A.R.; BOARETTO, A.E.; VERDADE, F.C. (Coords). REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. **Anais...** Campinas, Fundação Cargill, 1992. p.157-178.
- MERILLOT, J.M. Perspectives and state of the art of composting in France. In: BERTOLDI, M. **Science of composting part 2**. England: Chapman & Hall, 1996. p.684-690.
- MILLER, F.C. Composting as a process base on the controlo f ecologically selective Factors. In: METTING, F.B. (Ed.). **Soil microbial ecology**: application a agricultural. New York: Marcel Dekker, 1993. p.515-541.
- NAUMOFF, A.F.; PERES, C.S. Reciclagem de matéria orgânica. In: D'ALMEIDA, M.L.O.; VILHENA, A. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
- OLIVEIRA, F.C. **Disposição de “resíduo orgânico” e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. 247 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP.
- OSAKI, M.; BATALHA, M.O. Produção de biodiesel e óleo vegetal no Brasil: realidade e desafio. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v.13, n.2, p.227-242, 2011.
- PARR, J.F.; HORNICK, S.B. Agricultural use of organic amendments: a historical perspective. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.7, n.4, p.181-189, 1992.

PEGORINI, E.S. et al. Qualidade do lodo de esgoto utilizado na reciclagem agrícola na região metropolitana de Curitiba – PR. In: SIMPOSIO LATINO AMERICANO DE BIOSOLIDOS, 1, São Paulo, 2003. **Anais...** São Paulo, jun., 2003. 11p.

PENTEADO, S.R. **Introdução à agricultura orgânica** – normas e técnicas de cultivo. Campinas: Grafimagem, 2000.

PROCHNOW, L.I. et al. Controlling ammonia losses during manure composting with the addition of phosphogypsum and simple superphosphate. **Scientia Agricola**, v.52, n.2, p.346-349, 1995.

RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285p.

REBOLLIDO, R. et al. Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. **Applied Ecology and Environmental Research**, v.6, p.61-67, 2008.

REKHA, P. et al. Bioremediation of contaminated lake sediments and evaluation of maturity indices as indicators of compost stability. **Journal of Environmental Research Public Health**, v.2, n.2, p.251-262, 2005.

RICCI, M.S.F.; NEVES, M.C.M.; AGUIAR-MENEZES, E.L. **Embrapa agroecologia sistemas de produção**. 2ª ed. dez. 2006.

RICHARD, T.L; WOODBURY, P.S. The impact of separation on heavy metal contaminants in municipal solid waste compost. **Biomass and Bioenergy**, v.3, n.3.4, p.195-211, 1992.

RODRIGUES, M.S. **Composted societal organic wastes for sustainable wheat (*Triticum aestivum*) production**. 1996. Tese (PhD), Wye College, University of London, 1996.

SAVAGE, G.M. The importance of waste characteristics and processing in the production of quality compost. In: BERTOLDI, M. et al. **Science of composting part 2**. England: Chapman & Hall, 1996. p.784-791.

SCHALCH, V., REZENDE, M.O.O. O processo de compostagem do lixo e sua relação com a qualidade de adubo formado. **BIO**, p.44-47, out/dez. 1991.

SILVA, S.M.C.P.; FERNANDES, F. Co-compostagem de biossólidos, lodo de tratamento de água e resíduos de podas de árvores. In: XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería sanitaria y ambiental, 1-5 de novembro de 1998, Lima, Perú. **Anais...** 1998. p.51.

SILVA, A.S.; HERMES, L.C. **Avaliação da qualidade das águas: manual prático**. EMBRAPA, 2004. (Informações Tecnológica)

SOUZA, J.L.; REZENDE, P.L. **Manual de horticultura orgânica**. 2ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2006. 843p.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de bio sólidos. In: TSUTIYA, M.T. (Ed). **Bio sólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p.133-180.

WATSON, M.E. **Testing compost**. Extension Tastsheet. Disponível em: <<http://ohioline.osu.edu/anr-fact/0015.html>>. Acesso em: 17 jul 2006.

ZHU, N. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. **Bioresource Technology**, v.98, p.9-13, 2006.