UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA

THIAGO DE ALMEIDA LEITE

***COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA DE LODO DE ESGOTO:
HIGIENIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOSSÓLIDO PARA
USO AGRÍCOLA***

**SÃO PAULO
2015**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA

THIAGO DE ALMEIDA LEITE

Compostagem Termofílica de Lodo de Esgoto: Higienização e Produção de Biossólido para Uso Agrícola

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, da Faculdade de Saúde Pública, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Wanderley da Silva Paganini

**SÃO PAULO
2015**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução, total ou parcial, é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação da Publicação
Biblioteca/CIR: Centro de Informação e Referência em Saúde Pública
Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo
Dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Leite, Thiago de Almeida

Compostagem Termofílica de Lodo de Esgoto: Higienização e Produção de Biossólido para Uso Agrícola / Thiago de Almeida Leite; orientador Wanderley da Silva Paganini. - São Paulo, 2015.
186 p.

Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2015.

1. lodo de esgoto. 2. biossólido. 3. compostagem. 4. termofílica. 5. higienização. I. da Silva Paganini, Wanderley, orient. II. Título.

LEITE, Thiago de Almeida. Compostagem Termofílica de Lodo de Esgoto: Higienização e Produção de Biossólido para Uso Agrícola - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Universidade de São Paulo

ATA DE DEFESA

Aluno: 6139 - 8473660 - 1 / Página 1 de 1

Ata de defesa pública de Dissertação do(a) Senhor(a) Thiago de Almeida Leite no Programa: Mestrado Profissional Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, do(a) Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

Aos 09 dias do mês de setembro de 2015, no(a) Sala Fernando A. Guimarães realizou-se a Defesa da Dissertação do(a) Senhor(a) Thiago de Almeida Leite, apresentada para a obtenção do título de Mestre intitulada:

"Compostagem termofílica de lodo de esgoto: higienização e produção de biossólido para uso agrícola"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
Wanderley da Silva Paganini	Presidente	FSP - USP	<u>Aprovado</u>
José Luiz Negrão Mucci	Titular	FSP - USP	<u>Aprovado</u>
Cristiano Kenji Iwai	Titular	Externo	<u>Aprovado</u>

Resultado Final:

Aprovado

Parecer da Comissão Julgadora *

Eu, Marilene Rosa Silva Pereira _____, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Paulo, aos 09 dias do mês de setembro de 2015.

José Luiz Negrão Mucci
Cristiano Kenji Iwai
Wanderley da Silva Paganini
Presidente da Comissão Julgadora

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

“Ter sucesso nesta vida é ser Feliz”

Padre Fabio de Melo

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da vida, por me iluminar ao longo da minha história, colocando pessoas de fundamental importância em minha vida.

À minha mãe Vera, exemplo de garra e determinação, que nunca mediu esforços para me apoiar em minhas escolhas, sendo apoio incondicional.

Ao Professor Wanderley das Silva Paganini, pela oportunidade, orientação e conselhos ao longo dessa empreitada.

À Tera Ambiental Ltda pelo fornecimento dos dados de monitoramento do lodo, sem os quais nada seria possível.

Aos Engenheiros David Peterson de Lima e Fernando Carvalho Oliveira (colaborador e consultor da Tera Ambiental Ltda), pela solicitude em esclarecer todas as dúvidas quanto ao funcionamento da planta de compostagem.

Aos meus avós Hercília e Laurindo, pelo jeito caipira de me educar.

Às minhas tias e primos sempre tão presentes em minha vida.

A todos os professores da pós graduação por dividir o conhecimento.

A todos os colegas do mestrado profissional.

À minha namorada Adiléia, por toda ajuda e compreensão na reta final deste projeto.

Ao Professor Rafael Kopschitz Xavier Bastos, por despertar em mim o gosto pela área do saneamento durante o curso de Engenharia Ambiental da UFV.

À Faculdade de Saúde Pública da USP pela formação.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram para a concretização deste sonho.

RESUMO

LEITE, T. A. Compostagem Termofílica de Lodo de Esgoto: Higienização e Produção de Biossólido para Uso Agrícola. 2015. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

O presente trabalho teve como objetivo principal acompanhar o tratamento do lodo de esgoto gerado na estação de tratamento de esgotos de Jundiaí através da compostagem termofílica em leiras revolvidas mecanicamente sob a perspectiva da higienização e produção de biossólido para uso agrícola, em conformidade com o arcabouço legal existente. Foram monitorados nove lotes de esgoto, entre janeiro e dezembro de 2014. O tempo de acompanhamento de cada lote variou de 64 a 124 dias, com realização de coletas somente após o fim do tratamento, com exceção da temperatura que foi monitorada durante toda a fase termofílica do processo. Os seguintes parâmetros físico químicos foram considerados: temperatura, pH, umidade, sólidos totais e orgânicos, carbono orgânico, nitrogênio, relação C/N, capacidade de troca catiônica – CTC, metais pesados e nutrientes. Por sua vez, as variáveis microbiológicas acompanhadas foram: coliformes termotolerantes, *Salmonella sp.* e ovos de helmintos. Os resultados das análises laboratoriais evidenciaram nítido decaimento microbiano após a compostagem termofílica. Ausência de salmonela já no lodo bruto, remoção total de coliformes termotolerantes e valores abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 375/2006 e instruções normativas do Ministério da Agricultura, com redução média de 80,2 %, no que se refere a presença de ovos viáveis de helmintos. O sistema de compostagem também demonstrou capacidade de degradar e estabilizar a matéria orgânica, registrando relação C/N média de 13,70 ao fim dos tratamentos. Mesmo recebendo contribuição industrial, os metais pesados analisados Ar, Ba, Cr, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e o Zn estiveram dentro dos limites estabelecidos pela legislação, inclusive na torta de lodo, excetuando Cd e o Ni. Significativa capacidade de troca catiônica média (315,44mmol/kg) e pH médio elevado (9,0) registrados no biossólido podem ter contribuído para a diminuição da concentração destes elementos no produto final. Os resultados também sugerem a disponibilidade de nutrientes (Ca, K, Mg, P e S) às plantas quando da prática do uso de biossólido na agricultura, com incrementos nos valores de Ca, K e Mg no produto final.

Palavras-chave: Lodo de esgoto, biossólido, compostagem, termofílica, higienização.

ABSTRACT

LEITE, T. A Thermophilic Composting of Sewage Sludge: Hygienization and Production of Biosolids for Agricultural Use. 2015. 186 p. [dissertation]. São Paulo: School of Public Health, University of São Paulo; São Paulo, 2015.

The present study aimed to monitor the treatment of the generated sewage sludge treatment plant in Jundiaí sewage through thermophilic composting in windrows mechanically plowed from the perspective of disinfection and production of biosolid for agricultural use, in accordance with the legal framework existing. Nine lots of sewage were monitored between January and December 2014. The monitoring period of time of each lot varied from 64 to 124, with sampling only after the end of treatment, except the temperature was monitored throughout the phase thermophilic process. The following physical-chemical parameters were considered: temperature, pH, moisture, total and organic solids, organic carbon, nitrogen, C/N, cation exchange capacity - CTC, heavy metals and nutrients. In turn, the microbiological variables were monitored: thermotolerants coliforms, *Salmonella* sp. and helminth eggs. The results of laboratory analyzes showed sharp microbial decay after the thermophilic composting. *Salmonella* absence already raw sludge, total removal of fecal coliforms and values below the limit established by CONAMA Resolution 375/2006 and regulatory instructions of the Ministry of Agriculture, with an average reduction of 80.2% in relation to the presence of viable helminth eggs. The composting system has also demonstrated ability to degrade and stabilize organic material, recording C/N ratio average of 13.70 after the treatment. Even getting business tax, heavy metals analyzed Ar, Ba, Cr, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se and Zn were within the limits set by the legislation, including the dewatered sludge, except for Cd and Ni. Significant capacity cation exchange medium (315,44mmol / kg) and high average pH (9.0) recorded in biosolids may have contributed to the decrease in concentration of these elements in the final product. The results also suggest availability of nutrients (Ca, K, Mg, P, and S) to plants when using sewage sludge in agriculture, with increments the values Ca, K and Mg in the final product.

Keywords: Sewage sludge, biosolids, composing, thermophilic, hygienization.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	3
Objetivo geral	3
Objetivos específicos	3
CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
1.1. Tratamento de esgotos sanitários	4
1.2. Processos biológicos de tratamento de esgotos	5
1.3. O tratamento de esgotos e a geração de lodo	6
1.4. Caracterização do lodo de esgotos	8
1.5. Terminologia lodo de esgoto versus biossólidos	10
1.6. Tratamento do lodo e produção de biossólidos	11
1.6.1. Etapas do tratamento do lodo	11
1.6.1.1. Adensamento	11
1.6.1.2. Estabilização	12
1.6.1.2.1. Caleação	12
1.6.1.2.2. Digestão anaeróbia	13
1.6.1.2.3. Digestão aeróbia	13
1.6.1.3. Condicionamento do lodo	14
1.6.1.4. Desaguamento	15
1.6.1.5. Higienização	15
1.7. Compostagem	17
1.7.1. Etapas da compostagem	18
1.7.2. Métodos de compostagem	20
1.7.2.1. Leiras revolvidas (windrow)	20
1.7.2.2. Leiras aeradas estáticas (Static pile)	21
1.7.2.3. Reatores biológicos (In vessel)	22
1.7.2.4. Pilha Estática Aerada (ASP)	22
1.7.3. Parâmetros de controle do processo	22
1.7.3.1. Aeração	22
1.7.3.2. Temperatura	23
1.7.3.3. Umidade	24
1.7.3.4. Relação C/N	24

1.7.3.5.	Tamanho da partícula	25
1.7.3.6.	pH	25
1.8.	Alternativas de destinação final de lodo de esgoto	26
1.8.1.	Disposição no solo.....	27
1.8.1.1.	Reciclagem agrícola e florestal	27
1.8.1.2.	Landfarming	29
1.8.2.	Aterro sanitário	30
1.8.2.1.	Aterro exclusivo.....	31
1.8.2.2.	Codisposição com resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários	31
1.8.3.	Incineração	32
1.8.4.	Reúso industrial	32
1.8.5.	Disposição oceânica.....	33
1.9.	Fatores limitantes da disposição de lodo nos solos	34
1.9.1.	Metais pesados.....	34
1.9.2.	Compostos orgânicos	37
1.9.3.	Microrganismo patogênicos	39
1.9.3.1.	Decaimento microbiológico em sistemas de compostagem...	43
1.10.	Aspectos legais sobre o uso agrícola de lodo de esgoto	45
1.10.1.	Regulamentação norte americana – “Norma 503”	45
1.10.2.	Regulamentação brasileira	48
1.11.	Experiências brasileiras da gestão do lodo de esgoto: tratamento e uso agrícola	53
CAPÍTULO 2 – MATERIAL E MÉTODOS		57
2.1.	Município de Jundiaí	57
2.2.	Estação de tratamento de esgotos de Jundiaí	57
2.3.	Tratamento do lodo por compostagem em leiras aeradas	59
2.4.	Análises laboratoriais	64
2.4.1.	Análises físicas e químicas.....	64
2.4.2.	Análises microbiológicas	67
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO		68
3.1.	Higienização do lodo através de compostagem termofílica	68
3.1.1.	Parâmetros físicos e químicos.....	68
3.1.1.1.	Temperatura dos lotes	68

3.1.1.2.	pH	72
3.1.1.3.	Umidade.....	75
3.1.1.4.	Sólidos totais e sólidos orgânicos	79
3.1.1.5.	Carbono orgânico, formas nitrogenadas e a relação C/N	81
3.1.1.6.	Capacidade de Troca Catiônica - CTC	88
3.1.1.7.	Metais pesados	90
3.1.1.8.	Macronutrientes	94
3.1.2.	Parâmetros biológicos	96
3.1.2.1.	Coliformes Termotolerantes (CT), Salmonella sp. e ovos viáveis de helmintos	96
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....		105
REFERÊNCIAS.....		107
ANEXOS		126

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASP	Pilha Estática Aerada
CCBA	Coordinate Chemical Bonding Adsorption
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COP	Compostos Orgânicos Persistentes
COT	Carbono Orgânico Total
CSJ	Companhia de Saneamento de Jundiaí
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CTer	Coliformes Termotolerantes
DAE	Departamento de Águas e Esgotos
EAP	Estabilização Alcalina Prolongada
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETEJ	Estação de Tratamento de Esgotos de Jundiaí
FGTS	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IPT	Instituto Nacional de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
IN	Instrução Normativa
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NMP	Número Mais Provável
NT	Nitrogênio Total
NTK	Nitrogênio Kjeldahl
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PCB	Bifenilas Policloradas
PRAP	Processos de Redução Adicional de Patógenos
PRSP	Processos de Redução Significativa de Patógenos
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo

SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ST	Sólidos Totais
UFF	Unidade Formadora de Foco
UFP	Unidade Formadora de Placa
UGL	Unidades de Gerenciamento de Lodo
USEPA	United States Environmental Protection Agency

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Figuras

Figura 1 - Comportamento da temperatura no processo de compostagem.	19
Figura 2 – Lagoa de decantação do lodo.	59
Figura 3 - Centrífugas utilizadas para desidratação do lodo.	59
Figura 4 - Vista geral da planta de compostagem da ETE Jundiaí.....	60
Figura 5 - Detalhe da leira de compostagem.....	60
Figura 6 - Trator enleirador ou composteira utilizado no revolvimento das leiras.	60
Figura 7 – Vista geral do trator no galpão de compostagem.	60
Figura 8 - Poda de árvores urbanas empilhada.	62
Figura 9 - Resíduos de celulose utilizados no processo.	62
Figura 10 - Disposição da torta de lodo para montagem das leiras.	62
Figura 11 - Introdução de material rico em carbono ao lodo de esgoto para formação das leiras.	62
Figura 12 - Torta de lodo coletada para análise.	64
Figura 13 - Lote tratado pronto para análise.	64
Figura 14 - Sonda de temperatura com cabo de conexão.	66
Figura 15 - Indicador de leitura portátil do termômetro digital.	66
Figura 16 – Evolução do comportamento das temperaturas nos lotes de lodos 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g), 8 (h) e 9(i) na 2ª fase do processo de compostagem termofílica, ETEJ, Jundiaí-SP,	70
Figura 17 - Variação da temperatura no período do monitoramento dos lotes tratados	71
Figura 18 - Variação da temperatura nos lotes ao longo do período de monitoramento.	72
Figura 19 – Evolução dos valores de pH dos lotes tratados 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g), 8 (h) e 9(i) desde a torta de lodo até a geração do material compostado final, por leiras revolvidas.	74

Figura 20 - Variação dos valores de pH após o a tratamento dos lotes pelo processo de compostagem.	75
Figura 21 - Distribuição dos valores de umidade após o tratamento por compostagem na ETEJ.	77
Figura 22 - Evolução do comportamento da umidade registrada na torta de lodo e após o tratamento por compostagem na ETEJ com geração do biossólido, nos lotes 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g), 8 (h) e 9(i).	79
Figura 23 – Evolução dos teores de Sólidos Totais - ST (%) e Sólidos Voláteis - SV (%) na torta de lodo e após o tratamento com formação de biossólido, nos lotes 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g), 8 (h) e 9(i).	81
Figura 24 – Concentrações de carbono orgânico identificados na torta e nos lotes tratados.	82
Figura 25 – Evolução do comportamento do carbono orgânico em cada lote produzido na ETEJ, da torta de lodo até a geração do biossólido.	83
Figura 26 - Alterações nas formas nitrogenadas durante a compostagem de lodo de esgoto.	85
Figura 27 – Variação da concentração de nitrogênio amoniacal nos tratamentos conduzidos na ETEJ.	86
Figura 28 – Comportamento e formação de nitrato-nitrito durante o tratamento do lodo na ETEJ.	87
Figura 29 - Relação C/N nos lotes tratados e a maturidade do biossólido gerado.	88
Figura 30 - Reduções dos teores de alguns metais pesados no biossólido produzido na ETEJ, (a), (b) e (c).	93
Figura 31 - Comportamento dos macronutrientes face ao tratamento do lodo na ETEJ, (a) e (b).	95
Figura 32 - Evolução das temperaturas médias dos Lotes 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g), 8 (h) e 9(i) durante o processo de compostagem.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização do lodo de 5 ETEs.....	9
Tabela 2 - Destinação final de lodo de esgoto no Brasil (2000-2001).....	27
Tabela 3 - Metais pesados presentes no lodo de esgoto.....	36
Tabela 4 - Concentrações típicas de microrganismos patogênicos em esgotos sanitários.	39
Tabela 5 - Concentrações de organismos patogênicos e indicadores em lodos de esgotos.....	42
Tabela 6 - Temperatura e tempo de exposição para destruição de organismos.....	44
Tabela 7 - Qualidade microbiológica dos biossólidos.	47
Tabela 8 - Classificação de lodo em relação a presença de patógenos.	51
Tabela 9 - Identificação dos lotes monitorados no ano de 2014 com datas de formação dos lotes e datas das coletas para análise laboratorial.	63
Tabela 10 - Parâmetros físicos e químicos analisados	65
Tabela 11 - Metais pesados monitorados.	65
Tabela 12 - Parâmetros biológicos analisados.....	67
Tabela 13 – Valores médios das formas nitrogenadas na torta de lodo	84
Tabela 14 – Valores da CTC diagnosticados no lodo gerado na ETEJ.	89
Tabela 15 - Concentrações de metais pesados presentes na torta de lodo e nos biossólidos e limites estabelecidos pelas legislações vigentes.	91
Tabela 16 - Resultados do monitoramento de coliformes termotolerantes, <i>Salmonella</i> sp. e ovos viáveis de helmintos no lodo bruto e durante o processo de compostagem.	101
Tabela 17 - Eficiência de remoção de ovos viáveis de helmintos em percentual e unidades logarítmicas 1 a 9.....	103

INTRODUÇÃO

As concessionárias responsáveis pela gestão dos serviços de saneamento ambiental têm como um dos seus princípios a universalização dos serviços de saneamento que, por meio da Lei Federal nº 11.445 de 2007, é conceituada como a ampliação progressiva do acesso a todos os domicílios ocupados ao saneamento básico. Segundo essa mesma lei, essa proposta de universalização no que se refere ao esgotamento sanitário compreende as atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente (BRASIL, 2007).

Ao longo dos últimos anos, observa-se um esforço por parte das lideranças políticas em aumentar a cobertura desse serviço em todo país. Recursos provenientes do orçamento geral da união por meio de ações e programas como Saneamento Para Todos, PAC – Programa de Aceleração do Crescimento, bem como, linhas de crédito através de financiamentos - FGTS – são disponibilizados para captação pelos municípios para serem empregados na elaboração de projetos e execução das obras dos sistemas de tratamento de esgotos.

A oferta de serviços que compreendem o sistema de tratamento de esgoto é imprescindível para a melhora da qualidade de vida da população, haja vista que sua ausência implica em poluição dos recursos hídricos, acarretando em prejuízos à saúde humana. Contudo, a cobertura média nacional de tratamento de esgotos gerados cresceu apenas 1,2 % nos municípios brasileiros, cujos prestadores de serviços são participantes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, entre os anos de 2011 e 2012, passando de 37,5% para 38,7% (SNIS, 2014).

Dessa forma, espera-se o aumento do índice de coleta e tratamento dos esgotos sanitários, resultando em outra preocupação crescente: o tratamento e a disposição final do lodo de esgoto.

Os processos de tratamento de esgoto geram em suas diversas etapas lodos com características e volumes variáveis, sendo que, quanto melhor for a eficiência do sistema de tratamento e a qualidade do efluente, maior será a produção de lodo.

Von Sperling e Andreoli (2001) advertem que a utilização dos bio sólidos para fins agrícolas é promissora, particularmente em países de clima tropical como o Brasil, onde os solos são pobres em matéria orgânica e nutrientes em decorrência da ação das intempéries.

Além de viabilizar a reciclagem de nutrientes, a aplicação de bio sólido na agricultura disponibiliza matéria orgânica, determinante na formação e estabilização de agregados do solo, atuando como condicionador de solo. Todavia, por serem originados do tratamento de esgotos sanitários apresentam em sua composição elementos com potencial nocivo, com destaque aos microrganismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos) e metais pesados. Neste sentido, para certificar que o uso seja seguro e coerente, não colocando em risco à saúde humana e o ambiente, o lodo deve ser submetido a processos de tratamentos prévios que reduzam ou eliminem tais características (MAGALHÃES, 2012).

Em nosso país, o controle da utilização agrícola de bio sólidos é regulamentado pela Resolução CONAMA 375/2006, a qual estipula duas classes de lodo de acordo com suas características microbiológicas, mais especificamente com relação aos microrganismos patogênicos. Determina, ainda suas respectivas restrições de uso, bem como técnicas capazes de produzir bio sólidos compatível com cada classe (BRASIL, 2006a).

Neste contexto, esse trabalho tem o intuito de servir como um instrumento de apoio para futuras instalações de unidades de tratamento de lodo de esgoto pelo método da compostagem termofílica à medida que avalia e esclarece o emprego da compostagem em grande escala, como prática de higienização e produção de bio sólidos com potencial de aplicação na agricultura.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar o tratamento de lodo de esgoto através do processo de compostagem termofílica em leiras aeradas por revolvimento como processo de higienização e de produção de biossólido sob a perspectiva do uso agrícola.

Objetivos específicos

- ✓ Avaliar o processo de compostagem empregado para o tratamento do lodo gerado na estação Jundiaí – Jundiaí-SP;
- ✓ Caracterizar o produto final a partir das possíveis fontes de suprimento de carbono utilizadas no processo de compostagem;
- ✓ Avaliar a qualidade do biossólido gerado e as possibilidades do uso do mesmo na agricultura, face aos requisitos da Resolução CONAMA 375/2006, bem como das instruções normativas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA.

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Tratamento de esgotos sanitários

O lançamento de esgoto *in natura* nos corpos receptores pode causar problemas de ordem ambiental e de saúde humana pela disseminação de doenças. Neste sentido, o tratamento prévio dos esgotos tem por finalidade conferir ao esgoto características físico-químicas e microbiológicas compatíveis com os requisitos das legislações específicas que atentam sobre o padrão de qualidade do efluente a ser lançado nos corpos hídricos, bem como o enquadramento do corpo receptor em função dos usos preponderantes das suas águas.

O tratamento de esgotos abrange processos físicos, químicos e biológicos que interagem entre si, ou seja, dificuldades encontradas nas etapas iniciais acarretarão em prejuízos nas fases subsequentes.

Segundo Von Sperling (2005), o tratamento de esgotos é, usualmente, dividido nos seguintes níveis: tratamento preliminar, primário, secundário (biodegradação aeróbia ou anaeróbia) e terciário.

Conforme Andreoli *et al.* (2001a), a etapa preliminar acontece na chegada do afluente à Estações de Tratamento de Esgoto - ETE, que ao passar por grades e caixas de areia têm seus sólidos grosseiros removidos por mecanismos físicos. Neste instante, apenas os sólidos finos ou dissolvidos estão contidos na fase líquida do esgoto. Após passar pelas unidades preliminares, o esgoto segue para o tratamento primário, onde ocorre a remoção de sólidos sedimentáveis e, conseqüentemente, parte da matéria orgânica em unidades de sedimentação pela ação da gravidade. Depois do tratamento primário, predominam nas estações mecanismos biológicos que objetivam principalmente a remoção da matéria orgânica. A degradação do material orgânico por reações bioquímicas realizadas por microrganismos é a essência do tratamento secundário. Para Von Sperling (2005), o tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos (compostos tóxicos ou não

biodegradáveis) ou ainda, a remoção de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário.

1.2. Processos biológicos de tratamento de esgotos

A etapa biológica dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários reproduz, de forma otimizada, os fenômenos de biodegradação que já sucedem na natureza, onde uma massa de microrganismos é responsável pela remoção da matéria orgânica e, eventualmente, nutrientes. Esse consórcio microbiano responsável pela redução do potencial poluidor do esgoto sanitário é formado por bactérias, protozoários, fungos e outros.

O fundamento de todo o processo biológico está no contato efetivo existente entre a massa de microrganismos e o material orgânico presente nos esgotos, de tal forma que esse possa ser utilizado como alimento pelos primeiros. Os microrganismos convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular (crescimento e reprodução dos microrganismos). Em condições de anaerobiose observa-se também a produção de metano (VON SPERLING, 2005).

Conforme Van Haandel e Alem Sobrinho (2006) o tratamento biológico é possível graças a dois processos essenciais que integram o metabolismo dos microrganismos:

- Anabolismo ou assimilação: onde as bactérias utilizam a matéria orgânica contida no esgoto, transformando-a em massa celular de forma não espontânea, isto é, com gasto de energia. Em outras palavras, é a síntese de moléculas complexas a partir de moléculas simples.
- Catabolismo ou dissimilação: no qual as bactérias transformam material orgânico em produtos estabilizados durante a degradação com liberação de energia, que pode ser canalizada para processos vitais, incluindo movimento, transporte e síntese de moléculas complexas.

No que se refere ao catabolismo, observa-se dois processos completamente distintos: o processo oxidativo e o fermentativo.

No primeiro, microrganismos aeróbios oxidam o material orgânico em substâncias estáveis, sendo o dióxido de carbono e água os mais importantes. Para tanto, lançam mão de oxidantes extracelulares presentes no sistema de tratamento como oxigênio, nitrato e sulfato (VAN HAANDEL e ALEM SOBRINHO, 2006).

Os mesmos autores, ainda, interpretam que a transferência de elétrons nos processos fermentativos ocorre de maneira intramolecular, ao passo que nos processos oxidativos de forma intermolecular. Deste modo, o composto se decompõe em duas moléculas diferentes, sendo uma oxidada e outra reduzida.

Dentre os processos fermentativos, o de maior valor sanitário e ambiental é a digestão anaeróbia, que resulta também na formação de metano.

A degradação do material orgânico por ação dos microrganismos requer, impreterivelmente, a manutenção de condições ambientais favoráveis, como temperatura, pH, tempo de contato, oxigênio, condições anaeróbias, etc. Alterações significativas em alguns desses parâmetros podem reduzir ou até mesmo interromper a atividade biológica dos microrganismos responsáveis pela estabilização dos compostos orgânicos.

1.3. O tratamento de esgotos e a geração de lodo

A geração de lodo de esgotos vem crescendo em todo o mundo como resultado do crescimento populacional, em especial nos grandes centros urbanos, de investimentos em infraestrutura com incremento dos sistemas de esgotamento sanitário, da maior preocupação ambiental e das exigências cada vez mais restritivas no que tange à qualidade final do efluente tratado.

Embora representem apenas de 1% a 2% do volume do esgoto tratado, Von Sperling e Andreoli (2001) ressaltam que, o gerenciamento do lodo é bastante complexo e responde por 20% a 60% do custo total gasto na operação de uma ETE.

Nebra (2007) e Leblanc *et al.* (2008) informam que nos Estados Unidos a produção de lodo em cerca de 16.600 ETEs era de 7.180 milhões de toneladas (peso seco) no ano de 2004. Na Europa, a previsão de produção de lodo para o ano de 2005 era estimada em 8-10 milhões de toneladas (peso seco) por ano (IRANPOUR *et al.*, 2004; FYTILI e ZABANIOTOU, 2008).

No Brasil, a produção de lodo está estimada entre 150 mil e 220 mil toneladas de matéria seca por ano. Contudo há um potencial de ocorrer um incremento substancial na quantidade de lodo a ser disposto nos próximos anos, uma vez que, os índices de coleta e tratamento de esgotos existentes no país são baixos e é natural uma maior pressão da sociedade por melhores condições ambientais (ANDREOLI e TEXEIRA PINTO, 2001). Em estudo conduzido entre 2000 e 2001, baseado em dados de 275 ETEs, representando 17 estados brasileiros e o Distrito Federal, a produção estimada de lodo (peso seco) foi de 151.724 ton/ano (MACHADO, 2001). Na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP (1998), a produção diária das cinco maiores ETEs, Suzano, São Miguel, Parque Novo Mundo, ABC e Barueri, estava prevista para 540 ton/dia (peso seco) para o ano de 2005 (MIKI *et al.*, 2002).

Durante o processo de tratamento de esgoto ocorre a geração de lodo em diversas unidades constituintes do sistema de tratamento. Von Sperling (2005) lista os seguintes subprodutos sólidos produzidos ao longo da estação: material gradeado, areia, espuma, lodo primário, lodo secundário e lodo químico, quando houver etapa físico química.

A produção de lodo é função básica do sistema de tratamento de esgoto adotado para a fase líquida. O lodo primário só é gerado em estações de tratamento de esgoto que possuam uma etapa de tratamento primário, responsável pela remoção de sólidos sedimentáveis do esgoto bruto. Lodos secundários ou biológicos são originados na etapa biológica do sistema. Esse lodo é formado pela própria biomassa que cresceu às custas do alimento fornecido pelo esgoto.

1.4. Caracterização do lodo de esgotos

A composição do esgoto depende da situação social, econômica e dos hábitos da população que fez uso da água, da época do ano, do processo de tratamento de esgoto adotado, e varia de acordo com o local de origem, ou seja, se é proveniente de uma área tipicamente residencial ou industrial.

Do mesmo modo, a característica do lodo de esgoto é muito dinâmica, pois depende especialmente da origem do esgoto, do processo de tratamento utilizado e das épocas do ano. Geralmente um lodo de esgoto apresenta em torno de 40 % de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo, demais macro e micronutrientes, além de outros constituintes potencialmente tóxicos (BETTIOL & CAMARGO, 2006).

Por ser rico em macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio) e em matéria orgânica o lodo de esgoto apresenta ótimas perspectivas de uso no solo para fins agrícolas. Todavia, a presença de material putrescível, microrganismos patogênicos e poluentes orgânicos variados inviabiliza a disposição do lodo cru (DIAS, 2012; MAGALHÃES, 2012).

Para superar esse aspecto indesejado, o lodo de esgoto deve ser submetido a uma série de tratamentos conforme a disposição final pretendida.

Na Tabela 1, pode ser verificada a variabilidade da composição de lodos gerados em 5 ETEs.

Tabela 1 – Caracterização do lodo de 5 ETEs.

Atributo	Unid. ⁽²⁾	ETE Barueri	ETE Franca	ETE Curitiba	ETE Paranavaí	ETE Jundiaí
Umidade	%	71,2	82,7	-	-	76,2
Sólidos Voláteis	%	56,8	72,5	-	-	69,0
pH	-	6,4	5,4	5,9	6,1	5,5
Carbono orgânico	g/kg	293	382	321	201	226
Nitrogênio total	g/kg	42,1	68,2	49,1	22,2	21,2
Fósforo	g/kg	26,9	12,9	3,7	0,95	4,5
Potássio	g/kg	1,0	1,0	1,5	0,34	0,66
Cálcio	g/kg	47,8	24,8	15,9	8,3	6,6
Enxofre	g/kg	17,1	15,7	-	-	11,1
Sódio	g/kg	0,5	0,9	-	-	2,4
Magnésio	g/kg	4,5	2,2	6,0	3,0	1,3
Arsênio	mg/kg	<1	<1	-	-	Nd
Alumínio	mg/kg	23.283	23.317	-	-	11.465
Cádmio	mg/kg	9,4	2,05	3	-	9,2
Chumbo	mg/kg	348,9	140,5	123	60	136,4
Cobre	mg/kg	953,0	240,9	325	114	547
Cromo total	mg/kg	1297,2	1.230,3	140	53	97,5
Merúrio	mg/kg	<0,01	<0,01	1,0	1,8	Nd
Molibdênio	mg/kg	<0,01	<0,01	-	-	Nd
Níquel	mg/kg	605,8	72,4	73	37	25,3
Selênio	mg/kg	<0,01	<1	-	-	-
Zinco	mg/kg	3.372	1.198	728	530	839
Boro	mg/kg	29,3	19,7	-	-	10,1
Manganês	mg/kg	418,9	232,5	-	-	425
Ferro	mg/kg	37.990	24.176	-	-	15.728

⁽¹⁾ Determinados de acordo com EP SW-846-3051(1986) no IAC.

⁽²⁾ Os valores de concentração são dados com base no peso seco.

Fonte: Bettiol e Camargo (2006).

Nota-se que o lodo produzido no Brasil é constituído em sua maior parte por matéria orgânica, expressa na forma de sólidos voláteis, além de nutrientes de interesse agrônômico como nitrogênio, fósforo e o potássio, em menor quantidade. Além disso, observa-se a presença de metais pesados, sendo o zinco, cobre, chumbo, níquel e o cromo os mais expressivos.

1.5. Terminologia lodo de esgoto versus bioossólidos

O termo lodo tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos (VON SPERLING e ANDREOLI, 2001). De acordo com Miki *et al.*, (2002), lodo é o resíduo sólido gerado nos sistemas de tratamento de esgotos, o qual é removido da fase líquida e que necessita de tratamento e de disposição final. Van Haandel e Alem Sobrinho (2006) definem lodo como o sólido gerado durante o processo de tratamento de esgotos, distinguindo-se, em lodo primário, o material gerado no tratamento primário e lodo secundário, o resíduo produzido nos sistemas biológicos de tratamento. Assim, fica nítido que o termo “lodo” deve ser empregado para lodo bruto, primário ou secundário, que não foi submetido a nenhum tipo de tratamento.

O termo “bioossólidos” foi introduzido na área do saneamento pela indústria de tratamento de águas residuárias no início de 1990 para designar o lodo de esgoto que foi suficientemente processado a fim de permitir, de forma segura, sua reciclagem (WANG *et al.*, 2008). O emprego deste termo objetiva destacar o potencial uso benéfico, valorizando a utilização produtiva por meio do aproveitamento da matéria orgânica, nutrientes, umidade e outras qualidades que os bioossólidos possam conter, ao invés de ser tratado apenas como um resíduo a ser disposto por meio de incineração ou em aterro sanitário (NEBRA, 2007).

O termo é reconhecido em diversos dicionários, tais como: New Oxford American Dictionary (2010) e The American Heritage Dictionary (2011):

New Oxford American Dictionary, 3 ed. (2010) – “bioossólidos: matéria orgânica reciclada de esgoto, especialmente para uso agrícola.”

The American Heritage Dictionary of the English Language, 5 ed. (2011) - “bioossólidos: material sólido ou semissólido obtido do tratamento de esgotos, frequentemente utilizado como fertilizante.”

1.6. Tratamento do lodo e produção de bioossólidos

Historicamente, os projetos das ETEs não contemplavam a etapa de gerenciamento dos lodos gerados pelo processo de tratamento de esgotos. Os projetistas dispensavam toda a sua atenção somente ao destino final do efluente tratado. Assim, quando as estações entravam em operação, os seus responsáveis não tinham ideia do que fazer com o lodo gerado.

Por sua vez, nos dias de hoje é inconcebível a elaboração de um projeto sem considerar o tratamento da fase sólida. Além disso, a implementação da gestão ambiental das ETEs sob a ótica da ISO 14.000 preconiza a minimização como primeiro passo do equacionamento do problema (ANDREOLI *et al.*, 2001a).

1.6.1. Etapas do tratamento do lodo

Nos tópicos a seguir, serão descritas, de forma sucinta, as principais etapas do processo de tratamento de lodo: adensamento, estabilização, condicionamento, desaguamento e higienização. Revisão mais bem detalhada será reservada para o tema central deste trabalho: compostagem de lodo de esgoto.

1.6.1.1. Adensamento

O adensamento ou espessamento do lodo consiste na concentração dos sólidos por processos físicos para redução da sua umidade. Como resultado, tem-se a redução do volume o que facilitará as etapas seguintes do tratamento do lodo. As alternativas de adensamento incluem o adensamento por gravidade e por flotação.

O adensamento por gravidade se assemelha a um decantador primário, onde o lodo sedimenta e adensa no fundo, sendo removido por raspadores e encaminhado para a etapa seguinte: estabilização. O líquido sobrenadante retorna ao início do tratamento primário (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

De acordo com mesmos autores, o adensamento por flotação é mais eficiente quando o lodo é proveniente de lodo secundário ou de lodo ativado (parte

excedente). A separação da fase sólida da fase líquida é obtida pela introdução de bolhas de ar finamente divididas, que aderem às partículas sólidas, fazendo com que sua densidade seja diminuída e as mesmas sejam arrastadas para a superfície, para posterior remoção por raspadores superficiais.

1.6.1.2. Estabilização

O lodo bruto é rico em microrganismos patogênicos e matéria orgânica facilmente putrescível. Neste sentido, o processo de estabilização do lodo bruto tem como principais objetivos: (i) reduzir a quantidade de patógenos, (ii) eliminar maus odores e (iii) inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação (MIKI *et al.*, 2002).

Os meios utilizados para atingir a estabilização passam pela redução biológica dos sólidos voláteis, oxidação química da matéria orgânica, adição de produtos químicos no lodo e aplicação de calor para higienizar ou desinfetar o lodo.

As tecnologias mais empregadas para efetuação da estabilização são estabilização por cal, digestão anaeróbia, digestão aeróbia e compostagem precedida de desidratação.

1.6.1.2.1. Caleação

O processo de caleação consiste na adição de um composto químico básico ao lodo, geralmente cal virgem ou cal hidratada, em quantidade suficiente para elevar o pH para valores igual ou acima de 12, de forma a criar um meio sem condições de sobrevivência aos microrganismos, não ocorrendo putrefação do lodo, geração de maus odores e riscos à saúde e ao ambiente. Conforme Miki *et al.* (2002), a cal virgem (CaCO_3) é produto mais utilizado devido sua reação exotérmica com a água, ocasionando elevação da temperatura acima de 50 °C.

A combinação de altos valores de pH e temperatura é a responsável pela inativação ou destruição dos microrganismos, incluindo os patogênicos (ANDREOLI *et al.* 2003)

1.6.1.2.2. Digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em quatro fases principais: (i) hidrólise, realizada por bactérias fermentativas; (ii) acidogênese, realizada por bactérias fermentativas acidogênicas; (iii) acetogênese, conduzida por bactérias acetogênicas ou produtoras de hidrogênio; e (iv) metanogênese, desenvolvida por bactérias metanogênicas (VAN HAANDEL e LETTING, 1994; CHERNICHARO, 2007).

A hidrólise consiste na conversão de material orgânico particulado complexo (polímeros) em compostos dissolvidos de menor peso molecular (monômeros) por meio da ação das exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Os produtos solúveis da primeira etapa são assimilados e metabolizados pelas bactérias acidogênicas, excretando-os na forma de substâncias orgânicas simples como ácidos orgânicos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, etc. Em seguida, tem-se a etapa acetogênese, onde ocorre a oxidação dos produtos da fase acidogênese em compostos que formam os seguintes produtos: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Os compostos gerados são utilizados como substratos na etapa seguinte, metanogênese, para formação do metano, seja pelas bactérias acetotróficas a partir da redução do ácido acético, seja pelas bactérias hidrogenotróficas que o fazem pela redução do dióxido de carbono.

Normalmente a digestão anaeróbia é adotada para estabilização do lodo devido a seu baixo custo operacional, bem como ao potencial energético gerado notado pela presença do metano como produto final.

O processo de digestão anaeróbio é limitado principalmente pelas bactérias metanogênicas em decorrência da sua baixa taxa de crescimento e de utilização dos ácidos orgânicos gerados nas fases anteriores.

1.6.1.2.3. Digestão aeróbia

É um processo de oxidação bioquímica dos sólidos orgânicos biodegradáveis presentes no lodo, na presença de oxigênio dissolvido, com formação de

material estabilizado (lodo digerido), dióxido de carbono e água. A concentração do lodo e o volume de oxigênio fornecido são fundamentais para assegurar o bom desempenho do digestor aeróbio.

Segundo a United States Environmental Protection Agency - USEPA (1999) a digestão aeróbia ocorre em reatores abertos ou fechados ou em lagoas, e promove a redução de patógenos e odor.

A eficiência da digestão aeróbia é no mínimo igual à registrada pela digestão anaeróbia, quando se fala em redução dos resíduos sólidos voláteis contidos no lodo de esgoto (FERREIRA e ANDREOLI, 1999a). Outras vantagens dessa tipologia citada pelos autores são: menor custo de implantação; redução de material graxo, odores e organismos patogênicos.

Como desvantagem, citam o alto custo operacional e o não aproveitamento de biogás.

1.6.1.3. Condicionamento do lodo

Condicionamento é um processo que melhora as características de separação das fases líquidas e sólidas do lodo.

O condicionamento age através da desestabilização das forças químicas atuantes nas partículas por meio da diminuição das forças de repulsão existentes entre elas, favorecendo a agregação das partículas com formação de flocos.

O processo de formação de flocos beneficia as etapas posteriores do tratamento, referentes ao desaguamento e higienização do lodo. Por isso, a seleção de um determinado processo deve se basear em critérios de custos, operação e manutenção do sistema como um todo. Além disso, os custos relativos ao impacto da recirculação do drenado (fase líquida) nas outras etapas que compõem a planta, na qualidade do efluente tratado e nas emissões atmosféricas devem ser integrados à análise (GONÇALVES *et al.*, 2001a).

Os principais coagulantes utilizados são os sais metálicos (sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso), a cal (virgem ou hidratada) e os polímeros orgânicos (polieletrólitos) aniônico ou catiônico.

1.6.1.4. Desaguamento

Miki *et al.* (2002) descrevem o desaguamento como uma operação unitária física que promove a redução do volume de lodo pela diminuição do seu teor de água.

De acordo com Metcalf & Eddy (2003), os motivos que justificam a adoção do processo de desaguamento são:

- Redução do custo de transporte para o local de disposição final;
- Melhoria nas condições de manejo do lodo desaguado, ante o lodo apenas adensado ou líquido;
- Aumento do poder calorífico através da redução da umidade viabilizando o processo de incineração;
- Redução de volume para disposição em aterro ou qualquer outro uso benéfico que se pretenda;
- Menor produção de chorume caso sua disposição seja em aterro sanitário.

Os processos de desaguamento podem ser divididos em métodos naturais e mecânicos.

Os processos naturais mais comuns são os leitos de secagem e lagoas de lodo. Por sua vez, os métodos mecânicos mais utilizados são as centrífugas, filtros prensa de esteira e de placas e filtros a vácuo, dentre outros.

1.6.1.5. Higienização

Conforme Pinto (2001), o objetivo primordial da higienização dos lodos de esgoto é assegurar um baixo nível da presença de microrganismos patogênicos no bio sólido que, ao ser disposto no solo para fins agrícolas, não

venha causar riscos à saúde da população exposta, saúde ocupacional dos trabalhadores que manuseiam o lodo e consumidores que se alimentam de produtos cultivados com biofóssido, e impactos negativos ao meio ambiente.

Já foi evidenciado que a composição do lodo de esgoto é fortemente influenciada pelas características originais do esgoto sanitário e que por esse motivo, o uso benéfico do lodo, em diversas situações, demanda planejamento e tratamento adequado do lodo para atendimento de leis específicas acerca do assunto.

Neste sentido, entende-se que o esgoto sanitário confere ao lodo características indesejáveis do ponto de vista microbiológico, pois há concentração de grande parte dos microrganismos no lodo cru provenientes do material fecal que está presente no esgoto, podendo constituir em riscos à saúde humana e significativa ameaça ao meio ambiente. Dentre os microrganismos do lodo são encontrados vírus, fungos, bactérias, cistos de protozoários e ovos de helmintos, muitos deles patogênicos, representando risco à saúde humana e animal (ANDREOLI *et al.*, 2001b).

A reciclagem do biofóssido na agricultura é uma das mais promissoras alternativas ambientais de disposição final deste material e a presença dos patógenos supracitados limita o seu uso benéfico. Entretanto, o emprego de técnicas de higienização para controle e eliminação deste fator indesejável é uma opção notoriamente reconhecida no mundo para viabilizar essa prática.

Os processos de higienização envolvem uma série de ações físicas, químicas e microbiológicas visando a eliminação dos patógenos, com destaque para as seguintes técnicas: compostagem, digestão aeróbia autotérmica, caleação ou estabilização alcalina, pasteurização e secagem térmica.

Por se tratar do assunto de interesse do presente estudo, a compostagem será tratada em item específico.

1.7 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 (FERNANDES e SILVA, 2000).

A higienização ou eliminação dos microrganismos patogênicos presentes no lodo está diretamente ligada à elevação da temperatura durante a oxidação e o tempo de exposição.

Como resultado do processo, observa-se a produção de um composto estabilizado, isento de microrganismos patogênicos, de odor não agressivo e aspecto agradável, rico em matéria orgânica humificada com grande aptidão agrônômica, fornecendo nutrientes e minerais às plantas e atuando como condicionador de solo (TORRES DE CARVALHO, 2002).

Andreoli *et al.* (2001a) expõem que a compostagem de lodo de esgoto rico em nitrogênio, fósforo, nutrientes e umidade é interessante, pois abre a possibilidade do processamento integrado dos resíduos sólidos urbanos, tais como podas de árvores, capinas de parques e jardins, serragem de madeira, cascas de eucalipto, restos de hortaliças, sobras de restaurantes, pois participam conjuntamente do processo como fonte de carbono e material estruturante.

Segundo Metcalf & Edy (2003), a compostagem apresenta uma boa relação de custo benefício e do ponto de vista de segurança ambiental. Regulamentações cada vez mais restritivas no tocante à poluição do ar no caso da adoção de incineração e à disposição de biossólidos, somadas à escassez de áreas para implantação de aterros sanitários tem acelerado o desenvolvimento do processo de compostagem como uma opção de gestão dos lodos gerados nas ETEs.

1.7.1. Etapas da compostagem

A decomposição ou estabilização da matéria orgânica na compostagem é desenvolvida por uma população diversificada de microrganismos, com destaque para as bactérias, os fungos e os actinomicetos, que se sucedem ao longo do processo (PEREIRA NETO, 2007).

Segundo Fernandes e Silva (2000), o início do processo é marcado pela fase de rápido crescimento dos microrganismos mesófilos e pelo aumento gradativo da temperatura, resultante do processo de biodegradação.

Assim que a temperatura sobe acima de 45° C, a atividade biológica dos microrganismos mesófilos diminui, sendo substituídos pela ação dos microrganismos termófilos, extremamente ativos provocando intensa e rápida degradação da matéria, liberando ainda mais calor e, conseqüente, elevação da temperatura, propiciando a inativação dos microrganismos patogênicos presentes no lodo.

À medida que a matéria orgânica de mais fácil biodegradação se esgota, a temperatura no interior da massa de compostagem começa a declinar e a ação dos microrganismos termófilos torna-se limitada, permitindo que os mesófilos se instalem novamente, porém com atividade mais moderada (PINTO, 2001).

Neste momento, inicia-se a fase de humificação ou maturação, que é a fase onde há continuidade da degradação da matéria orgânica, redução dos microrganismos patogênicos remanescentes e, principalmente, a humificação do material resultando na formação de um bioestabilizado com aptidão agrícola (PEREIRA NETO, 2007).

Kiehl (2012) aponta que na fase inicial do processo de degradação da matéria orgânica, o composto apresenta caráter fitotóxico, devido à formação de diversos ácidos, principalmente ácido acético, com forte poder inibidor sobre a germinação das sementes e o crescimento das raízes. Menciona, ainda que, somente ao completar todo o ciclo de biodegradação rápida, a qual o autor chama de bioestabilização, é que o composto deixa de ser danoso às plantas. Contudo, ainda não apresenta as características e propriedades físico químicas

e biológicas desejadas para aplicação no solo, as quais só serão atingidas ao final da maturação.

Essas duas fases observadas na Figura 1 são totalmente distintas. Na primeira etapa de biodegradação ativa, também chamada de bioestabilização ou decomposição ativa, há intensa atividade dos microrganismos que decompõem a matéria orgânica e, portanto, há grande consumo de oxigênio. Elevação da temperatura e alterações na aparência, cor e odor, são percebidas na massa em compostagem. Ainda assim, o composto não está pronto para ser utilizado. Por outro lado, na fase seguinte, maturação, nota-se uma diminuição da atividade microbiológica, reduzindo os requisitos de aeração. A etapa ocorre em temperatura ambiente e com predominância de transformações de ordem química, ou seja, polimerização de moléculas orgânicas estáveis no processo conhecido como humificação.

O processo de compostagem é considerado completo quando o produto pode ser armazenado sem dar origem a inconvenientes tais como odor e atração de vetores e quando ocorrer a redução dos organismos patogênicos a um nível tal que o material possa ser manuseado com risco mínimo (SHAMMAS e WANG, 2007).

Figura 1 - Comportamento da temperatura no processo de compostagem.

Fonte: Fernandes e Silva (2000).

Como ocorre uma redução do volume do material compostado durante a etapa da biodegradação, a área necessária para a fase de maturação é menor.

O material humificado (húmus) produzido lentamente ao longo do processo de decomposição da matéria orgânica é formado essencialmente de ligninas, proteínas, ceras, carboidratos e resinas, constituindo um material tipicamente de coloração escura. Formado de partículas pequenas e de estrutura amorfa, apresenta baixa plasticidade (difícil de moldar), coesão (esboroa com facilidade) e baixa adesão (adere pouco nas mãos) (LEPSCH, 2011). Além disso, o composto torna-se mais escuro e perde o forte cheiro inicial para recender ao de terra mofada (KIEHL, 2012).

Conforme Forgerini (2012), as substâncias húmicas podem ser separadas em 3 grandes grupos, de acordo com a sua solubilidade em água: (i) huminas, (II) ácidos húmicos e (iii) ácidos fúlvicos.

São de alta importância ambiental. Esta importância pode ser atribuída a algumas características dessas substâncias, tais como: alta capacidade de troca de cátions (CTC), alta capacidade de retenção de água, além da disponibilização de nutrientes essenciais às plantas pela decomposição da matéria orgânica (LEPSCH, 2011).

1.7.2. Métodos de compostagem

O processo de compostagem pode ser conduzido de diversas maneiras, desde as formas mais simples, representadas por sistemas manuais, até sistemas mais complexos que abrangem o processamento de grandes quantidades de resíduos. Serão apresentados a seguir, os tipos básicos principais utilizados para o processo de compostagem de lodo de esgoto:

1.7.2.1. Leiras revolvidas (windrow)

Neste sistema, a mistura de resíduos é disposta em leiras com uma base que pode variar de 4,0 a 4,5 metros e altura de 1,5 a 1,8 metros, sendo o comprimento determinado pelas dimensões do terreno. A aeração se dá de

forma natural pelos processos de difusão e convecção e pelos revolvimentos realizados periodicamente por pá carregadeira ou tratores específicos. O processo ocorre ao ar livre deixando o sistema exposto às intempéries, em especial à chuva, podendo dificultar a operação e afetar a qualidade do produto final (TORRES DE CARVALHO, 2002).

Apresentam simplicidade e flexibilidade operacional e baixo custo de investimento inicial. Requisitos de áreas, necessidade de incorporação de agente estruturante e desprendimento de odores quando do revolvimento, são limitações desse método.

1.7.2.2. Leiras aeradas estáticas (Static pile)

Neste método, as leiras são preparadas sobre uma rede tubular perfurada através da qual ocorre o fornecimento de ar por aspiração ou insuflação. Segundo Andreoli *et al.* (2001a), quando o ar é aspirado ocorre menor formação de caminhos preferenciais de aeração tornando a degradação mais uniforme e em menor tempo.

Recomenda-se a adoção de sistema de coleta e tratamento dos gases que atravessaram a leira para que não haja disseminação de maus odores, principalmente quando é feita a compostagem de lodos não digeridos.

Por apresentar menor necessidade de área, torna-se viável a execução do processo em áreas cobertas, diminuindo os problemas relacionados ao clima.

De acordo com Torres de Carvalho (2002), esse método permite operar a compostagem em altas temperaturas, em torno de 80-85°C, a partir de uma população microbiana selecionada que mantém sua atividade mesmo em temperaturas elevadas. Como vantagem, cita a formação de um composto com baixa umidade e total eliminação de patógenos.

1.7.2.3. Reatores biológicos (In vessel)

Os reatores utilizados para a condução da compostagem são sistemas fechados com boa eficiência porque permitem o controle de todos os parâmetros relacionados ao processo. Com isso, a biodegradação é otimizada reduzindo o tempo de duração e o requisito de área com aumento da segurança sanitária do composto gerado (ANDREOLI *et al.* 2001a)

Custos elevados e dificuldade de construção e manutenção de reatores para grandes volumes limitam seu uso em pequenas estações de tratamento.

1.7.2.4. Pilha Estática Aerada (ASP)

Torres de Carvalho (2002) apresenta esse quarto método de compostagem desenvolvido pelos técnicos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos que consiste em grandes pilhas nas quais o lodo é misturado com agente estruturante sobre tubos perfurados, que aspiram ar para o interior da massa, dispensando o seu revolvimento. Além de controlar o odor pelo uso de biofiltros na saída dos tubos, a cobertura da pilha com composto maturado colabora com a retenção e impedimento da saída do mau cheiro e a protege contra as chuvas, haja vista que o processo ocorre em céu aberto.

1.7.3. Parâmetros de controle do processo

Por se tratar de um processo biológico, a compostagem é influenciada por diversos fatores que afetam a atividade microbológica, entre os quais destaca-se: aeração, temperatura, umidade, relação C/N, tamanho da partícula e pH.

1.7.3.1. Aeração

O fornecimento de oxigênio é fundamental para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica durante o processo de compostagem.

A atividade de aeração da massa de compostagem pode ocorrer de forma natural (reviramentos) ou por aeração forçada (insuflação ou aspiração de ar). Além de criar uma condição de aerobiose na massa de compostagem por meio da provisão de oxigênio, a aeração contribui para o aumento da velocidade de oxidação do material orgânico, para a diminuição da emissão de odores e atua como agente de controle de temperatura.

Aeração em excesso pode resfriar e ressecar o material em compostagem, diminuindo a atividade microbiana e impedindo a higienização do lodo, ou seja, a destruição dos microrganismos patogênicos (TORRES DE CARVALHO, 2002).

1.7.3.2. Temperatura

Segundo Pereira Neto (2007), a temperatura constitui um dos indicadores mais seguros da eficiência do processo de compostagem demonstrando o equilíbrio biológico do sistema.

Inicialmente, registra-se temperatura ambiente no material em compostagem com predomínio de microrganismos mesófilos que atuam na faixa de 25° a 45°C. À medida que ocorre a decomposição da fração leve da matéria orgânica há liberação de calor pelas reações exotérmicas, elevando a temperatura para valores entre 45° e 65°C, no período de 2 ou 3 dias, quando prevalecem os microrganismos termófilos. Caso esse comportamento não seja notado, alguma condição ambiental (aeração, umidade, relação C/N, pH, etc) não está adequada. Essa é a faixa de temperatura de máxima atividade microbiológica e onde ocorre eliminação dos patógenos, devendo ser mantida em toda a etapa de estabilização da matéria orgânica, sofrendo decréscimo somente no final desta etapa, o que caracteriza o início da maturação.

Temperaturas acima de 65°C devem ser evitadas por causarem a redução da atividade dos microrganismos tornando o ciclo da compostagem mais longo. Este controle de temperatura pode ser feito por revolvimentos em leiras do tipo windrow ou aeração forçada em leiras estáticas aeradas.

1.7.3.3. Umidade

A presença de água é essencial para os microrganismos. Por este motivo, este parâmetro é outro fator muito delicado no processo de compostagem devendo ser monitorado durante todo o ciclo para evitar problemas operacionais.

De acordo com Kiehl (2012), a umidade deve estar sempre dentro da faixa de 40% a 60%, sendo o valor ótimo 55%. Teores de umidade abaixo de 40% restringem a atividade microbiológica de degradação dos resíduos orgânicos, enquanto valores acima de 60% inibem a livre passagem do ar pelos espaços vazios da massa, criando zonas de anaerobiose (SHAMMAS e WANG, 2007).

Pereira Neto (2007) acrescenta que a anaerobiose provocada pelo excesso de umidade gera gases fétidos, atrai vetores e produz líquidos lixiviados, comprometendo o local sob o aspecto sanitário.

O excesso de umidade de um material em compostagem pode ser controlado por revolvimentos frequentes, aeração forçada ou pela introdução de matérias primas com baixo teor de umidade, por exemplo, resíduos vegetais secos (folhas, gramas, lascas e cascas de madeiras). Por outro lado, a compostagem de materiais mais pobres em umidade pode ser balanceada através da adição da própria água ou outro resíduo orgânico com elevado teor de umidade, lodo de esgoto, por exemplo.

É indicado que os lodos de esgotos sejam desidratados previamente para remoção do excesso de água.

1.7.3.4. Relação C/N

Os microrganismos atuantes na compostagem necessitam de carbono como fonte de energia e de nitrogênio para a reprodução (síntese de proteínas). Shammas e Wang (2007) afirmam que a relação C/N ideal para compostagem de lodo de esgoto deve estar na faixa de 25 a 35:1.

Nos casos em que compostagem apresenta relação C/N muito baixa, haverá perda de nitrogênio pela volatilização da amônia (NH_3) que é tóxica e pode limitar a atividade biológica. Já em processos com elevados valores de C/N, os

microrganismos não encontrarão nitrogênio suficiente para síntese de proteínas e, portanto, terão seu desenvolvimento limitado (FERNANDES e SILVA, 2000).

Ao longo do desenvolvimento da compostagem, a relação C/N vai caindo, tendendo para valores entre 10 e 20, devido às maiores perdas de carbono do que nitrogênio durante o processo.

Assim como na temperatura, o controle da relação de nutrientes também se dá pela introdução e mistura de materiais mais ricos em carbono (resíduos palhosos) ou nitrogênio (excretas de animais, lodo de esgoto).

Aconselha-se a aplicação de compostos orgânicos maturados no solo para fins agrícolas com relação C/N menor que 20. O descumprimento dessa recomendação gera riscos de ocorrer imobilização do nitrogênio do solo pelos microrganismos incorporados, podendo faltar esse nutriente para as plantas.

1.7.3.5. Tamanho da partícula

O tamanho da partícula ou granulometria também exerce grande influência no processo de compostagem. Quanto menor o tamanho da partícula, maior sua superfície de contato exposta à atividade microbológica e mais rápida a decomposição. Entretanto, a compostagem de materiais muito finos traz sérios problemas de aeração, além de encharcamento, compactação, entre outros.

Pinto (2001) relata que uma alternativa à compostagem de lodo de esgoto que, geralmente, apresenta granulometria muito fina trazendo problemas de aeração em decorrência da ausência de espaços vazios entre as partículas, é misturar ao lodo de esgoto materiais estruturantes (restos vegetais, cavacos de madeira e outros) picados em tamanhos maiores de forma a aumentar a porosidade da massa em compostagem e permitir a sua aeração.

1.7.3.6. pH

O processo de compostagem acontece numa faixa de pH situada entre 6 a 9. Valores fora desse espectro reduzem ou até mesmo inibem a atividade microbiana.

O começo do processo (fase mesofílica) é acompanhado pela queda do pH, variando de 5,5 a 6, devido à formação de ácidos orgânicos. Assim que o processo entra na fase termofílica ocorre rápida elevação do pH, resultante da hidrólise da proteínas e liberação da amônia.

Como o pH dos lodos de esgotos sanitários geralmente é próximo de 7,0, o processo de compostagem normalmente se desenvolve muito bem com este material, mesmo quando misturado com bagaço de cana, resíduos de podas de árvores, cascas do processamento de algodão e outros (FERNANDES e SILVA, 2000).

1.8. Alternativas de destinação final de lodo de esgoto

O processo de escolha dos métodos de tratamento e disposição final específicos do lodo de esgoto é complexo, pois além dos aspectos técnicos e econômicos, devem ser consideradas as questões socioambientais e legais intrínsecas ao desafio.

Com a produção de lodo de esgoto em constante crescimento, principalmente, nos países em desenvolvimento em virtude da ampliação dos serviços de coleta e tratamento de esgotos, e com a expansão urbana, ocorre uma limitação no que tange à disponibilidade de áreas livres e ao tráfego nestes grandes centros, favorecendo, desta forma, alternativas de tratamento e disposição final em áreas contíguas às ETEs.

Sampaio (2010) aponta que embora o uso do biossólido na agricultura nacional venha crescendo nos últimos anos, principalmente nos Estados do Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul e Distrito Federal, a grande maioria das ETEs em operação, ainda, envia o lodo tratado para aterro sanitário. Em estudo realizado por Machado (2001), é possível observar que 45% do lodo gerado no país são destinados para aterros sanitários, somente 5,6% são utilizados na agricultura, e os 49,5% restantes não possuem destino definido, contudo, os autores acreditam que grande parte desta parcela, também é encaminhada para aterro sanitário (Tabela 2).

Tabela 2 - Destinação final de lodo de esgoto no Brasil (2000-2001).

Destinação Final	Quantidade informada* (t/ano)	Quantidade informada (%)
Aterro sanitário	138.418	44,9
Agricultura	17.333	5,6
Indefinido	152.882	49,5
Total	308.633	100

(*) lodo úmido.

Fonte: Machado (2001).

A seguir, lista-se as alternativas de destinação final do lodo de esgotos mais utilizadas:

1.8.1. Disposição no solo

As diferentes práticas de disposição de lodo de esgoto no solo podem ser classificadas como "uso benéfico", quando a aplicação se beneficiar das propriedades do composto como condicionador do solo, e "descarte", quando os métodos utilizam o solo somente como substrato para decomposição dos resíduos ou como local de estocagem, sem tirar proveito das propriedades benéficas intrínsecas do lodo (ANDREOLI *et al.*, 2001c).

1.8.1.1. Reciclagem agrícola e florestal

A aplicação de lodo de esgoto no solo para fins agrícolas apresenta-se como uma tendência mundial, principalmente em regiões de clima tropical e subtropical, como o Brasil, que apresentam solos predominantemente intemperizados, com baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes disponíveis às plantas. Essa prática pode apresentar benefícios agronômicos, como elevação dos valores de pH, do teor de carbono orgânico, da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), aumento na disponibilidade de nutrientes, melhorias nas propriedades físicas do solo, além de representar um ganho socioambiental pela destinação final com menor impacto ao ambiente (BERTON e NOGUEIRA, 2010).

Os benefícios secundários ou relacionados da utilização do biossólido se referem à redução dos custos envolvidos, e da contribuição da emissão de gases associados ao processo de incineração, sendo também verificada uma diminuição da dependência de fertilizantes químicos (USEPA, 1993). Além disso, observam-se restrições ambientais e escassez de áreas viáveis e próximas dos grandes centros urbanos para implantação de aterros sanitários associados aos elevados custos do transporte e da disposição final, propriamente dita, do lodo de esgoto.

O biossólido é um condicionador de solo rico em matéria orgânica, macro e micronutrientes, que melhora as propriedades físico-químicas e biológicas do solo e contribui substancialmente para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os macronutrientes encontrados no lodo em grande quantidade são o nitrogênio e o fósforo. O potássio está presente em quantidades modestas, mas prontamente assimilável pelas plantas, havendo necessidade de se suplementar esse elemento ao solo por meio da adubação mineral. Os principais micronutrientes disponibilizados pelo biossólido são zinco, cobre, ferro, manganês, molibdênio, etc. (ANDREOLI *et al.*, 2001c; BETTIOL e CAMARGO, 2006). É importante ressaltar que a necessidade dos micronutrientes por parte dos solos é pequena, e que o uso de biossólidos de forma contínua pode resultar em efeitos tóxicos às plantas.

Segundo Kiehl (2010), a vantagem do uso de fertilizantes orgânicos como o biossólido ante o uso de fertilizantes minerais é que os primeiros apresentam lenta liberação dos seus nutrientes, de forma a fornecer um contínuo suprimento desses elementos às plantas. Já os elementos disponibilizados pelos adubos químicos podem ser facilmente lixiviados para áreas mais profundas das zonas das raízes, impedindo o seu uso integral pelas plantas e podendo contaminar os recursos hídricos.

No que diz respeito às propriedades físicas do solo, a matéria orgânica existente no biossólido melhora consideravelmente a estruturação do solo, pois age como agente cimentante, conferindo estabilidade aos agregados do solo.

Kiehl (2010) aponta que solos bem estruturados oferecem maior resistência à erosão, aumentando a infiltração da água, a condutividade hidráulica, a difusão do ar, o desenvolvimento e a penetração das raízes, bem como a germinação das sementes.

Ainda segundo o autor, essa mesma matéria orgânica, aumenta a retenção de água no solo, estimula a atividade microbiana do solo, e pode ainda contribuir na melhoria da CTC do solo, ou seja, elevar a capacidade de adsorver cátions existentes na solução do solo e depois cedê-los às raízes das plantas ou efetuar trocas, caso ocorra uma concentração de íons ou variação de pH.

Diante dos efeitos do uso do bio sólido nas propriedades globais do solo, Fernandes e Silva (2000) advertem para o erro comum de qualificar o composto mediante apenas ao seu teor de nutrientes. Eles trazem que muitos pesquisadores da área agrônômica dizem que “ao se usar adubo químico no solo, alimenta-se as plantas. Ao se colocar composto orgânico, alimenta-se o solo”. Nesta mesma linha, Kiehl (2010) transmite o seguinte pensamento, a “matéria orgânica aduba o solo e a planta”.

Para ser bem sucedida, a reciclagem agrícola deve, necessariamente, estar condicionada às regras que definam a qualidade do bio sólido a ser aplicado no solo, aos tratamentos específicos mínimos aos quais os resíduos devem ser submetidos e às restrições de uso, quando couber.

1.8.1.2. Landfarming

O procedimento de landfarming é uma técnica de tratamento de resíduos sólidos que consiste na mistura do resíduo a ser tratado com a camada de solo presente na zona arável, com revolvimentos periódicos.

Neste processo, uma área específica recebe elevadas doses de lodo por vários anos e o solo passa a funcionar como camada suporte para a atividade biológica que degrada o substrato orgânico do resíduo e para retenção de metais (FERREIRA e ANDREOLI, 1999b; TSUTIYA, 2002a).

De acordo com Ferreira e Andreoli (1999b), as doses de aplicação variam de 60 a 70 toneladas por ano por hectare, em base seca, para as áreas que não possuem impermeabilização da camada inferior do solo e de 300 a 600 toneladas por ano por hectare para os locais que apresentam impermeabilização da camada do solo entre 60 e 80 cm de profundidade.

O objetivo do processo é simplesmente degradar a matéria orgânica, não existindo interesse algum na reciclagem e aproveitamento dos nutrientes presentes no lodo.

É um método de baixo custo e de simples execução, devendo ser bem operado e monitorado para mitigação dos riscos ao ambiente.

1.8.2. Aterro sanitário

O método mais usual para a destinação final do lodo de esgoto é a disposição em aterro sanitário. Neste processo, o lodo é confinado em células e coberto por solo, onde na ausência de oxigênio ocorre a biodegradação anaeróbia, com menor velocidade de degradação e produção de metano.

Tal procedimento não prevê qualquer preocupação em se recuperar nutrientes presentes no lodo de esgoto ou a utilização das características benéficas desse material (LUDUVICE e FERNANDES, 2001).

Para Tsutiya (2002a), o aterro sanitário é necessário para atender às demandas, como absorção de lodos com características inadequadas para os usos que estiverem sendo praticados; absorção de volumes excedentes à demanda; disposição de cinzas de incineração; e garantia de disposição final segura.

A disposição em aterro pode ocorrer em aterros exclusivos ou na forma de codisposição com resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.

1.8.2.1. Aterro exclusivo

Nesta modalidade, o lodo pode ser disposto na forma de tortas desidratadas com teor de sólidos acima de 30 % ou secos termicamente, em aterros adequados às suas características (LUDUVICE e FERNANDES, 2001; TSUTIYA, 2002a).

Segundo os autores, o aterro exclusivo foi uma das soluções adotadas pela SABESP para destinação final dos resíduos gerados nas ETEs da RMSP.

1.8.2.2. Codisposição com resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários

No processo de codisposição, o lodo de esgoto é disposto juntamente com o resíduo domiciliar em aterros convencionais, os quais não são construídos de forma adaptada à disposição de lodo. A mistura do lodo aos resíduos sólidos urbanos tende a acelerar o processo de biodegradação em virtude da sua composição química, presença de nitrogênio, e do seu potencial de inoculação (LUDUVICE e FERNANDES, 2001; TSUTIYA, 2002a).

Independente da alternativa de aterro adotada para a disposição final de lodo de esgoto, alguns aspectos construtivos de engenharia devem ser seguidos para permitir o controle dos processos nas células e reduzir os impactos decorrentes dessa atividade (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993; ABNT, 1997, 2010; TSUTIYA, 2002a). São eles:

- Sistema de impermeabilização da base do aterro para evitar a contaminação do lençol freático pelo chorume;
- Sistema de drenagem e queima de gases;
- Sistema de controle e tratamento de lixiviados;
- Sistema de drenagem de águas pluviais;
- Camada de coberturas diárias;
- Monitoramento de águas subterrâneas;

- Camada de cobertura final;
- Plano de encerramento e aproveitamento da área após vida útil.

1.8.3. Incineração

A incineração é um método de tratamento de oxidação térmica que reduz o volume do lodo para disposição final, assim como elimina os microrganismos patogênicos e compostos orgânicos tóxicos (USEPA, 1999; LUDUVIC e FERNANDES, 2001; TSUTIYA, 2002a).

A queima completa do lodo gera vapor d'água, dióxido de carbono, dióxido de enxofre e cinza, sendo que, os gases liberados na atmosfera pelos incineradores devem ser constantemente monitorados como medida de prevenção, pois conforme USEPA (1999), alguns compostos nocivos oriundos da combustão incompleta e as dioxinas, por exemplo, podem ser formados, e podem afetar o meio ambiente e a população do entorno se lançados sem o devido tratamento. Uma outra preocupação segundo a EPA, são os metais, os quais não se degradam ao longo do processo, e se concentram nas cinzas ou no material particulado contido nos gases emitido pelo processo.

Esta técnica é uma alternativa que apresenta elevado custo por tonelada tratada, problemas secundários de poluição atmosférica e destinação final das cinzas geradas. Demanda cuidados operacionais sofisticados, demonstrando ser mais indicada para grandes centros urbanos ou em situações que a qualidade do lodo impede sua reciclagem agrícola, geralmente pela presença exacerbada de metais pesados (FERREIRA e ANDREOLI, 1999b).

1.8.4. Reúso industrial

No ramo industrial, o lodo de esgoto pode ser utilizado para a produção de agregados leves para uso na construção civil, para a fabricação de tijolos e cerâmicas e para a produção de cimentos.

Dentro da literatura internacional, Santos (2003) destaca os seguintes trabalhos pioneiros: George (1986), que trata da produção de agregado leve a partir do lodo pelo processo CCBA (Coordinate Chemical Bonding Adsorption) para a San Diego Region Water Reclamation Agency; ainda sobre a produção de agregado, YIR e TAY (1990), investigaram misturas de argila e torta de lodo, queimadas num forno para tijolos em temperaturas que variavam entre 800° C e 1080°C, concluindo que a partir de 1000°C o material ganhava resistência; BHATTY e REID (1989), investigaram o uso de cinzas, oriundas da incineração do lodo, como filer ou agregado miúdo em argamassas de cimento Portland; no que tange a produção de tijolos, há relatos do uso de uma mistura de argila com 30% de lodo proveniente da ETE de Fishwater Flats, África do Sul, para produção em escala industrial de tijolos numa olaria distante 15 quilômetros da ETE desde 1979.

No cenário nacional, temos a produção de agregado leve a partir do lodo do digestor anaeróbio concebida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT e utilizado pela SABESP entre os anos de 1979 a 1981.

Quanto à possibilidade do uso de lodo de esgoto para a produção de cimento, ocorre que essa alternativa deve ser analisada sobre dois aspectos: como combustível auxiliar para os fornos ou como matéria prima adicional à farinha crua.

1.8.5. Disposição oceânica

Esse método de disposição final já foi bastante significativo em muitos países com cidades costeiras, como Nova York, Los Angeles e Tokio. Sidney na Austrália, por exemplo, lançava 60% do seu lodo no mar.

O Congresso dos Estados Unidos assinou um acordo em 1988 proibindo o lançamento no mar a partir de 1992. Outros países assinaram o acordo de Helsinki, o qual pretendia eliminar a disposição oceânica do lodo até o ano de 1998 (TSUTIYA, 2002a). Essas ações forçaram os países a adotar outras medidas para destinação final do seu lodo.

1.9. Fatores limitantes da disposição de lodo nos solos

Algumas substâncias presentes no lodo conferem características que podem oferecer riscos ao meio ambiente e a saúde dos indivíduos quando não controladas e monitoradas adequadamente. Assim, embora o uso do lodo para fins agrícola se mostre como uma das alternativas mais promissoras e ambientalmente seguras para a destinação final deste resíduo, a presença de metais pesados, de compostos orgânicos e de microrganismos patogênicos pode limitar sua aplicação.

Os principais riscos socioambientais atribuídos à reciclagem do lodo no meio ambiente são a contaminação dos recursos hídricos, dos solos e as implicações na saúde pública.

1.9.1. Metais pesados

De acordo com Malavolta (1994) e Tsutiya (2002b), o termo metal pesado aplica-se para todo metal que apresente densidade igual ou superior a 5 gcm^{-3} ou número atômico igual ou superior a 20. Entretanto, essa definição abrange elementos que são semimetais, arsênio (As), e não metais, selênio (Se). Por esta inconsistência, essa terminologia nunca foi adotada pela International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC.

Melo *et al.* (2010) abordam que por serem encontrados em baixas concentrações no ambiente, eles também têm recebido a denominação de elementos traços.

Para Kiehl (2012), as expressões “metais pesados” e “elementos traços” são inadequadas para designar os elementos químicos considerados tóxicos para as plantas, os animais e o próprio homem. Segundo ele, melhor seria adotar a expressão elementos químicos potencialmente tóxicos, pois conforme visto, existem outros elementos que não metais pesados, que são igualmente tóxicos quando empregados em determinadas doses.

O termo “metal pesado”, amplamente empregado, deve ser compreendido de diversas formas, variando conforme a área da ciência que o aborda. No tocante à área ambiental, o metal pesado pode ser entendido como aquele elemento que, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferece risco à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos (SILVA *et al.*, 2001).

Os metais pesados ocorrem naturalmente por toda a natureza. No solo, sua presença se dá em virtude da rocha que lhe deu origem e de outros processos naturais como precipitação atmosférica, erupções vulcânicas, incêndios naturais, etc. Ações antrópicas com o uso de corretivos, fertilizantes e defensivos agrícolas, aplicação de resíduos urbanos e industriais, queima de combustíveis fósseis, incineração de resíduo urbano e outros resíduos podem contribuir para a elevação das concentrações naturais dos metais pesados no ambiente, podendo atingir níveis que causem efeitos deletérios às plantas, aos animais e ao homem (TSUTIYA, 2002b; MELO *et al.*, 2010).

Conforme Matos (2010), processos de complexação/quelação pela matéria orgânica, coprecipitação com carbonatos, adsorção específica e não específica conferem ao solo grande capacidade de retenção de metais pesados, o que os tornam, em geral, pouco biodisponíveis. Todavia, se essa capacidade de fixação for superada, os metais poderão permanecer em solução e, assim, ser absorvidos pelas plantas, entrando na cadeia alimentar, ou ainda ser lixiviados para o subsolo, principalmente em meio com condições ácidas, alcançando o lençol freático.

Os principais elementos enquadrados como metais pesados são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se e Zn (Tabela 3). Dentre eles As, Co, Cr, Cu, Se e Zn são essenciais aos organismos em concentrações reduzidas, enquanto outros não apresentam qualquer função biológica, podendo apresentar, inclusive, toxicidade às plantas e animais (FERNANDES e SILVA, 2000; SILVA *et al.*, 2001; VON SPERLING, 2005).

Alguns elementos classificados como metais pesados são considerados como micronutrientes às plantas (Cu, Fe, Mn, Zn, B e Mo), isto é, são imprescindíveis

ao seu desenvolvimento em pequenas concentrações, tornando-se fitotóxicos quando ultrapassam concentrações limites (MELO *et al.*, 2010).

Tabela 3 - Metais pesados presentes no lodo de esgoto.

ETE	Unidade*	As	Cd	Pb	Cu	Hg	Mo	Ni	Se	Zn
Barueri ⁽¹⁾	mg/kg	12	18	189	850	2	13	349	1	1870
Barueri ⁽²⁾	mg/kg	ND	8	180	660	ND	<50	360	ND	2328
Suzano ⁽³⁾	mg/kg	39	6	245	733	24	19	227	1	1873
ABC ⁽⁴⁾	mg/kg	ND	9,4	269	895	ND	39	205	ND	2645
Franca ⁽⁵⁾	mg/kg	0,2	7	31	160	0,14	5,5	34	0,3	1560
Lavapés ⁽⁶⁾	mg/kg	8	6	151	75	23	25	32	ND	853
Bertioga ⁽⁷⁾	mg/kg	ND	2,9	65	136	ND	3	14	ND	438
Humaita-São Vicente ⁽⁸⁾	mg/kg	ND	1,56	65	136	ND	1,4	13	ND	549
Bichoró – Monguaguá ⁽⁹⁾	mg/kg	ND	2,6	74	231	ND	4	12	ND	556
Belém - Curitiba	mg/kg	ND	ND	123	439	1	ND	73	ND	824
RALF- Diversos Paraná	mg/kg	ND	ND	64	89	0,5	ND	40	ND	456
Brasília - DF	mg/kg	ND	10	50	186	4	ND	34	ND	1060

Referências

USEPA 40 CFR part 503	mg/kg ⁽¹⁰⁾	75	85	840	4300	57	75	420	100	7500
86/278 / EEC	mg/kg ⁽¹⁰⁾	-	20-40	750-1200	1000-1750	16-25	-	300-400	-	2500-4000
CONAMA 375/2006	mg/kg ⁽¹⁰⁾	41	39	300	1500	17	50	420	100	2800

* Base seca.

ND: Não Disponível.

Lodo ativado convencional, condicionamento de biossólido com cal e cloreto férrico: (1), (3) e (4);

Lodo ativado convencional, condicionamento de biossólido com polímero: (2) e (5);

Lodo ativado com oxigênio puro, condicionamento de biossólido com cal: (6);

Lodo ativado por batelada, condicionamento de biossólido com polímero: (7);

Lodo ativado por batelada, condicionamento de biossólido com cal e cloreto férrico: (9);

Lodo ativado por aeração prolongada, condicionamento de biossólido com polímero: (8);

Concentração máxima de metais permitidas no lodo: (10);

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2002b).

Lodos de esgotos originários de estações que tratam esgotos sanitários estritamente apresentam pequenas quantidades de metais pesados, os quais são derivados da natureza dos resíduos e das tubulações. Os metais pesados presentes no lodo estão associados, principalmente, aos despejos industriais descartados na rede coletora urbana. Portanto, quanto maior o grau de industrialização da região, maior a contribuição de lodo com presença desses elementos.

A concentração de metais pesados no lodo de esgoto é um dos fatores que vai determinar a viabilidade de uso do lodo para fins agrícolas e o tempo de aplicação até que se atinja um potencial elevado de risco ao ambiente e à saúde humana.

Segundo Melo *et al.* (2010), as normas internacionais recomendam a manutenção de pH alcalino ou neutro para diminuir a mobilidade de metais pesados do lodo no solo e do solo às plantas. Fato que dificulta no caso brasileiro, devido aos solos, predominantemente ácidos.

1.9.2. Compostos orgânicos

Os compostos orgânicos potencialmente tóxicos que podem estar presentes no lodo de esgoto são provenientes de fontes antrópicas, tais como: efluentes de indústrias química, de plástico, farmacêuticas, de formulação de pesticidas, de ferro e aço, mecânicas, de petróleo, entre outros; esgotos sanitários contendo restos de solventes, tintas, detergentes, dentre outros; e através da poluição difusa pelo uso de produtos de veículos automotores e insumos agrícolas, por exemplo (FERRERIA e ANDREOLI, 1999c; FERNANDES e SILVA, 2000; SILVA *et al.*, 2001; HAY, 2010).

Dentre os compostos considerados, os autores citam os seguintes: hidrocarbonetos aromáticos e fenólicos, Bifenilas Policloradas (PCBs), solventes orgânicos, pesticidas, ftalatos, fenol não clorado, Compostos Orgânicos Persistentes (COPs) e cloro benzenos.

Segundo Harrinson (2006), o destino dos compostos orgânicos depende da natureza do produto e do tipo de tratamento a que são submetidos. Essa classe de produtos pode ser volatizada, degradada através do emprego de tratamento aeróbio ou anaeróbio, adsorvidos no lodo ou despejados nos efluentes líquidos.

Conforme Silva *et al.* (2001), muito desses compostos são biodegradados muito lentamente e, por isso, apresentam persistência no meio. Podem ser bioacumulados, se concentrando em quantidades mais elevadas nos níveis tróficos superiores. Chama-se atenção, ainda, para o fato de que a degradação pode acarretar a geração de subprodutos mais tóxicos do que os compostos que lhe deram origem (HARRINSON, 2006).

Os compostos orgânicos não foram considerados na redação final da regulamentação norte americana que versa sobre o uso de lodo, pelas seguintes razões: (i) não foram detectados no levantamento realizado pela USEPA em 1988; (ii) quando detectados, estavam presentes em concentrações de 10 a 100 vezes menores do que as fixadas pela avaliação de risco para proteção da saúde humana e do ambiente; (iii) proibição do uso do produto (TSUTIYA, 2002b; HAY, 2010).

As informações acerca da presença de compostos orgânicos em lodo de esgoto, ainda, são limitadas. Primeiramente, porque, historicamente, houve uma maior preocupação com a regulamentação de metais potencialmente tóxicos e segundo, os elevados preços das análises desestimulam sua identificação.

O Brasil deu um grande passo ao considerar os poluentes orgânicos na resolução CONAMA 375/2006, contudo, o enfoque somente nos compostos mais conhecidos deve ser reavaliado regularmente. Produtos específicos, que podem ser menos abundantes, mas sabidamente bioativos devem ser alvo de novos estudos de detecção, caracterização e destino final. Atenção especial deve ser dada aos fármacos e produtos de higiene pessoal (HAY, 2010).

1.9.3. Microrganismo patogênicos

Os microrganismos patogênicos, normalmente presentes no lodo de esgoto, podem ser divididos em cinco grupos principais: ovos de helmintos, cistos de protozoários, fungos, vírus e bactérias.

A contaminação microbiológica do lodo é decorrente do material fecal de origem humana presente nos esgotos, refletindo diretamente o nível de saúde da população contribuinte e as condições de saneamento básico da região. Pode ser também de origem animal (fezes de gato e cães), cujos dejetos são eliminados através da rede coletora de esgotos (SILVA *et al.*, 2001; THOMAZ SOCCOL *et al.*, 2010).

A Tabela 4 apresenta as densidades típicas de diferentes microrganismos que podem ser encontrados nos esgotos sanitários.

Tabela 4 - Concentrações típicas de microrganismos patogênicos em esgotos sanitários.

Microrganismo	Concentração por litro	Domínio
Coliformes Termotolerantes	$10^8 - 10^{10}$	Bactéria
<i>Salmonella spp.</i>	$1 - 10^5$	
<i>Shigella spp.</i>	$10 - 10^4$	
<i>Vibrio cholera</i>	$10^2 - 10^5$	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	$1 - 10^3$	Helmintos (ovos)
<i>Ancyllostoma duodenale</i>	$1 - 10^3$	
<i>Cryptosporidium parvum</i>	$1 - 10^4$	Protozoário (cistos)
<i>Entamoeba histolytica</i>	$1 - 10^2$	
<i>Giardia intestinalis</i>	$10^2 - 10^5$	
<i>Vírus entéricos</i>	$10^5 - 10^6$	Vírus
<i>Rotavirus</i>	$10^2 - 10^5$	

Fonte: adaptado de WHO (2006).

Durante o processo de tratamento de esgoto ocorre a concentração dos microrganismos no lodo produzido, isto é, observa-se uma migração destes da fase líquida, afluyente, para a fase sólida, lodo (FRADKIN *et al.*, 1989; LASOBARS *et al.*, 1999; SILVA *et al.*, 2001).

Ressalta-se, ainda, que muitos microrganismos sobrevivem melhor quando aderidos a partículas sólidas presentes nos efluentes, a permanecerem no estado suspenso (SCHEUERMAN *et al.*, 1991; STRAUB *et al.*, 1992). Por conseguinte, é provável que estes microrganismos possam sobreviver por mais tempo no biossólido. Vírus entéricos, protozoários e outros parasitas são parasitas obrigatórios e, portanto, incapaz de se multiplicar no biossólido, enquanto que as bactérias podem multiplicar-se em condições favoráveis (SKANAVIS e YANKO, 1994; GIBBS, R. *et al.*, 1997; SIDHU *et al.*, 1999; SIDHU *et al.*, 2001).

Em relação aos patógenos presentes no lodo, estudos epidemiológicos têm demonstrado que ovos de helmintos, cistos de protozoários e bactérias representam maiores riscos à saúde humana e animal, em virtude do tempo de sobrevivência amplo desses organismos. Dentre os agentes patogênicos, os ovos de helmintos são os que apresentam maior capacidade de resistência ao meio, sendo capazes de resistir a uma ampla variedade de condições físicas e químicas, podendo sobreviver por vários anos no solo. Portanto, uma vez realizado o controle desses patógenos, os demais estarão automaticamente em níveis admissíveis, compatíveis com o uso agrícola, não proporcionando riscos aos usuários do produto e ao ambiente (ANDREOLI *et al.* 2001b; USEPA (2003).

Devido às limitações metodológicas para a detecção de patógenos nos biossólidos, tornando-a muitas vezes cara e morosa, a maioria das pesquisas no que concerne à ocorrência e destino de patógenos entéricos em biossólido é baseada em organismos indicadores e algumas bactérias patogênicas (GERBA, 2002).

Conforme Bastos *et al.* (2003a) e (2003b), na avaliação da eficiência de processos de tratamento no que tange à remoção de patógenos, o emprego de organismos indicadores deve partir do entendimento que a ausência destes, em determinada matriz, indicaria a ausência de patógenos (destruição e/ou remoção de ambos pelos processos de tratamento) ou que a presença destes organismos em densidades remanescentes, as quais corresponderiam à

ausência de patógenos. Neste sentido, para que um organismo cumpra o papel de indicador da eficiência do tratamento, é necessário que: (i) o indicador seja mais resistente aos processos de tratamento que os patógenos; (ii) o mecanismo de remoção de ambos seja similar; (iii) o indicador esteja presente no afluente em densidades superiores às dos patógenos e as taxas de remoção/decaimento de ambos sejam similares, (iv) a taxa de remoção/decaimento dos patógenos seja superior à do indicador.

Na Tabela 5, Sidhu e Toze (2009) reúnem dados de diversos estudos acerca da concentração de diversos patógenos e indicadores presentes em lodos de esgoto. Segundo os autores, o número esperado de bactérias indicadoras nos biossólidos é 2 a 3 superior do que o número de bactérias patogênicas, enquanto a concentração de protozoários é relativamente baixa. Apontam, ainda, que o número de bacteriófagos no biossólido é geralmente comparável ao número de vírus entéricos.

Tabela 5 - Concentrações de organismos patogênicos e indicadores em lodos de esgotos.

Patógenos	Número		Referência
	Intervalo	Média	
Vírus entéricos	0,004 - 12,51	6,26	² Payment <i>et al.</i> , 2001
	4,4 - 7x10 ²	3,5x10 ²	¹ Soares <i>et al.</i> , 1992
	4,5x10 ³ - 2,5x10 ⁴	-	¹ Pourcher <i>et al.</i> , 2005
	15 - 80	-	¹ Pourcher <i>et al.</i> , 2005
	1,2x10 ² - 1,3x10 ⁴	6,5x10 ³	¹ Gibbs <i>et al.</i> , 1994
Colifagos Somáticos	-	7,0x10 ⁴	² Lasobars <i>et al.</i> , 1999
	-	1,58x10 ²	² Moce-Llivina <i>et al.</i> , 2003
Fagos F-RNA	-	6,30x10 ¹	² Moce-Llivina <i>et al.</i> , 2003
	-	2,9x10 ⁴	² Lasobars <i>et al.</i> , 1999
Fagos <i>B. fragilis</i>	-	5,6x10 ⁴	² Lasobars <i>et al.</i> , 1999
Coliformes Totais	1,9x10 ⁸ - 1,1x10 ¹⁰	5,6x10 ⁹	¹ Soares <i>et al.</i> , 1992
Coliformes Termotolerantes	9,2x10 ⁷ – 1,7x10 ⁹	8,9x10 ⁸	¹ Soares <i>et al.</i> , 1992
	9,3 x10 ⁶ – 1,7x10 ⁹	8,5x10 ⁸	¹ Gibbs <i>et al.</i> , 1994
	7x10 ¹ – 1,1x10 ⁵	3,4x10 ⁴	² Payment <i>et al.</i> , 2001
	-	3,6x10 ⁷	¹ Dahab and Surampalli, 2002
	-	3,4x10 ⁶	² Lasobars <i>et al.</i> , 1999
<i>E. coli</i>	3x10 ² – 6,2x10 ⁴	1,5x10 ⁴	² Payment <i>et al.</i> , 2001
	4,4 x10 ⁵ – 1,1x10 ⁶		¹ Pourcher <i>et al.</i> , 2005
<i>Salmonella</i>	1,1x10 ¹ – 5,9x10 ³	2,9 x10 ³	¹ Gibbs <i>et al.</i> , 1994
	1,2 – 1,3	-	¹ Pourcher <i>et al.</i> , 2005
	-	6,2x x10 ²	¹ Dahab and Surampalli, 2002
Cistos de <i>Giardia</i>	1,1 x10 ¹ – 2,10x10 ²	1,1x x10 ²	³ Chauret <i>et al.</i> , 1999
	0,10 – 9,20	4,65	² Payment <i>et al.</i> , 2001
	3,1 x10 ⁴ – 8,1x10 ⁴	5,6x10 ⁴	¹ Gibbs <i>et al.</i> , 1994
	7,7 x10 ¹ – 3,3x10 ³	1,7 x10 ³	¹ Soares <i>et al.</i> , 1992
Oocistos <i>Cryptosporidium</i>	10 - 10 ²	-	² Thomaz Socool. 2010
	-	1,0x x10 ¹	³ Chauret <i>et al.</i> , 1999
Ovos de <i>Toxocara</i> , <i>Capillaria</i> , <i>Trichuris</i> e <i>Ascaris</i>	< 0.25 - 7	-	⁴ Schwartzbrod and Banas, 2003

(¹) por g (peso seco); (²) por g (peso úmido); (³) por L de lodo; (⁴) ovos viáveis por g (peso seco).

Fonte: adaptado de Sidhu e Toze (2009).

Embora, possa ser encontrada a mesma população inicial de organismos presentes no esgoto bruto, muitos desses patógenos identificados no lodo estão inviáveis, ou seja, perderam seu poder de infectividade, em virtude dos processos de tratamento (SILVA *et al.*, 2001). De acordo com Cabaret *et al.* (2002) e Tsutiya (2002b), a simples presença de patógenos no lodo de esgoto

não garante sua viabilidade e infectividade em relação à saúde humana e animal. Além disso, para que ocorram agravos aos hospedeiros, faz-se necessário uma dose infectante mínima destes agentes patogênicos.

1.9.3.1. Decaimento microbiológico em sistemas de compostagem

A obtenção de um produto final livre de contaminantes microbiológicos requer um rigoroso controle operacional durante o processo de compostagem (oxigenação, umidade, pH, relação C/N, dentre outros), onde o trinômio temperatura/tempo/umidade tornam-se parâmetros essenciais para a eficácia do sistema. Fatores intrínsecos à compostagem, como heterogeneidade do material, existência de zonas mortas nas leiras e possibilidade de recontaminação, a depender do grau de estabilização da massa em compostagem, jamais permitirão que a eliminação dos patógenos ocorra em período tão curtos (PEREIRA NETO e NEVES LELIS, 2001).

Sabe-se que temperaturas termofílicas, acima de 50°C, são ideais para eliminação de patógenos, inclusive propiciam a inviabilidade de ovos de helmintos, apresentando maior efeito. Temperatura e tempo de exposição do lodo estão diretamente relacionados à redução da concentração de patógenos, trazendo melhorias para as condições sanitárias do lodo de esgoto.

Na Tabela 6, são apresentadas a temperatura e o tempo necessário para a destruição dos microrganismos encontrados no lodo de acordo com a EPA americana.

Tabela 6 - Temperatura e tempo de exposição para destruição de organismos.

Patógenos	Tempo (minuto)	Temperatura (°C)
<i>Salmonella typhosa</i>	Instantâneo	55 a 60
	30	46
<i>Salmonella</i> spp.	15 a 30	60
	60	55
<i>Shigela</i>	60	55
<i>Escherichia coli</i>	5	70
	15 a 20	60
	60	55
<i>Entamoeba histolytica</i> (cistos)	Instantâneo	68
<i>Taenia saginata</i>	5	71
<i>Streptococcus fecalis</i>	60	70
Coliformes fecais	60	70
<i>Ascaris</i> spp. (ovos)	60	55
	7	60

Fonte: EPA (1985).

Segundo Rey (1991) citado por Andreoli (2001), os agentes físicos de maior importância na inativação de patógenos são temperatura, luz, oxigênio e teor de umidade, sendo a temperatura o mais importante, pois age sobre as enzimas dos helmintos, principalmente sobre a albumina, que tem sua estrutura modificada e suas funções comprometidas.

Realizando compostagem com lodo de esgoto anaeróbico misturado com resíduos de poda de árvores em leiras revolvidas na região de Londrina-PR, Andreoli (2001b) observou a inativação completa dos ovos de helmintos em cerca de 30 dias. Em outro experimento com compostagem acelerada (reator biológico), também em Londrina-PR, com mistura de lodo anaeróbico e serragem de madeira, a inativação completa de coliformes termotolerantes foi alcançada com apenas três dias de tratamento (ANDREOLI *et al.*, 2001b)

Dumontet *et al.* (1999) em estudo acerca da redução de patógenos em compostagem de lodo de esgoto mostraram que a compostagem é um processo muito eficaz para a estabilização de material orgânico do lodo, capaz

de produzir um produto seguro sob o ponto de vista da higiene. Além disso, a compostagem reduz o problema de recrescimento e de recontaminação de patógenos, gerando um produto que pode ser armazenado e aplicado na agricultura ao longo do tempo.

Analisando o comportamento de bactérias patogénicas e indicadoras durante o tratamento de lodo de esgoto através da compostagem utilizando resíduos verdes, lascas de madeira, Wéry *et al.* (2008) observaram uma redução significativa das concentrações para *C. perfringens*, *E. coli* e *Enterococcus* spp. durante a fase termofílica do processo de compostagem. Estes resultados confirmaram que as temperaturas elevadas típicas da fase termofílica possibilitam a higienização do lodo.

1.10. Aspectos legais sobre o uso agrícola de lodo de esgoto

A regulamentação acerca do uso de biossólido na agricultura envolve o estabelecimento de padrões de qualidade (químicos e/ou microbiológicos) aliados às técnicas de tratamento e restrições de uso, em virtude das características inerentes ao resíduo. Com isso, pretende-se assegurar a proteção da saúde humana, tanto de consumidores de produtos cultivados com uso de biossólidos, quanto de trabalhadores em contato direto com o mesmo.

1.10.1. Regulamentação norte americana – “Norma 503”

Em 1993, a USEPA estabeleceu critérios para o uso de biossólido naquele país, por meio da promulgação do documento *Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge*, Code of Federal Regulations, Part 503 of the Clean Water Act, comumente denominada Part 503 Rule ou “Norma 503” no Brasil (USEPA, 1993).

O primeiro requisito tratado na referida norma diz respeito à concentração máxima permitida para poluentes (metais pesados) presentes em biossólidos de uso agrícola. A constatação desses elementos específicos acima dos valores admitidos, impossibilita o uso do biossólido em solos agrícolas. Além

dos limites de concentração no bioossólido, teores máximos a ser atingidos no solo e carga anual máxima para esses mesmos metais devem ser objeto de monitoramento (WANG, L. K. *et al.*, 2008). Se por um lado, os limites para as substâncias químicas descritos na norma foram fundamentados na metodologia de avaliação de risco, os parâmetros microbiológicos seguiram outras diretrizes. A EPA americana entendeu, na época, que as informações disponíveis eram insuficientes para a construção de modelos confiáveis de estimativa de riscos microbiológicos, especialmente quando consideradas as lacunas de informações necessárias para a devida caracterização da exposição e as limitações dos métodos analíticos para a determinação da qualidade microbiológica dos bioossólidos (EISENBERG *et al.*, 2008; USEPA, 1989, 1992, 1995).

Segundo essa norma, uma das mais emblemáticas e influentes regulamentações relativas ao assunto, as exigências e restrições para a aplicação no solo dependem da qualidade microbiológica do bioossólido, definido em duas categorias, Classe A e Classe B.

A produção de bioossólido Classe B de acordo com USEPA (1993) pressupõe a adoção de Processos de Redução Significativa de Patógenos (PRSP), sendo a qualidade microbiológica requerida verificada em termos de coliformes termotolerantes (CTer): 2×10^6 CTer / g de sólidos totais (ST) (Tabela 7). A norma cita alguns PRSP dentro os quais destaca: digestão aeróbia, secagem ao ar, digestão anaeróbia, compostagem e estabilização com cal. A garantia da qualidade dos bioossólidos Classe B pode ser avaliada pela verificação do padrão bacteriológico do produto final ou pela avaliação da eficiência do processo de tratamento. Isto é, se as condições operacionais especificadas, como temperatura, pH, tempo, forem observadas não é necessário o monitoramento microbiológico (USEPA, 1993; BASTOS, 2013).

Para produção de bioossólido Classe A, de maior qualidade, o lodo deve ser submetido a Processos de Redução Adicional de Patógenos (PRAP), alcançando um dos seguintes critérios: conter menos de 10^3 CTer / g de sólidos totais (ST) ou menos que 3 *Salmonella ssp* NMP (Número mais

Provável) / 4 g de sólidos totais (ST). Adicionalmente, os requisitos das seguintes alternativas devem ser atendidos:

(i) concentração de vírus entéricos menor que 1 UFP (Unidade Formadora de Placa) / 4 g de sólidos totais (ST) e ovos viáveis de helmintos menor que 1 ovo por 4 g de sólidos totais (ST); ou

(ii) pares de valores tempo x temperatura para tratamento térmico, ou seja, uma dada temperatura deve ser mantida por período de tempo pré-determinado; ou

(iii) tratamento alcalino, em condições controladas de tempo, temperatura, pH e teor de sólidos; ou

(iv) tratamento do lodo por PRAP ou equivalente.

Tabela 7 - Qualidade microbiológica dos biossólidos.

Classe do Lodo	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes < 10^3 / g ST <i>Salmonella</i> < 3 NMP / 4 g ST Vírus < 1 UFP / 4 g ST Ovos viáveis de helmintos < 1 ovo / 4 g ST
B	Coliformes Termotolerantes < 2×10^6 NMP / g ST

Fonte: USEPA (1993).

Os PRAPs citados na Norma 503 são: compostagem, secagem térmica, tratamento térmico, digestão aeróbia termofílica, irradiação com raios beta e gama, e pasteurização.

Do ponto de vista do grau de ameaça à saúde humana e animal associado ao uso do biossólido, a norma parte do pressuposto que ambos são igualmente seguros. No caso do biossólido Classe A, a proteção é alcançada pelo tratamento em si, pela redução dos patógenos a níveis abaixo dos detectáveis. Já no Classe B, os mesmos níveis de segurança seriam alcançados por meio de tratamentos com redução de patógenos para densidades, ainda,

significativas, e pela restrição do uso do composto (proibição de determinados cultivos e de acesso a áreas de aplicação, intervalo de aplicação) incorrendo assim, no decaimento natural dos patógenos para concentrações abaixo dos limites de detecção, semelhantes às encontradas nos primeiros (USEPA, 2003).

Quanto à utilização, o biossólido Classe B deve ser aplicado sob restrições de local, de tipo de cultura e de acesso ao público ao local de aplicação (SANTOS, 2001; WANG, L. K. *et al.*, 2008). Por outro lado, o Classe A pode ser utilizado sem qualquer restrição, incluindo aplicação em culturas alimentícias produzidas rente ao nível do solo ou do tipo raízes e em locais com acesso livre ao público, tais como gramados e jardins residenciais (USEPA, 1993; TORRES DE CARVALHO E CAMPOS CARVALHO, 2002; BASTOS, 2013). Finalmente, para aplicação em terras agricultáveis, a Norma 503 preconiza a redução de atração de vetores e apresenta as condições operacionais para seu atendimento.

1.10.2. Regulamentação brasileira

No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA é o órgão federal responsável pela legislação acerca da produção e comercialização dos insumos agrícolas, incluindo fertilizantes, biofertilizantes, corretivos, entre outros. Todo o arcabouço legal que versa sobre a questão está fundamentado, primeiramente, na Lei Federal n.º 6.894/1980 alterada pelas Leis n.º 6.934/1981 e 12.890/2013, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura (BRASIL, 1980).

A referida Lei Federal n.º 6.894/1980 está regulamentada pelo Decreto Federal n.º 4.954/2004, alterado pelos Decretos n.º 8.059/2013 e 8.384/2014, que estabelece as normas gerais sobre os registros dos estabelecimentos produtores, bem como dos seus respectivos produtos, com foco na saúde humana e sanidade ambiental. Disciplina também, as atividades de inspeção e

fiscalização, assegurando assim, a qualidade do produto. Chama-se atenção, ainda, para as seguintes definições elencadas no texto do decreto:

(i) “fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais;

(ii) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas” (BRASIL, 2004a).

Estabelece-se assim, a possibilidade legal de transformar o resíduo de lodo de esgoto sanitário em produto fertilizante orgânico, reconhecido pelo MAPA.

Outras especificações sobre o assunto são expressas em diversas Instruções Normativas – IN elaboradas pelo MAPA, com destaque para as de números 10/2004, 27/2006 e 25/2009. A primeira, IN nº 10/2004, abrange, principalmente, as exigências e critérios para embalagem, rotulagem, propaganda e prestação de serviço, bem como os procedimentos adotados na inspeção e fiscalização de produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura. Enquanto a segunda, IN nº 27/2006, estabelece limites de metais pesados, espécies fitopatogênicas, pragas e ervas daninhas e microrganismos patogênicos ao homem nos fertilizantes, corretivos, condicionadores de solo e substrato para plantas (BRASIL, 2004b, BRASIL, 2006b). Por fim, tem-se a IN nº 25/2009, a qual aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos

fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Algumas definições desta IN são relevantes ao assunto deste trabalho, sendo elas:

- (i) “lodo de esgoto: matéria-prima proveniente do sistema de tratamento de esgotos sanitários, possibilitando um produto de utilização segura na agricultura, atendendo aos parâmetros estabelecidos e aos limites máximos estabelecidos para contaminantes;*
- (ii) fertilizante Orgânico Composto Classe “D”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura” (BRASIL, 2009).*

De acordo com Carvalho *et al.* (2010), concomitantemente às discussões da IN nº 27/2006, ocorreu a formação de um grupo técnico de trabalho de responsabilidade do CONAMA, órgão ligado ao Ministério do Meio Ambiente, com o intuito de discutir e normatizar o uso de lodo de esgoto na agricultura em consonância com o MAPA. Deste modo, em 29/08/2006, foi criada a Resolução CONAMA 375/2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgotos sanitários, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde humana e ao ambiente (BRASIL, 2006a).

A Resolução CONAMA 375/2006 da mesma forma que a norma norte americana (Norma 503) define duas classes de lodo de esgoto de acordo com a concentração de organismos patogênicos presentes no lodo (Tabela 8).

Tabela 8 - Classificação de lodo em relação a presença de patógenos.

Classe do Lodo	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes < 10^3 NMP / g ST
	<i>Salmonella</i> ausência em 10 g ST
	Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g ST
	Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g ST
B	Coliformes Termotolerantes < 10^6 NMP / g ST
	Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g ST

UFF – Unidade Formadora de Foco

Fonte: Brasil (2006a).

O padrão brasileiro de qualidade microbiológica de lodo Classe B (10^6 CTer / g ST) é similar ao estabelecido na USEPA (1993) (2×10^6 CTer / g ST), contudo impõe um limite de ovos viáveis de helmintos (< 10 ovos / g ST).

A produção de lodo com essas características, igualmente à Norma 503, prevê a adoção de PRSP, sendo considerados os seguintes processos: a digestão aeróbia, secagem em leitos de areia ou em bacias, digestão anaeróbia e estabilização com cal.

Como controle de qualidade do bio sólido Classe A, a norma dos Estados Unidos exige que sejam atendidos os padrões estabelecidos para coliformes termotolerantes ou *Salmonella*, enquanto a regulamentação brasileira impõe o monitoramento dos dois grupos de bactérias. A norma norte-americana estabelece que o material deva apresentar concentrações de vírus entéricos e ovos viáveis de helmintos abaixo dos limites de detecção, mas permite que isso seja demonstrado pelo monitoramento dos parâmetros operacionais especificados para o controle dos processos de tratamento do lodo. A regulamentação brasileira, por sua vez, exige o monitoramento da qualidade do bio sólido em termos de coliformes termotolerantes e de salmonela; além disso, exige que se ateste as ausências de vírus entéricos e de ovos de helmintos por meio do monitoramento desses patógenos, mas não adote como

substituto o controle operacional dos processos de tratamento (MAGALHÃES, 2012; BASTOS, 2013)

Mais uma vez, guiada pela norma norte americana, a resolução nacional admite PRAP para geração de lodos Classe A, sendo eles: compostagem, secagem térmica direta ou indireta, tratamento térmico, digestão aeróbia termofílica, irradiação com raios beta e pasteurização.

Tratando-se da avaliação da eficiência do processo, a legislação brasileira considera apenas o monitoramento bacteriológico, não fazendo menção alguma quanto ao monitoramento dos parâmetros de controle operacional. Em outras palavras, diferentemente da “Norma 503”, a Resolução CONAMA 357/2006 parece desconsiderar a utilidade dos parâmetros de controle operacional e o conceito de indicadores.

Enquanto a “Norma 503” não impõe restrições para o uso de biossólidos Classe A na agricultura, os quais já estariam supostamente livres de patógenos, as seguintes premissas devem ser observadas segundo a regulamentação brasileira (BRASIL, 2006a):

- É proibida a utilização de qualquer classe de biossólido ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo;
- Implantação de pastagens somente após um período mínimo de 24 meses da última aplicação do biossólido;
- Cultivos de olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo, bem como cultivos inundáveis são permitidos somente após um período mínimo de 48 meses da última aplicação do biossólido;

No que diz respeito à aplicação de lodos de Classe A, podem ser utilizados em qualquer cultura, desde que respeitadas as restrições citadas anteriormente, evitando a aplicação manual do produto. Logo, no que se refere ao grau de

restrição para lodo Classe A, a norma brasileira se mostra mais proibitiva em relação à norte americana.

No que concerne à utilização do lodo Classe B, era restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação. Todavia, quando da sua publicação, a resolução previa ainda, que decorridos 5 anos ocorreria sua proibição, a não ser que fossem propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do seu uso (BRASIL, 2006a).

Observa-se, portanto, que a Resolução CONAMA 375/2006 foi nitidamente inspirada na Norma 503, sendo que a atual versão da legislação brasileira se apresenta demasiadamente rigorosa para o padrão Classe A, tanto nos critérios de qualidade do lodo, quanto, principalmente, nas restrições de uso. Aponta-se ainda que o ‘banimento’ do uso de lodo Classe B possa ser medida desnecessariamente rigorosa; seu uso parece defensável, desde que acompanhado de medidas adequadas de proteção à saúde, com especial atenção à saúde ocupacional (BASTOS, 2009).

1.11. Experiências brasileiras da gestão do lodo de esgoto: tratamento e uso agrícola

A Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR é a principal responsável pelo sistema de esgotamento sanitário no Estado do Paraná, englobando a coleta, afastamento e tratamentos de esgoto e lodo, sendo responsável pela operação de 227 ETEs, com produção estimada de 15.680 t lodo / ano.

A companhia mantém desde 1998 o Programa de Utilização Agrícola de Lodo de Esgoto. A exceção do lodo gerado na ETE Belém, a qual trata esgotos da Região Metropolitana de Curitiba - RMC, todo o restante é proveniente de sistemas de tratamento anaeróbios. O sistema de tratamento do lodo é caracterizado pela etapa de desaguamento, realizado por meio de processos mecânicos (prensas e centrífugas) e natural (leito de secagem) e pela etapa de higienização, com adoção da estabilização alcalina prolongada (EAP), que se

caracteriza na adição de cal e armazenamento mínimo de 30 dias e valores de pH mantidos em torno de 12. O bio sólido produzido apresenta atributos que permitem sua utilização como corretivo de acidez do solo, podendo substituir o calcário geralmente utilizado para esse fim, trazendo assim vantagens agrônômicas e econômicas aos agricultores adeptos do programa (BITTENCOURT *et al.*, 2010).

Segundo Bittencourt e seus colaboradores, foram destinadas cerca de 105 mil toneladas de lodo de esgoto (25% ST) na RMC no período de 2000 a 2008, beneficiando 120 agricultores que utilizaram o produto nos cultivos de feijão, milho, soja, trigo, aveia, entre outros, com reduções dos custos na aquisição de adubos minerais e calcário de até R\$ 540,00 por hectare e aumentos médios de produtividade de 25% nos cultivos envolvidos. No interior do estado, mais precisamente na região de Foz do Iguaçu, registrou-se a aplicação em solos agrícolas de aproximadamente 915 toneladas (35% ST) entre os anos de 2002 a 2008. Todo o lodo higienizado e fornecido aos agricultores têm sua qualidade comprovada por meio de laudos laboratoriais.

No Estado de SP, destacam-se as experiências da reciclagem de bio sólido na agricultura realizadas em quatro ETEs. São elas: ETE Franca, ETE Jundiaí, ETE Lavapés e ETE Limoeiro. Excetuando a ETE Jundiaí, que é operada pela Companhia de Saneamento de Jundiaí – CSJ, as outras são de responsabilidade da SABESP.

O texto subsequente até o fim do item foi desenvolvido com base em Oliveira *et al.*, (2010) que apresenta os experimentos conduzidos no estado de São Paulo.

A ETE Franca é pioneira no Estado de São Paulo no que diz respeito ao tratamento e utilização agrícola de bio sólido, com início da aplicação do produto na cultura de café em 1998. Desde 1999, data que celebra o registro do produto junto ao MAPA, sendo classificado como condicionador de solo (Sabesfértil) até o ano de 2007, foram elaborados 80 projetos que abrangiam 12 municípios da região, com total de 2.225 hectares produzindo através do uso de bio sólido atingindo a marca de 87.285 toneladas do produto aplicados

em propriedades agrícolas, sendo o café a principal cultura utilizada, seguida das plantações de milho, citros e cana-de-açúcar.

A Companhia de Saneamento de Jundiaí – CSJ é a concessionária responsável pelo tratamento de esgoto e lodo na cidade Jundiaí desde 1995. A partir de 2001, inicia-se as operações para tratamento do lodo com desaguamento e adição de cal para higienização. No início de 2002, opta-se pelo processo de condicionamento físico e sanitário do lodo, onde o material é juntado em leiras de até 200 m de comprimento protegido por estufas agrícolas, revolvidas diariamente e com tempo de permanência mínima de 45 dias. Foram aplicadas cerca de 23.500 toneladas de lodo condicionado, classificado como classe B, em aproximadamente 6.846,00 hectares de áreas reflorestadas por eucaliptos entre os anos de 2001 a 2009, enquanto que no período de 2001 a 2007, foram utilizadas 79.500 toneladas de lodo em 3.000 hectares cultivados com cana-de-açúcar. Com a publicação de resolução CONAMA 375 em 2006, houve necessidade de readequação do sistema para obtenção de um produto classe A, a fim de garantir seu uso seguro na agricultura conforme preconiza as normas, sendo a compostagem termofílica o PRAP adotado.

A ETE Lavapés, localizada na cidade de São José dos Campos, teve o início de suas atividades em 1998. Inicialmente, o lodo tratado através da estabilização alcalina com cal era disposto em aterro sanitário. No ano de 2006, a SABESP contratou uma assessoria técnica para destinação final benéfica do bio sólido, culminando na implantação de um sistema de compostagem termofílica por leiras revolvidas semelhante à adotada na ETEJ. Neste mesmo ano, o composto foi registrado no MAPA como fertilizante orgânico classe D, com nome de Sabesfértil São José, permitindo sua a reciclagem na agricultura. Entre julho de 2008 e março de 2009, foram aplicadas 1500 toneladas do produto no cultivo de rosas de corte e pinhão manso na região de São José dos Campos.

A ETE Limoeiro – Presidente Prudente, por sua vez, desde o início de sua operação, maio de 2004, até fevereiro de 2008 tratava o lodo gerado em suas

dependências através da estabilização com cal virgem, estocando todo o material em áreas contíguas à ETE, por falta de alternativa de disposição do mesmo, inexistência de aterro sanitário na região. A partir de 2008, o lodo passou a ser armazenado em “Geo bags”, o que culminou na geração de um passivo ambiental em decorrência da estocagem de 22.000 toneladas de biossólido. Com a aprovação de projeto agrícola à luz da resolução nacional, foi então feita a destinação de todo o composto em evento único.

O autor e seus colaboradores chamam atenção para o fato de grandes volumes de biossólidos com enorme aptidão agronômica estarem sendo descartados em aterros sanitários, com destaque para ações como essas em regiões eminentemente agrícolas, reduzindo sobremaneira os experimentos de aplicação do produto no estado de São Paulo em escala real. Atribuem, ainda, tal fato a entraves como: (i) proibição do uso do lodo Classe B em cultivo de cana-de açúcar; (ii) proibição do lodo de Classe B já alcançada em 2011; (iii) obrigatoriedade de análises de entero vírus; (iv) indefinições nos procedimentos para o licenciamento das Unidades de Gerenciamento de Lodo – UGL; e (v) necessidade de pré-aprovação de projetos agronômicos com uso de biossólido junto à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.

CAPÍTULO 2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Município de Jundiaí

A cidade de Jundiaí encontra-se localizada nas coordenadas geográficas 23°11'11" latitude sul e 46°53'03" longitude oeste, em altitudes variando entre 673,6 metros (Rio Jundiaí, na divisa de Itupeva) e 1.290,6 metros (Serra do Japi), com média de 762 metros acima do nível do mar. Distante apenas 57,7 Km da capital do estado, faz limite com 11 municípios: Várzea Paulista, Campo Limpo Paulista, Franco da Rocha, Cajamar, Pirapora do Bom Jesus, Cabreúva, Itupeva, Louveira, Vinhedo, Itatiba e Jarinú. É servida pelas rodovias SP-330 - Rodovia Anhanguera (para São Paulo, Campinas), SP-348 - Rodovia dos Bandeirantes (para São Paulo, Campinas), SP-300 - Rodovia Dom Gabriel Paulino Bueno Couto (para Itu, noroeste do Estado de São Paulo e norte do Estado do Paraná), SP-332 - Tancredo Neves (para Caieiras, Várzea Paulista e São Paulo), SP-332 - Vereador Geraldo Dias (para Louveira), SP-360 - João Cereser (Anel de contorno, Aeroporto), SP-360 - Eng. Constâncio Cintra (para Itatiba, Águas de Lindóia). Também é atendida por ferrovia, Linha Sete Rubi Jundiaí - Estação da Luz, ligando a cidade com toda a capital.

2.2. Estação de tratamento de esgotos de Jundiaí

A Cia Saneamento de Jundiaí - CSJ, fundada em 1995, construiu a Estação de Tratamento de Esgotos de Jundiaí – ETEJ com o objetivo de tratar todo o esgoto da cidade. A meta foi atingida e hoje todo o esgoto coletado pelo Departamento de Águas e Esgotos - DAE S/A recebe tratamento e disposição final adequados, garantindo um saneamento de qualidade e respeitando o meio ambiente. Além disso, o biossólido produzido no processo sofre reciclagem e beneficia a agricultura, sendo usado em culturas que não são de consumo direto da população.

O esforço da CSJ teve início numa concorrência pública pela menor tarifa e contou, na sua fundação, com o consórcio formado pelas empresas Augusto Velloso, Coveg e Tejofran.

Com a parceria dessas empresas associadas, a ETEJ entrou em operação no ano de 1998 e a CSJ passou a tratar o esgoto sanitário e industrial da cidade de Jundiaí, procurando sempre aprimorar sua operação, além de desenvolver projetos sociais de profissionalização, educação e conscientização.

As etapas que compõem o sistema de tratamento da fase líquida estão listadas abaixo:

- Gradeamento mecanizado;
- Bombas submersas;
- Caixa de areia com remoção de sólidos sedimentáveis através de parafusos sem fim;
- Lagoas de aeração com difusores de ar (degradação biológica);
- Lagoas de decantação (2,0% de sólidos); e
- Lançamento final.

As unidades de tratamento da fase sólida são:

- Bombas de Sucção;
- Sistema de desagamento do lodo pelo uso de centrífugas (20% de sólidos);
- Compostagem (60% de sólidos).

As Figuras 2 e 3 mostram a unidade de decantação do lodo e as centrífugas que são responsáveis por desidratar o lodo.

Figura 2 – Lagoa de decantação do lodo.

Figura 3 - Centrífugas utilizadas para desidratação do lodo.

Atualmente, o sistema é responsável pelo tratamento de 95% dos esgotos gerados no município, oriundos da contribuição de uma população em torno de 397.000 mil habitantes. De todo o volume de lodo tratado, 70 % representa lodo de origem sanitária e 30% industrial.

Por sua vez, a produção mensal de lodo atinge 14.000 m³.

2.3. Tratamento do lodo por compostagem em leiras aeradas

O lodo cru excedente do sistema de tratamento de esgoto é, primeiramente, submetido às etapas de tratamento da fase sólida, lagoa de decantação e desidratação por centrífugas, para concentração do seu teor de sólidos e formação da torta de lodo. A fim de eliminar as características indesejáveis do lodo gerado durante o tratamento dos esgotos e possibilitar o uso agrícola do biossólido, o processamento de higienização do mesmo ocorre por meio de compostagem termofílica do tipo leiras revolvidas.

O processo ocorre em galpões abertos e cobertos por estufas agrícolas (filme de polietileno transparente com espessura de 150 micra), construído sobre solo compactado e providos com dispositivos de drenagem e afastamento de águas pluviais (Figuras 4 e 5). O revolvimento das leiras, de conformação geométrica triangular, ocorre 1 vez ao dia, por meio de uso de um trator composteira, e

apresenta as seguintes dimensões: largura da base de 3,0 m, 1,0 m de altura e 240,0 m de comprimento (Figuras 6 e 7).

O galpão de compostagem tem capacidade para operar com 100 t/dia de lodo de esgoto desaguado com tempo de residência máxima de 30 dias. A área de estocagem tem capacidade de 60 dias de produção.

Figura 4 - Vista geral da planta de compostagem da ETE Jundiaí.

Figura 5 - Detalhe da leira de compostagem.

Figura 6 - Trator enleirador ou composteira utilizado no revolvimento das leiras.

Figura 7 - Vista geral do trator no galpão de compostagem.

O tratamento por compostagem termofílica responsável pela higienização do lodo gerado na ETEJ ocorre em duas etapas. Na primeira fase, o lodo

desidratado é disposto no galpão de compostagem e misturado com os resíduos estruturantes, formando diversas leiras. As leiras são revolvidas diariamente para homogeneização da mistura e aeração da massa em compostagem. Ressalta-se que, não há monitoramento de nenhum parâmetro durante essa etapa. A segunda fase é marcada pela transferência das leiras de compostagem para uma área denominada “área de estoque”. Neste momento, as leiras são reunidas em pilhas, formando os lotes, onde ocorrem a manutenção de temperaturas elevadas e a higienização, propriamente dita, do lodo. Observa-se o acompanhamento da temperatura ao longo de toda esta etapa. As análises físico químicas e microbiológicas para avaliação do produto final gerado são realizadas ao final desta segunda etapa.

O tempo médio do processo empregado na ETEJ até a etapa final com formação de composto orgânico humificado de interesse agrônômico foi estimado em 82 dias, sendo 30 dias para a etapa das leiras com a umidade final se aproximando de 40% e 52 dias de empilhamento com temperaturas superiores a 55°C na fase dos lotes (área de estoque) para higienização do lodo, alcançando uma redução de volume de 50 %. Destaca-se que, a responsável pelo sistema (Tera Ambiental) opera com no mínimo 30 dias de empilhamento, a fim de garantir a higienização eficiente do produto final.

O balanceamento da concentração de nutrientes, carbono e nitrogênio, fundamental para o bom desempenho do tratamento, é efetuado pela introdução de uma mistura homogênea de bagaço de cana, podas de árvores urbanas trituradas e resíduo de celulose, rica em carbono, na proporção de 1,5:1,0 (mistura homogênea de resíduos verdes rica em carbono: massa de lodo desidratada, respectivamente). As Figuras 8 e 9 apresentam os resíduos utilizados como fonte de C.

Figura 8 - Poda de árvores urbanas empilhada.

Figura 9 - Resíduos de celulose utilizados no processo.

Os resíduos aproveitados como fonte de carbono também têm função estrutural no processo, pois promovem uma porosidade ideal para a troca de gases e mantêm a umidade adequada na massa de compostagem (DUMONTET *et al.*, 1999). Por isso, o nome “resíduos estruturantes”. As Figuras 10 e 11 mostram detalhes da disposição dos resíduos para montagem das leiras.

Figura 10 - Disposição da torta de lodo para montagem das leiras.

Figura 11 - Introdução de material rico em carbono ao lodo de esgoto para formação das leiras.

O período de acompanhamento do processo e coleta de dados compreendeu os meses de janeiro de 2014 a dezembro de 2014, com o monitoramento dos 9 lotes de lodo tratados produzidos durante o ano.

A Tabela 9 identifica os lotes, a data inicial de formação desses lotes, a data da coleta para as análises e massa total do lote expressa em toneladas.

Tabela 9 - Identificação dos lotes monitorados no ano de 2014 com datas de formação dos lotes e datas das coletas para análise laboratorial.

Lote de lodo	Formação do Lote	Data da coleta para análise	Massa de lodo (ton)
Torta de lodo	-	13/03/2015	-
Torta de lodo	-	17/04/2015	-
Lote 1	03/01/2014	21/01/2014	4.132,27
Lote 2	13/02/2014	11/03/2014	4.732,32
Lote 3	10/03/2014	23/04/2014	2.021,96
Lote 4	02/05/2014	02/06/2014	4.665,35
Lote 5	04/06/2014	07/07/2014	3.751,00
Lote 6	09/07/2014	09/09/2014	2.066,15
Lote 7	15/08/2014	16/09/2014	3.710,58
Lote 8	02/09/2014	28/10/2014	5.014,73
Lote 9	13/10/2014	01/12/2014	418,34

A cada evento de amostragem, foram coletados materiais do lodo tratado nas pilhas dos lotes em posições e profundidades aleatórias, utilizando pás (Figuras 12 e 13). Após a coleta, as amostras foram homogeneizadas e colocadas em sacos plásticos limpos, conforme orientação dos laboratórios contratados (Instituto Agrônomo de Campinas – IAC e Bioagri Mérieux Nutrisciences Company), e entregues para análise.

Ressalta-se que, amostras de lodo bruto não foram analisadas juntamente com os lotes tratados. A critério da empresa, responsável pela operação, somente os lotes tratados eram enviados para os laboratórios para verificação. Neste caso, realizou-se o encaminhamento de duas amostras da torta de lodo, coletadas após a etapa de desaguamento realizada em centrífugas, neste ano de 2015, sendo a primeira em março e a segunda em abril.

Figura 12 - Torta de lodo coletada para análise.

Figura 13 - Lote tratado pronto para análise.

O monitoramento da temperatura durante a compostagem é imprescindível, haja vista a importância desse parâmetro no que se refere à eliminação dos patógenos presentes na massa em compostagem, viabilizando a aplicação do bio-sólido na agricultura.

A avaliação das características físicas, químicas e biológicas do bio-sólido gerado foi realizada por laboratórios contratados, a partir da análise dos parâmetros conforme item 4.4.

2.4. Análises laboratoriais

2.4.1. Análises físicas e químicas

Durante o monitoramento dos lotes de lodo em processo de higienização por compostagem termofílica foram acompanhadas as variáveis químicas e físicas, conforme descrito na Tabela 10.

O IAC foi o laboratório responsável pelas análises desse grupo de parâmetros.

Tabela 10 - Parâmetros físicos e químicos analisados

Aspectos	Parâmetros	Frequência
Físicos e químicos	pH (em água 1:10) Umidade, a 60 - 65°C Sólidos Totais Sólidos Voláteis Carbono orgânico Nitrogênio Kjeldahl Nitrogênio amoniacal Nitrogênio nitrato-nitrito Cálcio Enxofre Fósforo Magnésio Potássio Sódio CTC	1 análise a cada lote produzido
	Temperatura	A cada 3 dias (média)

Adicionalmente aos parâmetros físicos e químicos supracitados (tabela 10), foram monitorados os metais pesados listados na Tabela 11, sendo o laboratório Bioagri Mérieuxi Nutrisciences Company responsável pelas análises.

Tabela 11 - Metais pesados monitorados.

Aspectos	Parâmetros	Frequência
Metais pesados	Arsênio Bário Cádmio Cromo Chumbo Níquel Mercúrio Selênio Molibdênio Cobre Zinco	1 análise a cada lote produzido

As temperaturas dos lotes foram monitoradas utilizando o equipamento Termômetro Digital GULterm 200 da Gulton (Figuras 14 e 15).

Figura 14 - Sonda de temperatura com cabo de conexão.

Figura 15 - Indicador de leitura portátil do termômetro digital.

A determinação dos teores de metais pesados, realizadas no IAC, utilizou os método EPA-SW-846-3051a, com determinação por ICP-AES (USEPA, 2007), e EPA-SW-846-6010c, enquanto que no laboratório Bioagri a determinação foi conduzida conforme metodologia 3120 B, descrita em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) com preparo baseado em USEPA 3010A: 1992.

A umidade e os teores de sólidos totais e voláteis dos lotes foram realizados utilizando os procedimentos descritos no Método 2540 G do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) e IN nº 28 do MAPA. Destaca-se que a umidade e os sólidos voláteis foram estimados conforme perda de massa a 60°C e 500°C, respectivamente.

Os valores de pH foram medidos em extrato aquoso na proporção 1:10 (resíduo:água), segundo métodos descritos em Andrade e Abreu (2006).

As concentrações de N Total foram determinadas a partir do Método Kjeldahl descrito em Bremner (1996).

A determinação dos valores de nitrogênio amoniacal e nitrogênio nítrico (nitrato + nitrito) ocorreu através da metodologia de destilação por arraste a vapor descrita em Bremner (1996) e Mulvaney (1996), respectivamente.

A determinação do carbono orgânico foi realizada pelo método de Nelson & Sommers (1996) que dispensa o uso de equipamentos especializados, além de apresentar resultados satisfatórios e oxidar as frações de MO mais reativas no solo por meio do uso de íons dicromato em meio fortemente ácido.

Finalmente, a capacidade de troca catiônica foi indicada em conformidade com a recomendação IN nº 3 de 2015 do MAPA, que recomenda o manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos (BRASIL, 2014).

2.4.2. Análises microbiológicas

Durante a higienização do lodo na planta de compostagem da ETEJ foram acompanhadas as variáveis microbiológicas descritas na Tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetros biológicos analisados.

Aspectos	Parâmetros	Frequência
Microbiológicos	Coliformes termotolerantes	1 análise a cada lote produzido
	Salmonella sp	
	Ovos viáveis de helmintos	

As pesquisas destes parâmetros (coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e salmonella sp.) foram realizadas conforme metodologia descrita em *40 CFR Part 503. Appendix F*, (USEPA, 2003) pelo IAC.

Para análise da torta de lodo, também foi contratado o IAC.

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Higienização do lodo através de compostagem termofílica

Conforme descrito em Material e Métodos, foram avaliados e monitorados nove lotes de lodo gerados na ETEJ ao longo do ano de 2014. Todos os laudos dos laboratórios com os resultados das análises da torta de lodo (lodo bruto desidratado) e do lodo tratado por compostagem termofílica encontram-se nos Anexos I a XX.

3.1.1. Parâmetros físicos e químicos

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados físicos e químicos encontrados durante o monitoramento do biossólido gerado na ETEJ no ano de 2014.

3.1.1.1. Temperatura dos lotes

A temperatura dos lotes foi monitorada entre os meses de janeiro de 2014 e novembro de 2014, com a leitura de dados, praticamente, a cada três dias e somente na massa de compostagem que se encontrava empilhada na área de estoque, a qual a empresa operadora do sistema, Tera Ambiental, denomina “fase dos lotes”. Nesse período foram registrados dados de temperatura em 133 dias diferentes, com 5 leituras a cada data, sendo 62 dias compreendendo o período considerado quente (outubro a abril), e 71 dias de período frio (maio a setembro).

Nos nove gráficos apresentados na Figura 16, correspondente somente a partir do início do monitoramento das temperaturas na 2ª fase do processo de compostagem, verifica-se a incidência de temperaturas elevadas, mantendo-se acima de 60°C por mais de um mês, nos períodos quente e frio. Esse mesmo comportamento de temperatura em tratamento do lodo por compostagem termofílica foi constatado em Nakasaki *et al.* (1985), Morisaki *et al.* (1989) e Fernandes *et al.* (2009). Temperaturas acima de 70°C foram evitadas para não

comprometer o sistema, pela restrição do número de microrganismos na massa de compostagem, podendo ocasionar a insolubilização de proteínas hidrossolúveis, provocar alterações químicas indesejáveis e o desprendimento de amônia, principalmente quando o material possui baixa relação C/N, de acordo com Kiehl (2010) e (2012).

Nakasaki *et al.*, (1985), acompanhando 2 tratamentos de lodos de esgoto, com a finalidade de identificar os efeitos de três diferentes temperaturas (50, 60 e 70°C) durante a compostagem, observaram que a temperatura ótima para o processo está em torno de 60°C. Citam também que as bactérias termofílicas isoladas foram dominantes a 60 °C, com crescimento contínuo durante 8 horas, mas que a 70° C ocorre rápido decréscimo do número de células viáveis.

(a) - Lote 1

(b) - Lote 2

(c) - Lote 3

(d) - Lote 4

(e) - Lote 5

(f) - Lote 6

(g) - Lote 7

(h) - Lote 8

(i) - Lote 9

Figura 16 – Evolução do comportamento das temperaturas nos lotes de lodos 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g), 8 (h) e 9(i) na 2ª fase do processo de compostagem termofílica, ETEJ, Jundiaí-SP,

Tendo em vista que a resolução CONAMA 375/2006 recomenda que a temperatura, em sistemas de compostagem com revolvimento das leiras, se mantenha durante 15 dias a 55°C no mínimo, com revolvimento mecânico da leira durante pelo menos 5 dias ao longo dos 15 do processo, pode-se afirmar

que a operação do sistema está a contento, garantindo, a priori, a redução adicional de patógenos.

A fim de se comparar o comportamento da temperatura entre os lotes tratados, os dados foram agrupados para geração de gráfico do tipo boxplot (Figura 17).

Figura 17 - Variação da temperatura no período do monitoramento dos lotes tratados

Nos nove lotes monitorados, os valores máximos de temperaturas alcançados foram muito próximos, variando entre 64,3 e 67,9°C, registrados nos lotes L5 e L9, respectivamente. Por outro lado, diferenças um pouco mais acentuadas foram observadas nas temperaturas mínimas, onde os lotes L1 e L5 apontaram temperaturas em torno de 12% menores do que as registradas nos outros lotes, por volta de 52,5°C. Analisando as medianas, o lote L2 apresentou a maior temperatura, em torno de 65°C, seguido pelos lotes L6, L7, L9 (em torno de 64°C), e os demais lotes L3, L4 e L8 (por volta de 62,5°C), e L1 e L5 que apontaram valores próximos a 61,5°C (Figura 17).

Considerando todo o banco de dados e analisando o comportamento da temperatura com base nos valores registrados ao longo dos períodos quente e frio, observa-se que os valores foram muito semelhantes (Figura 18).

Figura 18 - Variação da temperatura nos lotes ao longo do período de monitoramento.

Os dois períodos, quente e frio, apresentaram temperaturas medianas muito próximas, 62,96 e 62,8°C, respectivamente. Da mesma forma, os picos máximos de temperatura foram bem parecidos, com variação de temperatura de apenas 1°C, com registro de 67,94 e 66,8°C, respectivamente. Em termos mínimos, em todo o período analisado, a temperatura nos períodos quente e frio dos lotes tratados foi a que apresentou a maior diferença, sendo 51,70 e 53,16°C, respectivamente. Contudo, essa diferença foi pouca significativa e curiosa, tendo em vista que o período quente (outubro a abril) apresentou o menor valor de temperatura mínima.

3.1.1.2. pH

Na figura 19, observa-se que a torta do lodo apresenta pH médio em torno da neutralidade, 7,6, e que, de maneira geral, todos os lotes tenderam a alcalinização após o tratamento, com valores bem variados: 7,8 (L3), entre 8,6 e 9,1 (lotes L1, L4, L5, L6, L7 e L9) e acima de 12 (Lote L8). O lote L2 não teve o valor de pH alterado após o tratamento.

(a) - Lote 1

(b) - Lote 2

(c) - Lote 3

(d) - Lote 4

(e) - Lote 5

(f) - Lote 6

(g) - Lote 7

(h) - Lote 8

Lote 9 (i)

Figura 19 – Evolução dos valores de pH dos lotes tratados 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g), 8 (h) e 9(i) desde a torta de lodo até a geração do material compostado final, por leiras revolvidas.

O aumento dos valores de pH pode ter sido resultado da passagem da fase mesófila para a termófila, a qual é marcada pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia, mantendo, normalmente, o pH alcalino (7,5 - 9,0) (FERNANDES E SILVA, 2000). Essa tendência de elevação também pode ser explicada pela reação entre ácidos orgânicos e traços de ácidos minerais com as bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina. Ocorre também a formação de humatos alcalinos, decorrentes da reação dos ácidos húmicos com elementos químicos básicos (EGREJA FILHO, 1993; KIELHL, 2012). A elevação dos níveis de pH, em torno de 10, também foi relatada por Silva *et al.* (2008) em pesquisas sobre a compostagem de lodo de tanque séptico e resíduos sólidos vegetais, com 3 tratamento distintos: (i) 100% resíduos vegetais; (ii) 5 % Lodo de tanque séptico + 95% resíduos vegetais; e (iii). 10% Lodo de tanque séptico + 90% resíduos vegetais. Gouvêa e Pereira

Neto (1997) estudando a disponibilidade de metais pesados, a partir da compostagem em 4 experimentos, sendo eles: (i) 100% de Lodo de Esgoto; (ii) 70% de Lodo de Esgoto mais 30% de Fração; (iii) 60% de Lodo de Esgoto mais 40% de Composto; e (iv) 60% de Lodo de Esgoto mais 40% de Cavacos de Madeira, também narram esse incremento nos valores de pH.

Os valores alcançados após o tratamento na ETEJ estão todos acima do valor mínimo de 6,0 estipulado pela IN nº 25 do MAPA para compostos orgânicos classe D (BRASIL, 2009) (Figura 20).

Figura 20 - Variação dos valores de pH após o a tratamento dos lotes pelo processo de compostagem.

Com isso, observa-se que a compostagem gera um condicionador de solo com pH favorável para a realidade brasileira, onde há predomínio de solos antigos, demasiadamente intemperizados.

3.1.1.3. Umidade

O processo de desaguamento do lodo adotado na ETEJ consiste no uso de centrífugas horizontais que realizam a separação do sólido-líquido forçada pela ação de uma força centrífuga. Essa redução do teor de umidade é alcançada

pela centrifugação do lodo (GONÇALVES *et al.*, 2001b). Evidencia-se, também, a existência de lagoas de decantação que promovem um adensamento natural do lodo bruto e da etapa de condicionamento prévio do lodo ao desagramento, a partir do uso de polímero catiônico, influenciando diretamente na eficiência do processo mecanizado utilizado, tendências essas confirmadas com os resultados obtidos, onde o lodo decantado, que apresenta 98,0% de umidade, gera, ao ser submetido à centrifugação, uma torta de lodo com o índice médio de umidade de 82%.

Conforme citado no item 3.7.3.3, a umidade inicial da mistura de lodo de esgoto com agente estruturante deve se situar entre 55 a 60%. Elevados teores de umidade, na massa de compostagem, promovem a aglutinação de partículas, o que baixa a resistência estrutural da leira, restringindo sobremaneira a difusão de oxigênio. Este fato reduz a concentração de oxigênio e a temperatura média das leiras, promovendo a diminuição da degradação da matéria orgânica e a instalação de condições anaeróbias na massa de compostagem, com consequências indesejáveis, tais como: odores, atração de vetores e chorume. Por outro lado, baixos teores de umidade reduzem a atividade microbológica, diminuindo a taxa de estabilização, o que de maneira geral, leva à produção de um material final fisicamente estável, mas biologicamente instável (PEREIRA NETO, 2007; POINCELOT, 1975 citado por PEREIRA NETO E NEVES LELIS, 1999).

Ao final do processo da compostagem, foi observada tendência de redução dos teores de umidade, com 75% dos lotes tratados apresentando teor de umidade em torno de 40% e 50% apresentando umidade final de aproximadamente 34% (Figura 21). Esses valores de umidade estão dentro do intervalo considerado ideal por Lelis (1998) citado por Souza (2002) que é de 30 a 40%.

Figura 21 - Distribuição dos valores de umidade após o tratamento por compostagem na ETEJ.

Esse decréscimo acentuado dos teores de umidade, com resultados finais dentro da faixa de valores de 30 a 40 % também foi observado em aproximadamente 80 % dos tratamentos conduzidos por Silva *et al.* (2008), com exceção de dois tratamentos que apresentaram teores ligeiramente abaixo, sendo 29 e 29,6%.

O valor mínimo alcançado de umidade foi de 19,8% referente ao lote L2, sendo seguido pelo lote L4 com 21,9% de umidade. O pior resultado verificado, ou seja, o valor máximo de umidade observado foi do lote L8, que registrou 69,2% de umidade (Figura 22). A baixa redução no índice deste parâmetro pode ser justificada pela número insuficiente de revolvimentos.

(a) - Lote 1

(b) - Lote 2

(c) - Lote 3

(d) - Lote 4

(e) - Lote 5

(f) - Lote 6

(g) - Lote 7

(h) - Lote 8

(i) - Lote 9

Figura 22 - Evolução do comportamento da umidade registrada na torta de lodo e após o tratamento por compostagem na ETEJ com geração do bio sólido, nos lotes 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g), 8 (h) e 9(i).

A redução dos teores de umidade reflete as altas temperaturas alcançadas nas leiras de compostagem durante os tratamentos do lodo de esgoto, proporcionando perda de água na forma de vapor e através das trocas gasosas. Destaca-se que o sistema de compostagem em discussão faz uso apenas da umidade natural no lodo de esgoto, não realizando aumento desse parâmetro de forma artificial, rega de água, por exemplo.

3.1.1.4. Sólidos totais e sólidos orgânicos

A diminuição da umidade do lodo ao longo do tratamento por compostagem termofílica resultou, naturalmente, em acréscimo dos teores de ST. A torta de lodo, após o desaguamento em centrífugas, apresentou teores de ST de 19,4 e 52,6%. O segundo valor apontado em laudo laboratorial (Anexo XIX) é demasiadamente alto para o sistema de desidratação adotado no sistema, a centrifugação, quando confrontado com Ferreira e Andreoli (1999a) que citam concentrações de ST em bio sólidos desidratados em centrífugas na ordem de 20 a 30%, consistindo em uma das alternativas mais adequadas para a desidratação de lodos, principalmente devido à sua facilidade de operação e boa consistência do lodo desidratado, podendo ser manipulado como sólido.

Durante a compostagem houve elevação deste parâmetro, com valores tão altos quanto 80,2%, exceto o lote L8, que apresentou redução no valor da umidade final, 30,8%, índice este inferior ao valor médio identificados nos lotes que é de 36% (Figura 23).

Quanto aos sólidos orgânicos, como pode ser observado na figura 23, houve elevação em todos os lotes tratados quando comparados com a quantidade média diagnosticada na torta de lodo (23,9%). O que está em desacordo com as observações de KIEHL (2012), que sugere uma redução nos valores desse parâmetro devido ao processo de mineralização da matéria orgânica. Tal incremento pode ser justificado pelo aporte do material estruturante, rico em carbono, quando da formação das leiras conforme relatado no item 4.2.

(a) - Lote 1

(b) - Lote 2

(c) - Lote 3

(d) - Lote 4

(e) - Lote 5

(f) - Lote 6

(g) - Lote 7

(h) - Lote 8

(i) - Lote 9

Figura 23 – Evolução dos teores de Sólidos Totais - ST (%) e Sólidos Voláteis - SV (%) na torta de lodo e após o tratamento com formação de biossólido, nos lotes 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g), 8 (h) e 9(i).

3.1.1.5. Carbono orgânico, formas nitrogenadas e a relação C/N

A diminuição do carbono orgânico evidenciada nas figuras 24 e 25 reflete a decomposição e estabilização da matéria orgânica promovida pelos microrganismos atuantes no tratamento por compostagem termofílica.

Observa-se que na torta de lodo, a concentração média de carbono encontrada foi de 288,5 g de C/Kg de lodo e ao final do tratamento 50% dos lotes possuíam 189,0 g de C/Kg, uma redução de aproximadamente 35% (Figura 24).

Figura 24 – Concentrações de carbono orgânico identificados na torta e nos lotes tratados.

A Figura 25 permite visualizar o comportamento do carbono orgânico de cada lote de lodo tratado, sendo interessante destacar a maior redução alcançada, por volta de 43%, no lote L9; e a menor, observada no lote L6, com redução de somente 12,65%.

Figura 25 – Evolução do comportamento do carbono orgânico em cada lote produzido na ETEJ, da torta de lodo até a geração do biossólido.

A diminuição do carbono orgânico à medida que ocorre a degradação na compostagem, a princípio não parece ser vantajosa, pois haverá menor quantidade desse material no fim do processo. Todavia, as plantas se alimentam de nutrientes minerais solúveis e não do carbono orgânico. Portanto, ao final do processo da compostagem haverá nutrientes e húmus, o qual é imprescindível para melhorar as propriedades físicas do solo e servir como condicionador dos nutrientes presentes no biossólido e no solo. Essa mistura ou combinação dos sais minerais nutritivos com o húmus gera um verdadeiro fertilizantes organomineral (KIEHL, 2012). Ressalta-se que a incorporação de material palhoso no início do processo, como fonte de carbono, para viabilização da compostagem, pode ter interferido nos resultados, pois há adição deste parâmetro na mistura (lodo de esgoto + resíduos vegetais) e, portanto, maiores valores percentuais de redução seriam diagnosticadas na realidade.

O nitrogênio presente nos resíduos orgânicos encontra-se predominantemente na forma orgânica, o qual é transformado pela compostagem, primeiramente, em nitrogênio amoniacal, conferindo à massa em decomposição um pH mais

elevado. Pelo processo de nitrificação, bactérias do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, oxidam o nitrogênio amoniacal (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-) e este a nitrato (NO_3^-), respectivamente, finalizando o processo. Essas reações de nitrificação consomem a alcalinidade do meio, possivelmente reduzindo o pH (VON SPERLING, 2002; KIEHL, 2012). Conforme Von Sperling (2002), tem-se:

- Nitrogênio Kjeldahl (NTK) = amônia + nitrogênio orgânico
- Nitrogênio Total (NT) = NTK + NO_2^- + NO_3^-

Posto isto, a tabela 13 e as figuras 26, 27 e 28 demonstram o comportamento do nitrogênio durante o monitoramento do sistema de compostagem da ETEJ. Inicialmente, a torta de lodo apresenta altos índices de NT, com prevalência do nitrogênio na forma orgânica em detrimento de amônio e nitritos/nitratos (Tabela 13).

Tabela 13 – Valores médios das formas nitrogenadas na torta de lodo

Parâmetro	Torta de Lodo
	g de N / Kg*
NT	30,960
NTK	30,950
Namoniacal	0,0200
Nitrato-nitrito	0,0062

*Valor médio.

A Figura 26 apresenta o nitrogênio total existente na torta de lodo e os valores alcançados nos lotes tratados, permitindo afirmar que após a compostagem termofílica há redução significativa do nitrogênio orgânico, atingindo uma diminuição média de aproximadamente 48%, diminuindo de 30,96 g de N / Kg na torta do lodo para uma média de 14,81 g de N / Kg nos lotes após o tratamento. Desempenho semelhante foi diagnosticado em Morisaki (1989) em um sistema de compostagem de lodo de esgoto desidratado sem agente

estruturante conduzido em reatores. Vale mencionar que, o lote L8 apresentou a menor redução de nitrogênio orgânico.

Figura 26 - Alterações nas formas nitrogenadas durante a compostagem de lodo de esgoto.

A redução do nitrogênio orgânico reflete a decomposição da massa em compostagem, o que implica na formação de íon amônio e nitratos, dependendo do grau de maturação do material. Incrementos de íon amônio podem ser observados na figura 27, com elevação média nos lotes tratados de 3.606%, isto é, a torta de lodo apresentava apenas 24,55 mg de N/Kg na forma de íon amônio passando para média de 885,16 mg de N/Kg. Destaca-se que, as maiores adições de nitrogênio amoniacal ocorreram nos lotes L6, L2 e L9 com concentrações acima de 1.200 mg de N/Kg chegando até aproximadamente 1.450 mg. Enquanto isso, os lotes L3 e L8 apresentaram baixa geração de íon amônio, principalmente o segundo, registrando valores de 186 e 40,4 mg de N/Kg (Figura 27).

Figura 27 – Variação da concentração de nitrogênio amoniacal nos tratamentos conduzidos na ETEJ.

No que diz respeito à mineralização completa do nitrogênio, ou seja, formação de nitritos e nitratos, tem-se os resultados apresentados na Figura 28, com incrementos significativos nos lotes L4, L5 e L1, registrando ganhos em torno de 2.790, 2.451 e 1.919%, saindo de uma condição de baixíssima concentração na torta do lodo, 6,2 mg de N/Kg, para concentrações de 173, 152 e 119 mg de N/Kg após a conclusão do tratamento por compostagem termofílica. Ressalta-se que o valor da torta de lodo refere-se à média encontrada nas duas análises. O valor médio de aumento deste parâmetro apontado nos lotes submetidos ao tratamento nas leiras de compostagem foi de aproximadamente 1.105%, isto é, 68,50 mg de N/Kg. O lote L8 não apresentou mudança na concentração da forma nitrogenada em questão, enquanto que os nos lotes L7 e L6 foram registradas alterações mínimas, praticamente inexistentes (Figura 28).

Figura 28 – Comportamento e formação de nitrato-nitrito durante o tratamento do lodo na ETEJ.

Os teores de nitrogênio no bioossólido são determinantes quando se pensa no seu aproveitamento agrícola, em virtude da alta mobilidade no solo do nitrato, que desloca-se facilmente para baixo da zona radicular na culturas agrícolas, podendo causar grandes impactos na qualidade das águas subterrâneas (FERREIRA E ANDREOLI, 1999c).

Quanto à relação C/N, não foi possível identificá-la no início do processo, uma vez que foram realizadas análises laboratoriais das concentrações dos nutrientes (C e N) apenas na torta de lodo e nos lotes tratados (bioossólido) pelo método da compostagem, não considerando assim a quantidade de C introduzida no processo através da inserção de material estruturante, que é rico neste elemento. Valores mais condizentes com a realidade seriam diagnosticados, caso fosse feita coleta e análise da mistura do lodo com o material estruturante quando da montagem das leiras. Deste modo, a relação média C/N encontrada nas duas amostras da torta de lodo, em torno de 9, está muito abaixo dos valores praticados e recomendados na literatura especializada para o princípio do processo, que varia na faixa de 30 a 40/1 (PEREIRA NETO, 2011); 25 a 35/1, sendo 30/1 o valor mais favorável (KIEHL, 2012). Por outro lado, a relação C/N identificada no bioossólido esteve sempre abaixo de 20, valor dentro do limite máximo permitido pela legislação que é de 20/1 para compostos orgânicos classe D (BRASIL, 2009), com valor médio de 13,70 (Figura 29). Os resultados para este parâmetro foram satisfatórios

demonstrando a maturação do material, inclusive para o lote L8, o qual apresentou menor redução de NT, com as menores formações de amônio e nitratos. Moretti (2013) em estudo sobre compostagem de lodo de esgoto com poda de árvores urbanas para uso na cultura da cana-de-açúcar, reporta resultados semelhantes, com registro da redução da relação C/N inicial de 25/1 para valores em torno de 12/1 no bio sólido. Em estudo realizado por Jouraiphy *et al.* (2005), utilizando compostagem de lodo de esgoto e resíduo vegetal, também verificou-se significativa redução da relação C/N, com valor inicial de 29,8/1 para uma relação final de 12/1 produto final.

Figura 29 - Relação C/N nos lotes tratados e a maturidade do bio sólido gerado.

As concentrações finais dos nutrientes (C/N) apontadas demonstram a mineralização e estabilização do material promovidas após o tratamento por compostagem termofílica. Logo, trata-se de material humificado, com grande aptidão para fins agrícolas.

3.1.1.6. Capacidade de Troca Catiônica - CTC

A CTC é um parâmetro que indica principalmente o grau de estabilidade do composto, sendo considerada um excelente e confiável parâmetro de

monitoramento da maturação do composto, pois a medida que se forma o húmus há um aumento na CTC (KIEHL, 2012).

O grau de maturação e da qualidade do composto, também pode ser medido relacionando-se a CTC com o teor de carbono orgânico (KIEHL, 2010), sendo que valores de CTC/COT acima de 1,7 indicam que a matéria orgânica do composto está bem humificada (ROIG *et al.*, 1988).

Ressalta-se que, a CTC é afetada pelo pH, uma vez que a quantidade de cargas negativas, as quais adsorvem cátions, aumenta na razão direta deste. Assim, quando ocorre diminuição da acidez, a quantidade de íons hidrogênio em solução também decresce, fazendo com que mais grupos hidroxílicos se dissociem (LEPSCH, 2011).

O valor médio de CTC encontrado na torta de lodo, 391 mmol/kg, foi parecido ao reportado em Moretti (2013), cuja CTC registrada no lodo bruto foi de 380 mmol/kg. Embora os lotes L5 e L6 tenham apresentado aumento nos valores da CTC, 401 e 404 mmol/kg, respectivamente, a maioria dos lotes tiveram seus valores de CTC reduzidos, sendo que a média das concentrações apontadas em laboratório ficou em torno de 315 mmol/kg, uma redução média equivalente a 19% (Tabela 14). Reduções mais acentuadas da CTC também foram apontadas no estudo de Moretti (2013).

Tabela 14 – Valores da CTC diagnosticados no lodo gerado na ETEJ.

Material	CTC (mmol/kg) ⁽¹⁾
Torta de Lodo	391,00*
Lote 1	215,00
Lote 2	371,00
Lote 3	257,00
Lote 4	357,00
Lote 5	401,00
Lote 6	404,00
Lote 7	229,00
Lote 8	291,00
Lote 9	314,00
Média Lotes	315,44

(1) Resultados expressos em base seca.

* Valor médio.

Scheffer e Ulrich (1960) e Dubach e Metha (1963) citados por Harada e Ynoko (1980) afirmam que a CTC de substâncias húmicas do solo diminuiu com o aumento da polimerização devido à progressão da humificação. Kyuma e Kawaguchi (1964) também mencionados pelos autores, relataram tendências de aumento da CTC com aumento do grau de humificação, todavia o maior grau de humificação apresentou o menor valor da CTC.

A CTC presente na matéria orgânica humificada desempenha papel importante na adsorção de cátions e disponibilização destes para às raízes das plantas ou solução do solo. Além disso, promove a formação de quelados de metais pesados, reduzindo sua mobilidade e consequentemente sua absorção pelas plantas, bem como aumento na capacidade de retenção de nutrientes e água, (KIEHL, 2010; 2012)

Em relação às especificações técnicas exigidas pelo MAPA (BRASIL, 2009), o mesmo não estipula valores mínimos ou máximos para esta característica exigindo apenas que seja informado no rótulo do produto comercial.

3.1.1.7. Metais pesados

No que tange aos teores de metais pesados presentes na torta de lodo e tendo em vista a legislação mais restritiva, IN nº 27 MAPA (limites máximos admitidos em fertilizantes orgânicos), tem-se a seguinte situação (Tabela 15):

- Ar, Ba, Cr, Pb, Hg, Se, Mo, Cu e Zn tiveram resultados dentro dos níveis permitidos;
- Cd apresentou índices mais elevados do que os previstos na IN, com concentração aproximadamente 3 vezes maiores do que o admitido; e
- Ni expôs resultado levemente acima do permitido, sendo praticamente igual ao limite estabelecido.

Os resultados superiores aos índices permitidos eram esperados, uma vez que a estação recebe esgoto industrial para o tratamento.

Por outro lado, os resultados das análises de metais pesados para todos os lotes tratados por compostagem termofílica sempre estiveram abaixo dos limites estipulados pelo arcabouço legal que trata do assunto: Resolução CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006) e Instrução Normativa - IN nº 27 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2006b) (Tabela 15).

Tabela 15 - Concentrações de metais pesados presentes na torta de lodo e nos biossólidos e limites estabelecidos pelas legislações vigentes.

Material	Un. ⁽¹⁾	Ar	Ba	Cd	Cr	Pb	Ni	Hg	Se	Mo	Cu	Zn
Torta de Lodo	mg/kg	13,35	916,5	8,45	152	91,705	72,95	< 1,0	< 1 ⁽²⁾	21,4	600	2712
Lote 1	mg/kg	< 1 ⁽²⁾	382,00	2,06	65,00	44,00	30,00	0,24	< 1 ⁽²⁾	< 1 ⁽²⁾	149,00	536,00
Lote 2	mg/kg	< 1 ⁽²⁾	491,00	2,17	73,00	51,00	33,00	0,50	< 1 ⁽²⁾	11,0	241,00	548,00
Lote 3	mg/kg	< 1 ⁽²⁾	345,00	2,50	67,00	46,00	32,00	0,55	< 1 ⁽²⁾	8,0	192,00	588,00
Lote 4	mg/kg	< 1 ⁽²⁾	210,00	<0,	40,00	22,00	18,00	0,21	< 1 ⁽²⁾	< 1 ⁽²⁾	109,00	283,00
Lote 5	mg/kg	< 1 ⁽²⁾	86,40	< 1	13,80	8,05	5,89	<	1,17	1,99	39,80	110,00
Lote 6	mg/kg	< 1 ⁽²⁾	275,00	1,25	49,20	70,70	21,50	0,64	< 1 ⁽²⁾	5,37	154,00	344,00
Lote 7	mg/kg	< 1 ⁽²⁾	268,00	1,21	48,70	25,00	22,20	0,51	< 1 ⁽²⁾	< 1	128,00	415,00
Lote 8	mg/kg	< 1 ⁽²⁾	374,00	2,17	69,20	33,90	32,90	0,67	< 1 ⁽²⁾	9,07	184,00	465,00
Lote 9	mg/kg	2,05	253,00	< 1	52,00	24,20	23,00	0,52	< 1 ⁽²⁾	5,68	124,00	354,00
Média Lotes	mg/k	-	298,27	-	53,10	36,09	24,28	0,43	-	-	146,76	404,78

Referências

CONAMA 375/2006	mg/kg	41	1000	39	1000	300	420	17	100	50	1500	2800
MAPA IN 27(substrato/condicionador)	mg/kg	20	-	8,0	500	300	175	2,5	80	-	-	-
MAPA IN 27(fertilizante orgânico)	mg/kg	20	-	3,0	200	150	70	1,0	80	-	-	-

(1) Resultados expressos em base seca.

(2) Não quantificado, concentração menor do que o limite de quantificação.

As reduções nos níveis dos metais pesados observadas no biossólido após o tratamento foram próximas a 67,50% para o Ba, 65% para o Cr, 60,70% para o Pb, 67% para o Ni, 75,5% para o Cu e 85 % para o Zinco. Cabe destacar que as deduções foram computadas comparando-se o valor médio das duas

análises da torta de lodo e a média dos lotes tratados. Além disso, os elementos que apresentaram dados não detectáveis em pelo menos um dos lotes não foram submetidos a esse tipo de comparação, mas reitera-se que também sofreram sensíveis diminuições (Figura 30).

(a) - Cr, Pb, Ni

(b) - Ba e Cu

Figura 30 - Reduções dos teores de alguns metais pesados no bioossólido produzido na ETEJ, (a), (b) e (c).

Tais decréscimos nos níveis dos metais pesados no bioossólido podem ser justificados pela adição e mistura de grande quantidade de material estruturante rico em carbono com o lodo durante a preparação das leiras para a compostagem, fato que “dilui” a concentração destes elementos no produto final (FERNANDES *et al.*, 1993); pela presença da matéria orgânica contida no bioossólido, principalmente quando rica em húmus, que tem papel fundamental na retenção dos metais, em virtude da sua capacidade de troca de cátions; e pela formação de quelatos, que é um componente da matéria orgânica humificada e complexos organometálicos, que formam complexos estáveis com íons metálicos, reduzindo a mobilidade e a adsorção pelas plantas quando empregados na agricultura. Além desses fatores, a elevação do pH observada no bioossólido também pode, em tese, influenciar na dinâmica e disponibilidade dos metais pesados (GOUVEIA e PEREIRA NETO, 1997; MONTEIRO LOPES, 2008; KIEHL, 2012).

Portanto, o bioossólido produzido na ETEJ pode ser considerados de boa qualidade para o uso agrícola, sendo o sistema de compostagem da estação um bom auxiliar para controlar a disponibilidade de metais no produto final, bem como a fitotoxicidade em relação às plantas quando do seu emprego para fins agrícolas.

Moretti (2013), de forma bem menos pronunciada, também conseguiu reduzir a disponibilidade dos metais pesados diagnosticado no biossólido após o processo de compostagem, com abatimentos girando em torno de 25% para o Ba, Cr, Pb, Ni, Cu, e Zn.

3.1.1.8. Macronutrientes

O biossólido contém macronutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, cumprindo papel fundamental na produção agrícola e na fertilidade do solo. As suas concentrações dependem do material que lhe deu origem e do processo de tratamento do esgoto e do lodo (ANDREOLI *et al.*, 2001c).

A caracterização química desses elementos no produto final (biossólido) observada na Figura 31 indica incrementos nos teores de Ca, Mg e K, sendo que o aumento nas concentrações, principalmente de Ca e K, são justificados pela adição de resíduos estruturantes vegetais, bagaço de cana, podas urbanas e resíduos de celulose (vide item 4.2), utilizados no processo como fonte de C. Os valores médios aproximados de Ca (31,5 g/kg), Mg (3,8 g/kg) e K (9,0 g/kg) (Figura 31) na massa final de compostagem (biossólido) foram superiores aos identificados por Barreira (2005) ao analisar biossólidos de 16 usinas de compostagem situadas no estado de SP, Ca (25,6 g/kg), Mg (2,7 g/kg) e K (3,5 g/kg). Incrementos nas concentrações desses elementos foram diagnosticados em estudos de compostagem conduzidos por Moretti (2013). As concentrações médias de fósforo presentes tanto na torta de lodo (19 g/kg) como no biossólido (~6 g P/kg) foram muito abaixo dos identificados por Barreira (2005) (340 g/kg). A manutenção dos valores de P e Mg foi constatada em Moretti (2013). Os teores de enxofre apresentaram em média, queda acentuada na ordem de 72%, alterando dos 33 mg/kg iniciais indicados na torta de lodo para 9,3 mg/kg no produto final (biossólido) (Figura 31). Dados de abatimentos em torno de 44% de S foram registrados nos estudos de compostagem conduzidos por Moretti (2013).

(a) - Ca, S, P

(b) - Mg, K

Figura 31 - Comportamento dos macronutrientes face tratamento do lodo na ETEJ, (a) e (b).

Pode-se afirmar que o rebaixamento dos níveis de fósforo no biossólido ocorreu em decorrência do seu consumo por parte dos microrganismos atuantes na conversão da matéria orgânica ao longo da compostagem, tendo em vista que este elemento é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos, responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2005). Da mesma forma, o enxofre também é essencial para a vida dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, pois tem papel importante na constituição das moléculas de proteínas, estando presente na estrutura de diversos aminoácidos, enzimas, vitaminas e outros compostos orgânicos.

3.1.2. Parâmetros biológicos

Este item tem o intuito de apresentar e discutir os resultados microbiológicos encontrados ao longo do monitoramento do lodo e do biossólido produzidos na ETEJ no ano de 2014.

3.1.2.1. Coliformes Termotolerantes (CT), Salmonella sp. e ovos viáveis de helmintos

Na figura 32 é apresentada a evolução das temperaturas médias dos Lotes L1 a L9 ao longo de todo o período de tratamento. Cabe esclarecer que, o período inicial nos gráficos identificados sem registro de temperaturas se refere, primeiramente, aos 30 dias adotados como de ocorrência da fase da montagem das leiras e homogeneização da mistura, onde nenhum parâmetro foi monitorado. Além desse período da primeira fase, ocorre que alguns lotes não tiveram a primeira notificação de temperatura realizada imediatamente após a formação do lote (Anexo I a IX), como é o caso do Lote L2, que precisou de mais 32 dias além dos 30 da primeira fase para iniciar o seu monitoramento.

A fase termófila, caracterizada por temperaturas acima de 45° C, ocorreu em todos os lotes, logo no início da fase dos lotes, normalmente após o quinto dia da chegada do material das leiras e formação das pilhas dos lotes na área de estoque, e permanece até o final do monitoramento/processo, período que alcançou a marca de 82 dias em média. Destaca-se que em todos os lotes verificou-se a ocorrência de temperaturas elevadas, entre 60 e 70°C, por quase todo o período de monitoramento.

De acordo com a Resolução nº 375 do CONAMA (BRASIL, 2006a), para obtenção de biossólidos do tipo A em Processos de Redução Adicional de Patógenos - PRAP do tipo compostagem com revolvimento das leiras, a temperatura das pilhas deve ser mantida 15 dias a 55° C no mínimo, com revolvimento mecânico da leira durante pelo menos 5 dias ao longo dos 15 do processo, de tal modo que o binômio tempo-temperatura obtido neste estudo seria suficiente para tal desinfecção. Para a verificação da aceitabilidade do

processo de tratamento por meio de compostagem quanto à redução de atratividade de vetores, exige-se que durante o processo a temperatura seja mantida acima de 40°C por pelo menos 14 dias e que a temperatura média durante este período seja superior a 45°C Resolução nº 380 CONAMA (BRASIL, 2006c).

Pesquisa realizada por Jouraiphy *et al.* (2005) verificou significativa redução da densidade de clostrídios, caracteristicamente agentes patogênicos, em função das elevadas temperaturas alcançadas, entre 60 e 70°C. Observou-se ainda, redução de outros microrganismos ao final dos 135 dias do processo de compostagem, como bacilos e leveduras. Em consonância, outros estudos envolvendo o tratamento de lodo de esgoto aplicando-se o processo de compostagem, como os realizados por Bruni (2005), Fernández *et al.* (2010) e Khalil *et al.* (2011), alcançaram elevadas temperaturas capazes de inativar microrganismos patogênicos presentes no lodo de esgoto.

Conforme explicado no item 4.3, a primeira fase do sistema de compostagem objeto de estudo se refere à etapa de montagem das leiras e revolvimento mecânico diário para homogeneização do lodo de esgotos com o resíduo rico em C, bem como aeração e liberação de calor das leiras; enquanto que a segunda etapa diz respeito ao empilhamento das leiras formando os lotes, com acompanhamento periódico da temperatura.

(a) - Lote 1

(b) - Lote 2

(c) - Lote3

(d) - Lote 4

e) - Lote 5

(f) - Lote 6

(g) - Lote 7

(h) - Lote 8

(i) - Lote 9

Figura 32 - Evolução das temperaturas médias dos Lotes 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g), 8 (h) e 9(i) durante o processo de compostagem.

O monitoramento do lodo de esgoto bruto da ETEJ identificou, no início do processo, 2.467,20 NMP/g de CT, ausência de *Salmonella sp.* e 0,27 ovos viáveis de helmintos /g de ST. Evidencia-se assim a reduzida contaminação microbiológica do lodo, ao menos no que se refere aos organismos monitorados.

Destaca-se que para os lotes a eficiência do processo foi semelhante, com ausência de Coliformes Termotolerantes e de *Salmonella sp.* Em relação a

ovos de helmintos, verificou-se uma concentração média de 0,053 Ovos de helmintos /g de ST, sendo que nos Lotes L3, L4, L5, L6, L7, L8 e L9 verificou-se ausência de ovos de helmintos viáveis (Tabela 16).

Tabela 16 - Resultados do monitoramento de coliformes termotolerantes, *Salmonella sp.* e ovos viáveis de helmintos no lodo bruto e durante o processo de compostagem.

Material	Coliformes Termotolerantes	<i>Salmonella sp.</i>	Ovos viáveis de helmintos
	NMP/g	NMP/10 g	Ovos/g de ST
Torta de Lodo 1	4.528,30	Ausente	0,37
Torta de Lodo 2	406,09	Ausente	0,17
Média Torta	2.467,20	Ausente	0,27
Lote 1	0	Ausente	0,15
Lote 2	0	Ausente	0,15
Lote 3	0	Ausente	0
Lote 4	0	Ausente	0
Lote 5	0	Ausente	0,13
Lote 6	0	Ausente	0
Lote 7	0	Ausente	0
Lote 8	0	Ausente	0,05
Lote 9	0	Ausente	0
Média Lotes	0	Ausente	0,053

As concentrações alcançadas, ausência de Coliformes Termotolerantes e *Salmonella* e concentração máxima de 0,15 ovos de helmintos /g de ST (Tabela 17), encontram-se abaixo dos valores máximos recomendados pela resolução nº 375 do CONAMA (BRASIL, 2006a) e pela IN nº27 do MAPA (BRASIL, 2006b). Destaca-se, no entanto, as reduzidas concentrações encontradas já no lodo bruto, o que favoreceu o cumprimento das determinações da Resolução CONAMA. Estudos realizados envolvendo a presença de *Salmonella*, têm verificado que acima de temperaturas de 55°C, obtidas por três dias, a concentração de *Salmonella* pode ser reduzida a

valores abaixo do limite de detecção (WICHUK e McCARTNEY, 2007). No entanto, a ausência de *Salmonella* sp. já no lodo bruto impede que possa se verificar a eficiência do processo de compostagem na inativação/eliminação desse microrganismo.

Quanto à concentração de ovos viáveis de helmintos, evidencia-se uma concentração que o classifica como classe B, de acordo com a Resolução Conama 375/2006, no entanto próxima ao exigido para Lodo Classe A, já no lodo bruto.

A reduzida concentração de ovos viáveis de helmintos no lodo bruto pode ter influência na reduzida eficiência de remoção nos Lotes com presença de Ovos viáveis de helmintos no lodo tratado, com média de remoção de 0,053 Log (70%), com remoções mínima e máxima de 0,26 Log (44,4%) e 0,73 Log (81,5%), respectivamente, muito embora tenha se alcançado remoção total nos Lotes 3,4, 6, 7 e 9 (Tabela 17).

Tabela 17 - Eficiência de remoção de ovos viáveis de helmintos em percentual e unidades logarítmicas 1 a 9.

Material	Ovos viáveis de helmintos	Remoção em unidade logarítmica	Percentual de remoção
	Ovos/g de ST		%
Torta de Lodo 1	0,37	0,84	85,6
Torta de Lodo 2	0,17	0,50	68,6
Média Torta	0,27	0,67	77,1
Lote 1	0,15	0,26	44,4
Lote 2	0,15	0,26	44,4
Lote 3	0	-	100
Lote 4	0	-	100
Lote 5	0,13	0,32	51,9
Lote 6	0	-	100
Lote 7	0	-	100
Lote 8	0,05	0,73	81,5
Lote 9	0	-	100
Média Lotes	0,053	0,70	80,2

Destruição ou inativação parcial dos ovos de helmintos, nos processos de compostagem de lodo de esgoto tendo resíduos vegetais como agente estruturante, em virtude da duração limitada da fase termofílica foram apontadas em Corrêa (2007) e em Silva *et al.* (2008). As reduções parciais dos patógenos elencadas nestes estudos confirmam as posições de Haug (1993) e Pereira Neto (2001) quanto à dificuldade da eliminação de patógenos, em especial ovos de helmintos. Além da destruição/inativação pelo calor, citam que pH elevado, produção de antibióticos produzidos por fungos e actinomicetos e relações ecológicas, sobretudo predatismo e competição, existente na massa em compostagem são determinantes.

A ingestão de pequena quantidade de ovos de helmintos, ou mesmo de um único ovo de helminto viável, já representa um elevado risco de infecção, em função disso, é importante que o processo seja otimizado para a redução

desses patógenos (RUBIM, 1996). Thomaz Soccol *et al.* (2010) reitera o poder de infectividade dos helmintos, com dose infectante mínima variando de 1 a 10 ovos.

Diante do exposto, o processo de compostagem foi capaz de elevada redução da concentração de microrganismos patogênicos presentes no lodo de esgoto.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O sistema de compostagem termofílica empregada como método de condicionamento e higienização do lodo de esgoto produzido na ETEJ se mostrou eficiente. Nas condições em que o processo foi conduzido (temperatura e pH elevados, umidade, aeração por revolvimentos periódicos), possibilitou a produção de biossólido classe A apto ao uso agrícola, conforme resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006a) e IN nº 27 do MAPA (BRASIL, 2006b), com decréscimo do grau de contaminação microbiológica, especialmente por Coliformes Termotolerantes e ovos viáveis de helmintos, a níveis aceitáveis após 82 dias (média) do início do tratamento. Destaca-se que o parâmetro (obrigatório) entero vírus não foi monitorado no sistema.

A matéria orgânica sofreu degradação conforme ensaios de carbono orgânico realizados, sendo a humificação comprovada pelos baixos valores finais da relação C/N alcançados, em conformidade com a literatura especializada.

Os teores de Ar, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se e Zn sempre estiveram dentro dos níveis permitidos preconizados pelas legislações vigentes, Resolução CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006a) e IN nº 27 do MAPA (BRASIL, 2006b), com constatação de reduções substanciais após os tratamentos.

A compostagem de lodo de esgotos promoveu a decomposição e estabilização da matéria orgânica com disponibilização de alguns nutrientes, indispensáveis ao crescimento vegetal. O uso de resíduos vegetais como agente estruturante e fonte de C no processo resultou, possivelmente, em incrementos adicionais de nutrientes específicos. O retorno dos macro e micronutrientes na natureza quando aplicado na produção agrícola permite a reciclagem dos nutrientes presentes no lodo de esgoto, possibilitando a volta desses elementos aos ciclos biogeoquímicos, uma vez que as formas convencionais de disposição final do lodo, por exemplo, em aterros sanitários, rompem o ciclo desses nutrientes, causando desequilíbrios nos processos da natureza pelo

esgotamento desses elementos, que muitas vezes provêm de fontes finitas e não renováveis.

O empreendimento estudado permitiu a interface do processo de compostagem com a gestão dos resíduos sólidos por meio do uso do bagaço de cana, das podas de árvores urbanas trituradas e do resíduo de celulose, sendo que na maioria das vezes, os dois últimos são descartados sem aproveitamento algum, gerando custos decorrentes da disposição final e inviabilizando a sua recuperação e o seu aproveitamento como fonte de energia e agente estruturante.

Finalmente, a partir das investigações realizadas na presente pesquisa surgem as seguintes recomendações:

Realização de estudo, caracterização e influências das diferentes fontes de carbono que podem participar separadamente do processo, de modo a permitir sua avaliação quanto ao processo de produção do bio sólido, orientado o uso desses materiais na compostagem de lodo de esgoto e seus reflexos no produto final;

Detalhamento dos aspectos operacionais das plantas de compostagem de lodo de esgotos em escala real, identificando as boas práticas operacionais que possam ser empregadas futuramente, em projetos semelhantes;

Mapeamento do processo produtivo e caracterização dos perigos e riscos inerentes ao sistema, especialmente em relação à segurança e saúde do trabalhador, identificando aspectos e elementos práticos que possam subsidiar a concepção e, principalmente, a operação de novos sistemas de compostagem em futuros empreendimentos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J.C.; ABREU, M.F.. Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais. Campinas: IAC, 2006.

ANDREOLI, C. V.; *et al.* Reciclagem de Biossólidos. Transformando problemas em Soluções. 2ª ed. Curitiba: Sanepar. Finep, 2001a. v. 1.

ANDREOLI, C. V. *et al.* Higienização de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro. Rima: ABES, 2001b.

ANDREOLI, C. V. *et al.* Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.. Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. 1ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental (UFMG); Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). 2001c. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, V. 6).

ANDREOLI, C. V.; TEXEIRA PINTO, M. A. Introdução. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro. Rima: ABES, 2001.

ANDREOLI, C. V. *et al.* Secagem e higienização de lodos com aproveitamento do biogás. In: CASSINI, S. T. (Coord.), *et al.* Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

APHA – American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. 22ª ed. Washington. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13.896 – Aterro de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 12 p. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.849 – Resíduos Sólidos Urbanos - aterros sanitários de pequeno porte – diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro: ABNT, 32 p. 2010.

BARREIRA, L. P. Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção. (Tese de doutorado). São Paulo: Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo. 2005.

BASTOS, R. K. X. *et al.* Utilização de esgotos tratados em irrigação – aspectos sanitários. In: BASTOS, R.K.X. (Coord). Utilização de esgotos tratados em irrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro: ABES/RiMa Artes e Texto, 2003a. (projeto PROSAB).

BASTOS, R. K. X. *et al.* Organismos patogênicos e efeitos sobre a saúde humana. In: RICARDO, F. G. (Coord). Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: ABES/RiMa Artes e Texto, 2003b. (projeto PROSAB).

BASTOS, R. K. X. *et al.* Análise crítica da legislação brasileira para uso agrícola do lodo de esgotos na perspectiva da avaliação quantitativa de risco microbiológico. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. v. 2, n. 1, 143-159p. 2009.

BASTOS, R. K. X. *et al.* Análise crítico-comparativa das regulamentações brasileira, estadunidense e britânica da qualidade microbiológica de biossólidos para uso agrícola. *Revista DAE*. v.191, 10-20 p. 2013.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo em solo agrícola In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A (Coord.). Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

BITTENCOURT, S. *et al.* Uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010.

BRASIL – Lei Federal n. 6.894, 16 de dezembro de 1980. 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. Diário Oficial da União, Brasília, 17 dez. 1980.

BRASIL – Lei Federal n. 6.934, 13 de julho de 1981. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, 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. Diário Oficial da União, Brasília, 15 dez. 1981.

BRASIL – Decreto n. 4.954, 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da Lei n. 6.894, de 16 de dezembro de 1980, 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. Diário Oficial da União, Brasília, 15 jan. 2004a.

BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 10 de 6 de maio de 2004. Aprova as disposições sobre a classificação e os registros de estabelecimentos e produtos, as exigências e critérios para embalagem, rotulagem, propaganda e para prestação de serviço. Diário Oficial da União, Brasília, 12 maio. 2004b.

BRASIL - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos,

para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 30 ago. 2006a.

BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 27 de 5 de junho de 2006. Estabelece nos anexos I, II, III, IV e V os limites no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Diário Oficial da União, Brasília, 9 jun. 2006b.

BRASIL - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 375, de 31 de outubro de 2006. Retifica a Resolução CONAMA no 375/06 – Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 7 nov. 2006c.

BRASIL – Lei Federal n. 11.445, 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 8 jan. 2007.

BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 28 de 27 de julho de 2007. Aprova os métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos, disponíveis na Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial – Cgal/SDA/MAPA, na Biblioteca Nacional de Agricultura – Binagri e no site do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da União, Brasília, 31 jul. 2007.

BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 25 de 23 de julho de 2009. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem, e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos,

organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, 28 jul. 2009.

BRASIL – Lei Federal n. 12.890, 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 11 dez. 2013.

BRASIL – Decreto n. 8.059, 26 de julho de 2013. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, 29 jul. 2013.

BRASIL – Decreto n. 8.384, 29 de dezembro de 2014. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez. 2013.

BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Brasília: MAPA – Secretaria de Defesa Agropecuária. 2014.

BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 3 de 26 de janeiro de 2015. Aprova os métodos oficiais para realização de ensaios em amostras oriundas do controle oficial de fertilizantes e corretivos, constantes do Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos indexado ao International Standard Book Number (ISBN) sob o número 978-85-7991-081-4, cuja adoção será obrigatória pelos laboratórios integrantes da Rede Nacional de Laboratórios Agropecuários do

Sistema Unificado de Atenção a Sanidade Agropecuária, a partir de fevereiro de. Diário Oficial da União, Brasília, 27 jan. 2015.

BREMNER, J.M. Nitrogen total. In: SPARKS, D.L., ed. Methods of soil analysis. Part 3. Madison, *America Society of Agronomy*, 1996. p.1085-1121 (SSSA Book Series, 5).

BRUNI, V. C. Avaliação do processo operacional de compostagem aerada de lodo de esgoto e poda vegetal em reatores fechados. (Dissertação de mestrado). Curitiba: Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Paraná. 2005.

CABARET, J. *et al.* The use of urban sewage sludge on pastures: the cysticercosis threat. *Vet Res.* V. 33. 575 – 597 p. 2002.

CARRINGTON, E. G. Evaluating of sludge treatments for pathogen reduction: final report. Study contract n. B4-3040/2001/322179/MAR/A2. European Commission Directorate, General Environment, 2001.

CARVALHO, F. J. P. C. *et al.* Legislação sobre fertilizantes orgânicos e lodo de esgoto. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010.

CHAURET, C.; SPRINGTHROPE, S., SATTAR, S. Fate of *Cryptosporidium* oocysts, *Giardia* cysts, and microbial indicators during wastewater treatment and anaerobic sludge digestion. *Canadian Journal of Microbiology.* v. 45, 257–262 p. 1999.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2ª ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA (UFMG). Belo Horizonte. 2007. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v. 5).

CORRÊA, R. S. *et al.* Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 11, n. 4, 420–426 p. 2007.

DAHAB, M. F.; SURAMPALLI, R. Y. Effects of aerobic and anaerobic digestion systems on pathogen indicator reduction in municipal sludge. *Water Science and Technology*. v. 46(10), 181–7 p. 2002.

DIAS, E. H. B. Tratamento do lodo de esgoto por secagem em estufa: higienização e produção de biossólido para uso agrícola (Dissertação de mestrado). Viçosa: Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. 2012.

DUMONTET, S. *et al.* Pathogen Reduction in Sewage Sludge by Composting and Other Biological Treatments: A Review. *Biological Agriculture and Horticulture*. v. 16, 409–430 p. 1999.

EGREJA FILHO, F.B. Avaliação da Ocorrência e Distribuição Química de Metais Pesados na Compostagem do Lixo domiciliar Urbano. (Dissertação de Mestrado). Viçosa: Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. 1993.

EISENBERG, J. N. S. *et al.* Microbial risk assessment framework for exposure to amended sludge projects. *Environmental Health Perspective*. v. 116, n. 6, 727-733 p. 2008. FANG, M.; WONG, J.W.C.. Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge composting. *Environmental Pollution*. V. 106. 83-89 p. 1999.

FERNÁNDEZ, F.J. *et al.* Feasibility of composting combinations of sewage sludge, olive mill waste and winery waste in a rotary drum reactor. *Waste Management*. v. 10. 1948-1952 p. 2010.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. Manual prático para a compostagem de biossólidos. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

FERNANDES, F. *et al.* Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 28, 567-574 p. 1993.

FERNANDES, F. *et al.* Duração da fase termófila na compostagem de lodo de esgoto e resíduos vegetais em função de três diferentes tecnologias. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, v. 2, n. 1, 76-83p., 2009.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Produção e características dos biossólidos. In: ANDREOLI, C. V. (Coord). *Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: Sanepar/Prosab/Finep. 1999a.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Destino final do lodo. In: ANDREOLI, C. V. (Coord). *Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro : Sanepar/Prosab/Finep. 1999b.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V. (Coord). *Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro : Sanepar/Prosab/Finep. 1999c.

FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Tamworth. v. 12. 116-140 p. 2008.

FORGERINI, D. Obtenção e caracterização de biofertilizantes a partir de técnicas de compostagem sólida. (Dissertação de mestrado). São Carlos: Instituto de Química. Universidade de São Paulo. 2012.

FRADKIN, L. *et al.* Municipal wastewater sludge: the potential public health impact of common pathogens. *Journal of Environmental Health*. v. 51(3), 148-152 p. 1989.

GERBA, A risk assessment of emerging pathogens of concern in the land application of biosolids. *Water Science and Technology*. v. 46. 225 – 230 p. 2002

GIBBS, R. *et al.* Die-off of human pathogens in stored wastewater sludge and sludge applied to land. UWRAA Research Project no. 55-51 (91/58). 1994.

GIBBS, R. *et al.* Regrowth of faecal coliforms and salmonellae in stored biosolids and soil amended with biosolids. *Water Science and Technology*. v. 35, n. 11 – 12 . 269 – 275 p. 1997

GONÇALVES, R. F. *et al.* Desidratação de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C.V. (Coord.). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro. Rima: ABES, 2001a.

GONÇALVES, R. F. *et al.* Remoção da umidade de lodos de esgoto. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.. Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. 1ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental (UFMG); Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). 2001b. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

GOUVÊA, L. C.; PEREIRA NETO, J. T. Avaliação da distribuição de metais pesados durante o processo de compostagem do lodo de esgoto estritamente doméstico. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. Foz do Iguaçu, 1997.

HAY, A. G. Compostos orgânicos em lodos de esgoto: “the book is on the table”. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010.

HARADA, Y.; YONOKO, A. Relationship between cation-exchange capacity and the degree of maturity of city refuse composts. *Soil Science and Plant Nutrition*. n26, p.353-362. 1980.

HAUG, R. T. The practical handbook of compost engineering. Florida: Lewis Publishers, 1993.

IRANPOUR, R.; COX, H. H. J.; KEARNEY, R. J.; CLARK, J. H.; PINCINCE, A. B.; DAIGGER, G. T. Regulations for biosolids land application in U.S. and European Union. *Journal of Residuals Science & Technology*, v.1, n.4, p.209-22, 2004.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

KHALIL, A. I. *et al.* Changes in physical, chemical and microbial parameters during the composting of municipal sewage sludge. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. v.27, n.10, p.2359-2369, 2011.

KIEHL, E. J. Novo fertilizantes orgânicos. 1 ed. Edição do autor. Piracicaba/SP, 2010.

KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. 6 ed. Edição do autor. Piracicaba/SP, 2012.

JOURAIPHY, A. *et al.* Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting os sewage sludge and green plant waste. *International Biodeterioration & Biodegradation*. v. 56, 101-108 p. 2005.

LASOBARS, J. *et al.* Occurrence and levels of phages proposed as surrogate indicators of enteric viruses in different types of sludges. *Journal of Applied Microbiology*. v. 86, 723-729 p. 1999.

LeBLANC, R.J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R.P. (ed.). Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable

and welcome uses of a global resource welcome uses of a global resource. Nairobi, 2008. 608 p.

LEPSCH, I. F. 19 lições de pedologia. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

LUDUVICE, M.; FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.. Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. 1ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental (UFMG); Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). 2001. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

MACHADO, M. F. S. A situação brasileira dos biossólidos. (Dissertação de mestrado). Campinas: Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. 2001.

MAGALHÃES, T. B. Uso agrícola de biossólidos: análise crítica da resolução CONAMA 375/2006 na perspectiva da metodologia da avaliação quantitativa de risco microbiológico (Dissertação de mestrado). Viçosa: Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. 2012.

MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrients e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo: Produquímica, 1994.

MATOS, A. T. Poluição ambiental: impactos no meio físico. Viçosa – MG: UFV, 2010.

MELO, W. J. *et al.* A resolução CONAMA 375 e os metais pesados. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010.

METCALF e EDDY. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. Metcalf & Eddy, Inc. 4ª ed. Revised by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. 2003.

MIKI, M. K.; ANDRIGUETI, E. J.; ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T. *et al.* (Ed.). *Biossólidos na agricultura*. 2 ed. São Paulo: ABES/SP, 2002.

MONTEIRO LOPES, M. A. J. B. Incorporação do lodo de esgoto e seus efeitos sobre alguns atributos do solo cultivado com rabanete. (Dissertação de mestrado). Recife. Universidade Católica de Pernambuco. 2008.

MORETTI, S. M. L. Uso de lodo de esgoto com poda de árvore na cultura de cana de açúcar. (Dissertação de mestrado). Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. 2013.

MORISAKI, N. *et al.* Nitrogen transformation during thermophilic composting. *Journal of Fermentation and Bioengineering*. v 67. 57- 61 p. 1989)

MULVANEY, R. L. 1996. Nitrogen – Inorganic forms. p. 1123-1184. In D. L. Sparks *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical properties*. SSSA Book Ser. 5. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, 1996.

NAKASAKI, K. *et al.* Effect of temperature on composting of sewage sludge. *Applied and Environmental Microbiology*. v. 50, 1526–1530 p. 1985.

NEBRA - NORTH EAST BIOSOLIDS AND RESIDUALS ASSOCIATION. A National Biosolids. Regulation, Quality, End Use and Disposal Survey, Final Report, North East Biosolids and Residuals Association. Tamworth: NEBRA. 2007.

NELSON, D. W. & SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Madison, *Soil Science of America and American Society of Agronomy*, p.961-1010, 1996.

NEW OXFORD AMERICAN DICTIONARY. 3 ed. Oxford: University Press, 2010.

OLIVEIRA, F. C. *et al.* Uso agrícola de lodo de esgoto no estado de São Paulo – estudo de caso. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010.

PAYMENT, P.; PLANTE, R.; CEJKA, P. Removal of indicator bacteria, human enteric viruses, Giardia cysts, and Cryptosporidium oocysts at a large wastewater primary treatment facility. *Canadian Journal of Microbiology*. v. 47, 188–93 p. 2001.

PEREIRA NETO, J. T. Manual de compostagem: processo de baixo custo. Viçosa – MG: UFV, 2007.

PEREIRA NETO, J. T.; NEVES LELIS, M.P. Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. Rio de Janeiro. 1999.

PEREIRA NETO, J. T.; NEVES LELIS, M.P. A contaminação biológica na compostagem. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. João Pessoa. 2001.

PINTO, M. T. Higienização de lodos. In: VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.. Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. 1ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental (UFMG); Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). 2001a. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

POINCELOT, R. P.. The Biochemistry and Methodology of Composting. Com. Agr. Exp. Sta. Bull.vol. 754, 38 p. 1975.

POURCHER, A. M. *et al.* Decrease of enteric microorganisms from rural sewage sludge during their composting in straw mixture. *Journal of Applied Microbiology*. v. 99(3); 528–39 p. 2005.

ROIG, A. *et al.* Cation exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures. *Soil Science*. v. 29. n. 3, p.54-56. 1988.

RUBIM, A. R. Is time-temperature really important?. In: X Annual Residuals and Biosolids Management Conference: 10 Years of Progress and a Look Toward the Future, 1996, Alexandria. *Anais...*: Water Environment Federation, 1996. p. 51-57.

SAMPAIO, A. O. Adequação das estações de tratamento de esgotos sanitários à Resolução número 375 do CONAMA. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010.

SANTOS, A. D. D. Estudo das possibilidades de reciclagem de resíduos de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo. (Dissertação de mestrado). São Paulo: Departamento de Engenharia da Construção Civil. Universidade de São Paulo. 2003.

SANTOS, F. F. *et al.* Normatização para o uso agrícola dos biossólidos no exterior e no Brasil. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.. Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. 1ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental (UFMG); Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). 2001. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

SCHEUERMAN, P. R. *et al.* Laboratory studies of virus survival during anaerobic digestion of sewage sludge. *Water Research*. v. 25, 241 – 245 p. 1991.

SCHWARTZBROD, J.S.; BANAS, S. Parasite contamination of liquid sludge from urban wastewater treatment plants. *Water Science & Technology*. v. 47, n. 3, 163 – 166 p. 2003.

SHAMMAS, N. K.; WANG, L. K.. Biosolids composting. In: WANG, K. L.; SHAMMAS, N. K.; HUNG, Y. (eds.) Biosolids treatment process. Totowa, NJ: Humana Press, 2007. (Handbook of environmental engineering, v. 6)

SIDHU, J. P. S. Selection of salmonella typhimurium as a indicator for pathogen regrowth potential in composted biosolids. *Letters in Applied Microbiology*. v. 29, 303 – 307 p. 1999.

SIDHU, J. P. S. The role of indigenous microorganisms in suppression of Salmonella regrowth in composted biosolids. *Water Research*. v. 35, n. 4, 913 – 920 p. 2001.

SIDHU, J. P. S.; TOZE, S. G.. Human pathogens and their indicators in biosolids: A literature review. *Environmental International*. v. 35, 187 – 201 p. 2009.

SILVA, S. M. C. P. *et al.* Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.. Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. 1ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental (UFMG); Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). 2001. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

SILVA, A. G. *et al.* Compostagem aeróbia conjugada de lodo de tanque séptico e resíduos vegetais. *Revista de Engenharia sanitária e ambiental*. v. 13, 371 – 379 p. 2008.

SKANAVIS, C.; YANKO, W. A. Evaluation of composted sewage sludge based soil amendments for potential risks of salmonellosis. *Journal of Environmental Health*. v. 56, 19 - 23 p. 1994.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2012). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental: Diagnóstico dos serviços de Água e Esgotos – 20102 Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014.

SOARES, A. C. *et al.* Effect of anaerobic digestion on the occurrence of enteroviruses, Giardia cysts and indicator bacteria in sewage sludge. In: IAWPRC CONFERENCE, 7. Anais...Washington DC., 1992.

SOUZA, F. C. Avaliação da eficiência da compostagem mesofílica e. (Dissertação de mestrado). Campina Grande: Departamento de Engenharia da Construção Civil. Universidade Federal da Paraíba. 2002.

STRAUB, T. M. *et al.* Persistence of viruses in desert soils amended with anaerobically digested sewage sludge. *Applied and Environmental Microbiology*. v. 58, 636 – 641 p. 1992.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. New York: Irwin McGraw-Hill, 1993.

THE AMERICAN HERITAGE DICTIONARY OF THE ENGLISH LANGUAGE. 5 ed. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2011.

THOMAZ SOCCOL, V. *et al.* Organismos patogênicos presentes em lodo de esgoto a ser aplicado no solo e a resolução nº 375 do CONAMA. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010.

TORRES DE CARVALHO, P. C. Compostagem. In: TSUTIYA, M.T. *et al.* (Eds). Biossólidos na agricultura. 2ª ed. São Paulo: ABES/SP, 2002.

TORRES DE CARVALHO, P. C.; CAMPOS CARVALHO, F. J. P. Legislação sobre biossólidos. In: TSUTIYA, M. T. *et al.* (Eds). Biossólidos na agricultura. 2ª ed. São Paulo: ABES/SP, 2002.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos In: TSUTIYA, M. T. *et al.* (Eds). Biossólidos na agricultura. 2ª ed. São Paulo: ABES/SP, 2002a.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T. *et al.* (Eds). Biossólidos na agricultura. 2^a ed. São Paulo: ABES/SP, 2002b.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Health effects of land application of municipal sludge. Whashington, DC: 1985.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Pathogen Risk Assessment for Land Application of Municipal Sludge: Methodology and computer model.* Whashington, DC: EPA, v. 1, 1989.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Technical Support Document for Reduction of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge.* Whashington, DC: EPA, Office of Health and Environmental Assessment, 1992.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *The standards for the use or disposal of sewage sludge.* Whashington, DC: Federal Register, Code of Federal Regulations CFR, Title 40, Part 503, 1993.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *A Guide to the Biosolids Risk Assessment for the EPA Part 503 Rule.* Whashington, DC: EPA, Office of Wasterwater Management, 1995.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States*". Whashington, DC: EPA 530-R-99-009, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1999.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40 CFR part 503.* Whashington, DC: EPA, 2003.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Test methods for evaluating solid waste: physical/chemical methods. 3^a ed. Whashington, DC: EPA, 2004.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Microwave assisted acid digestion of sediments sludge, soils, and oils. SW 846 3051a. Whashington, DC: EPA, 2007.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento Anaeróbio de Esgotos - Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: EPGRAF, UFPA, 1994.

VAN HAANDEL, A. C.; ALEM SOBRINHO, P. Produção, composição e constituição de esgoto. In: Andreoli, C.V, Biossólidos – Alternativas de Uso de Resíduos de Saneamento. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

VON SPERLING, M. Lodos Ativados. 2^a. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2002. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v. 4.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3^a. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v. 1.

VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V. Introdução. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.. Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. 1^a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental (UFMG); Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). 2001. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

WANG, L. K. *et al.* Engineering and management of agricultural land application. In: WANG, K. L.; SHAMMAS, N. K.; HUNG, Y. (eds.) Biosolids

engineering and management. Totowa, NJ: Humana Press, 2008. (Handbook of environmental engineering, v. 7)

WÉRY, N. *et al.* Behaviour of pathogenic and indicator bacteria during urban wastewater treatment and sludge composting, as revealed by quantitative PCR. *Water Research*. v. 42, 53 – 62 p. 2008.

WHO - World Health Organization. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: Wastewater use in agriculture*. WHO, v. 2, 213 p. Geneva 2006.

WICHUK, K.M.; McCARTNEY, D. A review of the effectiveness of current time-temperature regulations on pathogen inactivation during composting. *Journal of Environmental Engineering and Science*. v. 6, n. 5, 573 – 586 p. 2007.

ANEXOS

ANEXO I – Dados de temperatura dos lotes – Lote L1

HISTORICO DO LOTE

09/01/2015 15:52:57

LOTE: 0001/14 FORMAÇÃO 03/01/2014

LEIRA	FIM MONTAGEM	RETIRADA PARA LOTE	SÓLIDOS (%)	TEMPERATURA MÉDIA
J000135	24/01/2014	15/02/2014	0,00	0,00
M000133	09/01/2014	12/02/2014	0,00	0,00
C000132	30/12/2013	29/01/2014	0,00	0,00
D000130	17/12/2013	23/01/2014	0,00	0,00
L000129	05/12/2013	09/01/2014	0,00	0,00
P000128	05/12/2013	10/02/2014	0,00	0,00
J000127	28/11/2013	09/01/2014	0,00	0,00
F000126	26/11/2013	06/01/2014	0,00	0,00
I000125	19/11/2013	14/01/2014	0,00	0,00

CONTROLE DE TEMPERATURAS

DATA	TEMPERATURA (°C)					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
07/01/2014	47,20	54,00	55,20	50,00	52,10	51,70
09/01/2014	54,70	53,00	52,10	52,00	53,30	53,02
13/01/2014	51,90	55,00	58,40	55,00	55,60	55,18
20/01/2014	55,70	57,20	57,00	62,30	60,00	58,44
03/02/2014	61,30	62,60	55,30	57,00	59,00	59,04
11/02/2014	59,40	60,50	62,30	62,40	60,90	61,10
17/02/2014	62,90	60,70	59,90	61,80	62,80	61,62
24/02/2014	63,70	65,80	62,20	68,20	70,40	66,06
05/03/2014	65,70	66,50	66,50	63,80	68,00	66,10
11/03/2014	60,90	61,00	64,90	65,00	62,00	62,76
13/03/2014	61,70	64,30	60,00	62,80	59,90	61,74
17/03/2014	59,80	64,60	62,80	61,30	58,90	61,48

Sólidos (%): 60,5

Massa Total 4132,27

ANEXO II – Dados de temperatura dos lotes – Lote L2

HISTORICO DO LOTE

09/01/2015 15:54:43

LOTE: FORMAÇÃO

LEIRA	FIM MONTAGEM	RETIRADA PARA LOTE	SÓLIDOS (%)	TEMPERATURA MÉDIA
F000142	27/02/2014	11/04/2014	0,00	0,00
B000139	15/02/2014	07/04/2014	0,00	0,00
D000137	06/02/2014	19/03/2014	0,00	0,00

CONTROLE DE TEMPERATURAS

DATA	TEMPERATURA (°C)					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
17/03/2014	58,40	59,10	60,20	61,40	60,00	59,82
24/03/2014	60,90	61,00	64,90	65,00	62,00	62,76
31/03/2014	64,30	67,90	68,00	66,10	65,60	66,38
07/04/2014	63,30	70,50	66,50	65,00	67,60	66,58
09/04/2014	62,60	69,60	67,30	66,70	65,00	66,24
11/04/2014	61,80	69,20	65,00	61,50	69,00	65,30
14/04/2014	66,20	61,90	63,40	61,80	59,60	62,58
16/04/2014	63,60	66,80	65,20	60,90	61,80	63,66
18/04/2014	60,80	61,30	69,00	66,50	67,10	64,94
21/04/2014	61,90	66,60	67,90	63,70	65,00	65,02
23/04/2014	59,80	65,00	62,30	64,70	68,00	63,96

Sólidos (%):

Massa Total

ANEXO III – Dados de temperatura dos lotes – Lote L3

HISTORICO DO LOTE

09/01/2015 15:56:15

LOTE: FORMAÇÃO

LEIRA	FIM MONTAGEM	RETIRADA PARA LOTE	SÓLIDOS (%)	TEMPERATURA MÉDIA
G000154	23/05/2014	30/05/2014	0,00	0,00
A000149	31/03/2014	12/05/2014	0,00	0,00
E000148	01/04/2014	08/05/2014	0,00	0,00
G000147	19/03/2014	08/05/2014	0,00	0,00
K000146	11/03/2014	30/04/2014	0,00	0,00
P000145	10/03/2014	27/05/2014	0,00	0,00
C000144	04/03/2014	07/05/2014	0,00	0,00
M000143	04/03/2014	05/05/2014	0,00	0,00
O000134	16/01/2014	16/05/2014	0,00	0,00

CONTROLE DE TEMPERATURAS

DATA	TEMPERATURA (°C)					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
12/03/2014	57,90	60,00	58,00	61,30	56,90	58,82
14/03/2014	61,80	58,90	62,00	57,90	59,00	59,92
17/03/2014	58,90	62,30	59,50	61,00	63,40	61,02
19/03/2014	62,50	59,50	63,80	64,10	65,00	62,98
21/03/2014	61,70	63,10	64,90	60,00	61,90	62,32
24/03/2014	60,70	62,80	59,80	65,30	66,10	62,94
26/03/2014	67,80	61,50	64,10	63,90	60,00	63,46
28/03/2014	61,70	62,80	67,90	59,80	61,90	62,82
02/04/2014	59,80	60,50	61,80	67,90	64,90	62,98
04/04/2014	59,80	61,00	62,90	65,30	61,00	62,00
07/04/2014	70,80	65,80	61,60	63,10	68,40	65,94
09/04/2014	72,40	65,90	63,80	66,20	58,90	65,44
11/09/2014	63,90	62,90	61,80	60,00	65,90	62,90
14/09/2014	59,60	65,80	60,80	61,80	64,80	62,56
16/04/2014	63,80	57,90	61,50	64,90	63,90	62,40
18/04/2014	64,90	59,80	60,00	57,90	60,80	60,68

Sólidos (%):

Massa Total

ANEXO IV – Dados de temperatura dos lotes – Lote L4

HISTORICO DO LOTE

09/01/2015 15:57:12

LOTE: 0004/14 FORMAÇÃO 02/05/2014

LEIRA	FIM MONTAGEM	RETIRADA PARA LOTE	SÓLIDOS (%)	TEMPERATURA MÉDIA
D000156	21/05/2014	03/07/2014	0,00	0,00
B000155	12/05/2014	04/06/2014	0,00	0,00
C000153	05/05/2014	02/06/2014	0,00	0,00
M000152	30/04/2014	10/06/2014	0,00	0,00
J000151	14/04/2014	02/07/2014	0,00	0,00
L000150	07/04/2014	10/06/2014	0,00	0,00
Q000141	27/05/2014	07/07/2014	0,00	0,00

CONTROLE DE TEMPERATURAS

DATA	TEMPERATURA (°C)					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
05/05/2014	56,80	59,00	59,80	55,40	59,50	58,10
07/05/2014	59,80	61,00	64,30	60,00	61,80	61,38
09/05/2014	60,30	61,80	64,90	59,00	58,70	60,94
12/05/2014	61,50	59,90	62,40	61,80	63,20	61,76
14/05/2014	63,00	61,90	59,80	60,00	63,00	61,54
16/05/2014	60,80	63,90	60,90	58,90	65,10	61,92
19/05/2014	63,90	62,60	61,00	63,30	65,80	63,32
21/05/2014	61,90	63,40	59,90	62,80	61,00	61,80
23/05/2014	60,80	62,80	65,50	62,30	64,50	63,18
26/05/2014	61,90	64,80	63,80	65,20	62,90	63,72
28/05/2014	61,30	64,80	69,20	61,90	63,80	64,20
30/05/2014	59,00	61,80	60,00	62,90	61,00	60,94
02/06/2014	60,90	63,50	62,90	64,00	65,00	63,26
04/06/2014	63,90	61,90	65,90	66,00	61,50	63,84
06/06/2014	61,80	64,80	63,90	59,90	61,80	62,44
09/06/2014	68,90	65,80	63,80	61,00	62,90	64,48
11/06/2014	66,80	67,90	61,50	63,90	60,60	64,14
13/06/2014	61,80	63,80	65,00	60,00	65,90	63,30

Sólidos (%): 78,1
 Massa Total 4665,35

ANEXO V – Dados de temperatura dos lotes – Lote L5

HISTORICO DO LOTE

09/01/2015 15:58:14

LOTE: 0005/14 FORMAÇÃO 04/06/2014

LEIRA	FIM MONTAGEM	RETIRADA PARA LOTE	SÓLIDOS (%)	TEMPERATURA MÉDIA
A000160	13/06/2014	17/07/2014	0,00	0,00
K000159	11/06/2014	07/08/2014	0,00	0,00
O000158	02/06/2014	20/08/2014	0,00	0,00
M000157	26/05/2014	20/08/2014	0,00	0,00

CONTROLE DE TEMPERATURAS

DATA	TEMPERATURA (°C)					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
17/07/2014	56,40	50,60	53,00	53,50	52,30	53,16
21/07/2014	59,00	60,00	61,50	59,80	62,00	60,46
28/07/2014	63,40	66,50	61,30	62,40	65,00	63,72
04/08/2014	61,00	59,90	60,70	64,30	62,50	61,68
11/08/2014	64,50	65,00	67,30	61,00	63,80	64,32
18/08/2014	59,80	60,10	63,40	62,80	63,40	61,90
25/08/2014	57,90	61,40	62,80	60,50	61,50	60,82
01/09/2014	60,80	63,80	61,00	57,90	65,30	61,76
08/09/2014	53,90	65,90	57,90	65,00	60,30	60,60

Sólidos (%): 71,2

Massa Total 3751

ANEXO VI – Dados de temperatura dos lotes – Lote L6

HISTORICO DO LOTE

09/01/2015 15:58:59

LOTE: 0006/14 FORMAÇÃO 09/07/2014

LEIRA	FIM MONTAGEM	RETIRADA PARA LOTE	SÓLIDOS (%)	TEMPERATURA MÉDIA
Q000172	22/08/2014	03/09/2014	0,00	0,00
R000167	04/08/2014	03/09/2014	0,00	0,00
J000166	30/07/2014	22/09/2014	0,00	0,00
L000165	24/07/2014	16/09/2014	0,00	0,00
B000164	21/07/2014	25/08/2014	0,00	0,00
D000163	17/07/2014	02/09/2014	0,00	0,00
H000162	03/07/2014	20/08/2014	0,00	0,00
P000161	18/06/2014	22/08/2014	0,00	0,00

CONTROLE DE TEMPERATURAS

DATA	TEMPERATURA (°C)					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
11/07/2014	60,30	57,90	59,00	63,10	58,80	59,82
14/07/2014	64,40	62,10	59,90	60,00	59,30	61,14
16/07/2014	65,90	64,20	57,90	62,80	60,10	62,18
18/07/2014	60,40	59,90	65,60	68,20	61,20	63,06
21/07/2014	62,60	60,10	59,40	61,00	61,10	60,84
23/07/2014	64,00	65,40	65,40	66,40	66,20	65,48
25/07/2014	65,00	63,80	61,90	62,90	61,00	62,92
28/07/2014	59,80	61,80	64,60	66,00	61,80	62,80
30/07/2014	61,90	64,80	63,90	62,90	61,90	63,08
01/08/2014	66,90	65,30	64,60	61,90	63,90	64,52
04/08/2014	67,80	65,40	63,90	67,00	61,80	65,18
06/08/2014	61,50	68,00	67,20	63,30	66,70	65,34
08/08/2014	64,90	61,80	60,60	63,60	65,50	63,28
11/08/2014	65,00	63,80	66,20	67,90	61,80	64,94
13/08/2014	66,90	70,00	61,80	63,80	61,90	64,88
15/08/2014	61,90	66,00	63,90	65,90	68,00	65,14
18/08/2014	67,90	65,00	62,80	65,10	67,70	65,70
20/08/2014	68,80	66,10	69,00	61,80	67,90	66,72

Sólidos (%): 64,9

Massa Total 2066,15

ANEXO VII – Dados de temperatura dos lotes – Lote L7

HISTORICO DO LOTE

09/01/2015 16:00:49

LOTE: FORMAÇÃO

LEIRA	FIM MONTAGEM	RETIRADA PARA LOTE	SOLIDOS (%)	TEMPERATURA MEDIA
L000178	17/09/2014	15/10/2014	0,00	0,00
D000176	09/09/2014	14/10/2014	0,00	0,00
F000175	04/09/2014	10/10/2014	0,00	0,00
M000174	05/09/2014	02/10/2014	0,00	0,00
O000173	28/08/2014	08/10/2014	0,00	0,00
E000169	10/08/2014	08/10/2014	0,00	0,00
I000168	04/08/2014	02/09/2014	0,00	0,00

CONTROLE DE TEMPERATURAS

DATA	TEMPERATURA (°C)					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
15/08/2014	62,90	60,70	59,90	61,80	62,80	61,62
17/08/2014	63,70	65,80	62,20	68,20	70,40	66,06
19/08/2014	65,70	66,70	66,50	63,80	68,00	66,14
22/08/2014	60,90	61,00	64,60	65,00	62,00	62,70
24/08/2014	58,40	59,10	60,20	61,40	60,00	59,82
26/08/2014	60,90	61,00	64,90	65,00	62,00	62,76
29/08/2014	64,30	67,90	68,00	66,10	65,20	66,30
01/09/2014	63,30	70,60	66,50	65,00	67,60	66,60
03/09/2014	62,20	65,70	66,20	67,70	63,50	65,06
05/09/2014	62,20	64,30	60,10	62,00	63,10	62,34
08/09/2014	65,10	64,30	60,10	62,00	63,90	63,08
10/09/2014	67,00	62,10	64,70	66,00	60,10	63,98
12/09/2014	64,50	65,00	68,00	69,20	67,30	66,80
15/09/2014	62,30	64,00	60,00	59,90	62,00	61,64
17/09/2014	63,70	66,50	61,90	62,50	65,00	63,92
19/09/2014	64,50	65,00	67,30	61,00	63,80	64,32

Sólidos (%):

Massa Total

ANEXO VIII – Dados de temperatura dos lotes – Lote L8

HISTORICO DO LOTE

09/01/2015 16:01:33

LOTE: FORMAÇÃO

LEIRA	FIM MONTAGEM	RETIRADA PARA LOTE	SOLIDOS (%)	TEMPERATURA MEDIA
M000183	08/10/2014	31/10/2014	0,00	0,00
I000182	13/10/2014	05/11/2014	0,00	0,00
N000181	08/10/2014	28/10/2014	0,00	0,00
J000180	26/09/2014	13/11/2014	0,00	0,00
P000170	12/08/2014	23/10/2014	0,00	0,00

CONTROLE DE TEMPERATURAS

DATA	TEMPERATURA (°C)					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
08/09/2014	56,40	60,00	59,80	61,70	60,40	59,66
10/09/2014	60,80	63,90	61,00	57,90	65,30	61,78
12/09/2014	53,90	65,90	57,90	65,00	60,30	60,60
15/09/2014	63,00	59,40	65,00	57,80	61,40	61,32
17/09/2014	62,60	66,60	61,30	60,90	58,70	62,02
19/09/2014	61,30	60,80	62,80	59,70	61,30	61,18
22/09/2014	60,80	57,90	59,00	63,90	66,80	61,68
24/09/2014	64,40	62,10	59,90	60,00	61,80	61,64
26/09/2014	65,90	64,20	57,90	62,80	60,10	62,18
29/09/2014	64,00	65,40	65,40	66,40	66,20	65,48
01/10/2014	60,50	62,40	64,60	61,00	62,70	62,24
03/10/2014	62,40	66,60	61,30	63,00	64,50	63,56
06/10/2014	63,70	66,50	61,30	62,40	65,00	63,78
08/10/2014	64,50	65,00	68,00	69,20	67,30	66,80
10/10/2014	63,00	59,30	65,00	61,40	63,40	62,42

Sólidos (%):

Massa Total

ANEXO IX – Dados de temperatura dos lotes – Lote L9

HISTORICO DO LOTE

09/01/2015 16:02:19

LOTE: FORMAÇÃO

LEIRA	FIM MONTAGEM	RETIRADA PARA LOTE	SÓLIDOS (%)	TEMPERATURA MÉDIA
E000190	03/11/2014	18/12/2014	0,00	0,00
P000188	30/10/2014	01/12/2014	0,00	0,00
I000187	24/10/2014	25/11/2014	0,00	0,00
D000186	20/10/2014	18/11/2014	0,00	0,00
F000185	28/10/2014	18/11/2014	0,00	0,00
S000179	22/09/2014	07/11/2004	0,00	0,00
U000177	15/09/2014	07/11/2014	0,00	0,00

CONTROLE DE TEMPERATURAS

DATA	TEMPERATURA (°C)					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
13/10/2014	58,90	60,00	58,80	57,90	61,40	59,40
15/10/2014	59,80	58,80	60,10	63,50	62,80	61,00
17/10/2014	65,80	66,90	60,20	61,70	59,90	62,90
20/10/2014	61,80	63,20	65,60	61,00	63,00	62,92
22/10/2014	65,80	66,90	61,00	62,80	61,00	63,50
24/10/2014	61,50	62,60	60,30	67,20	61,00	62,52
27/10/2014	60,00	61,60	63,50	69,00	65,00	63,82
29/10/2014	61,80	67,20	62,50	60,80	70,00	64,46
31/10/2014	66,80	65,00	62,70	62,90	63,40	64,16
03/11/2014	65,30	62,90	66,60	65,00	63,40	64,64
05/11/2014	66,90	69,80	68,20	67,30	61,10	67,00
07/11/2014	61,90	65,00	67,00	63,20	63,40	64,10
10/11/2014	63,20	67,80	65,10	62,90	67,90	65,38
12/11/2014	65,90	66,00	67,90	62,90	63,10	65,16
14/11/2014	61,70	68,90	65,00	61,00	62,40	63,80
17/11/2014	63,70	65,80	62,50	63,70	64,80	64,10
19/11/2014	61,90	68,90	66,20	62,60	61,80	64,28
21/11/2014	67,80	66,10	65,80	71,00	69,00	67,94

Sólidos (%):

Massa Total

ANEXO X – Resultados físico químicos e microbiológicos dos lotes – Lote L1

INSTITUTO AGRÔNOMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No. 0240/14

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho de Oliveira
e-mail: fernando@biossolo.com.br Fone: (19) 3432-6058 / 99608-5589
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão, 4520 / Oeste
Jundiaí – SP CEP 13209-430

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Sanefertil, lote 01/2014 de 03/01/14
Data da coleta: 21/01/14 as 16:30 h
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 24/01/14 Data da entrada em análise: 27/01/14
Amostra coletada por: conforme informado pelo interessado, por David Peterson de Lima

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do interessado:	Sanefertil, lote 01/2014 de 03/01/2014	Data do
Identificação do laboratório:	155/14	ensaio
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado
pH (em água 1:10)	---	9,1
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	40,2
Sólidos Totais	% (m/m)	60,5
Sólidos Voláteis	% (m/m)	28,6
Carbono orgânico	g de C/kg	179
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	10,3
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	806
Nitrogênio nitrato-nitrito	mg de N/kg	119
Cálcio	g de Ca/kg	20,3
Enxofre	g de S/kg	8,3
Fósforo	g de P/kg	5,3
Magnésio	g de Mg/kg	3,3
Potássio	mg de K/kg	7071
Sódio	mg de Na/kg	2500
CTC	mmol/kg	215

Legenda

(1) Resultados expressos em base seca.

Desvios do item de ensaio ou de condições específicas de ensaio: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o numero CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

No. MS039/2014

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho Oliveira – Fone: 19 99508-5589
e-mail: Fernando.carvalho@teraambiental.com.br
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão – 4520 - Oeste
CEP 13209-430 – Jundiaí - SP

Dados da amostra:

Produto: Fertilizante Orgânico Classe D – Lote 01/2014 de 03/01/2014.
Período da coleta: 21/01/2014 às 16:30 hs
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 27/01/2014
Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.
Amostra(s) coletada(s): por David Peterson de Lima; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Lote 01/2014 De 03/01/2014		Data do ensaio
Identificação do laboratório:		012/2014		
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾			
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	0		06/02/2014
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente		07/02/2014
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0,15		13/02/2014

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 19 de fevereiro de 2014.

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
RS 5.658.433-01

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 15979/2014-0 - Complemento

Processo Comercial Nº 7592/2013-15

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Tera Ambiental Ltda
Endereço:	Estrada Do Varjão, 4520 - Oeste - Novo Horizonte - Jundiaí - SP - CEP: 13.212-590.
Nome do Solicitante:	Biossola Agricultura

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Fertilizante Orgânico Composto Classe D - Sanefertil-Lote 01/2014 de 03/01/2014		
Amostra Rotulada como:	Fertilizante Orgânico Composto classe B		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	22/01/2014 16:30:00
Data da entrada no laboratório:	22/01/2014 19:59	Data de Elaboração do RE:	29/01/2014

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	CAS	Unidade	LQ	Resultados analíticos	SDA Nº27 - VMP	Data do Ensaio
Arsênio	7440-38-2	mg/kg	1	< 1	20,00	24/01/2014 11:11
Bário	7440-39-3	mg/kg	1	382	---	24/01/2014 11:11
Cádmio	7440-43-9	mg/kg	0,1	2,06	3,00	24/01/2014 11:11
Cromo	7440-47-3	mg/kg	1	65	200,00	24/01/2014 11:11
Chumbo	7439-92-1	mg/kg	1	44	150,00	24/01/2014 11:11
Níquel	7440-02-0	mg/kg	1	30	70,00	24/01/2014 11:11
Mercurio	7439-97-6	mg/kg	0,05	0,240	1,00	24/01/2014 11:09
Selênio	7782-49-2	mg/kg	1	< 1	80,00	24/01/2014 11:11
Molibdênio	7439-98-7	mg/kg	1	< 1	---	24/01/2014 11:11
Cobre	7440-50-8	mg/kg	1	149	---	24/01/2014 11:11
Zinco	7440-66-6	mg/kg	1	536	---	24/01/2014 11:11
Porcentagem de Sólidos	---	% p/p	0,05	62,8	---	24/01/2014 07:05

SDA Nº27 - VMP Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA Nº27, 05 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos

Notas

LQ = Limite de Quantificação.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Plano de Amostragem

Plano de amostragem de responsabilidade do interessado.

Referências Metodológicas

Análises foram realizadas conforme a última versão do Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 22nd 2012(SMWW), EPA e ABNT (quando aplicável).

Sólidos Totais: POP PA 058 Rev.02

Mercurio: EPA 245.7-2005

Metais (ICP-OES): Determinação: SMWW 3120 B / Preparo: EPA 3010A:1992

Revisores

Rogério Caldurin

Marcus Vinicius Nascimento de Lima

Josiane Maria Bulow

Chave de Validação: 96743908dc477b9016bfac5bfecac35b

Juliana Bombasaro
Controlador de Qualidade
CRQ 04469985 - 4ª Região

**ANEXO XI – Resultados físico químicos e microbiológicos dos lotes –
Lote L2**

INSTITUTO AGRÔNOMO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No. 0467/14

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho de Oliveira
e-mail: fernando@blossolo.com.br Fone: (19) 3432-6058 / 99608-5589
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão, 4520 / Oeste
Jundiaí – SP CEP 13209-430

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Sanefertil, lote 02/2014 de 13/02/14
Data da coleta: 11/03/14 às 16:30 h
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 14/03/14 Data da entrada em análise: 14/03/14
Amostra coletada por: conforme informado pelo interessado, por David Peterson de Lima

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do interessado:	Sanefertil, lote 02/2014 de 13/02/14	Data do
Identificação do laboratório:	702/14	ensaio
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado
pH (em água 1:10)	---	7,6
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	19,4
Sólidos Totais	% (m/m)	80,2
Sólidos Voláteis	% (m/m)	36,4
Carbono orgânico	g de C/kg	169
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	14,8
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	1316
Nitrogênio nitrato-nitrito	mg de N/kg	29,0
Cálcio	g de Ca/kg	34,3
Enxofre	g de S/kg	9,7
Fósforo	g de P/kg	6
Magnésio	g de Mg/kg	4,6
Potássio	mg de K/kg	7919
Sódio	mg de Na/kg	1813
CTC	mmol/kg	371

Legenda

(1) Resultados expressos em base seca.

Desvios do item de ensaio ou de condições específicas de ensaio: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o número CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

INSTITUTO AGRÔNOMO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Microbiologia do Solo

Av. Barão de Itapira, 1481
13020-902 Campinas, SP
Fone - Fax: 19 2137-0712

No. MS039/2014

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho Oliveira – Fone: 19 99508-5589
e-mail: Fernando.carvalho@teraambiental.com.br
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão – 4520 - Oeste
CEP 13209-430 – Jundiaí - SP

Dados da amostra:

Produto: Fertilizante Orgânico Classe D – Lote 01/2014 de 03/01/2014.
Período da coleta: 21/01/2014 às 16:30 hs
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 27/01/2014
Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.
Amostra(s) coletada(s): por David Peterson de Lima; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Lote 01/2014 De 03/01/2014		Data do ensaio
Identificação do laboratório:		012/2014		
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾			
Coliformes Termotolerantes	NMP/ g	0		06/02/2014
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente		07/02/2014
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0,15		13/02/2014

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 19 de fevereiro de 2014.

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
RS 5.658.433-01

INSTITUTO AGRÔNOMO
final do boletim

1/1

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 62572/2014-0 - Complemento
Processo Comercial Nº 7592/2013-20

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Tera Ambiental Ltda
Endereço:	Estrada Do Varjão, 4520 - Oeste - Novo Horizonte - Jundiaí - SP - CEP: 13.212-590 .
Nome do Solicitante:	Biossola Agricultura

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Fertilizante Orgânico Composto Classe D - Sanefertil-Lote02/2014 de 13/02/2014		
Amostra Rotulada como:	Fertilizante Orgânico Composto classe B		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	17/03/2014 16:30:00
Data da entrada no laboratório:	18/03/2014 23:57	Data de Elaboração do RE:	24/03/2014

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	CAS	Unidade	LQ	Resultados analíticos	SDA Nº27 - VMP	Data do Ensaio
Arsênio	7440-38-2	mg/kg	1	< 1	20,00	20/03/2014 10:45
Bário	7440-39-3	mg/kg	1	491	---	20/03/2014 10:45
Cádmio	7440-43-9	mg/kg	0,1	2,17	3,00	20/03/2014 10:45
Cromo	7440-47-3	mg/kg	1	73	200,00	20/03/2014 10:45
Chumbo	7439-92-1	mg/kg	1	51	150,00	20/03/2014 10:45
Níquel	7440-02-0	mg/kg	1	33	70,00	20/03/2014 10:45
Mercurio	7439-97-6	mg/kg	0,05	0,498	1,00	20/03/2014 10:45
Selênio	7782-49-2	mg/kg	1	< 1	80,00	20/03/2014 10:45
Molibdênio	7439-98-7	mg/kg	1	11	---	20/03/2014 10:45
Cobre	7440-50-8	mg/kg	1	241	---	20/03/2014 10:45
Zinco	7440-66-6	mg/kg	1	548	---	20/03/2014 10:45
Porcentagem de Sólidos	---	% p/p	0,05	77,9	---	20/03/2014 08:27

SDA Nº27 - VMP Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA Nº27, 05 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos

Notas

LQ = Limite de Quantificação da Amostra (LQ = LQM x fator de preparo da amostra x correção base seca, quando aplicável);
LQM = Limite de Quantificação do Método.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).
Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Plano de Amostragem

Plano de amostragem de responsabilidade do interessado.

Referências Metodológicas

Análises foram realizadas conforme a última versão do Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 22nd 2012(SMWW), EPA e ABNT (quando aplicável).
Sólidos Totais: POP PA 058 Rev.02
Mercúrio: EPA 245.7:2005
Metais (ICP-OES): Determinação: SMWW 3120 B / Preparo: EPA 3010A:1992

Revisores

Débora Fernandes da Silva
Rogério Caldorin
Marcus Vinícius Nascimento de Lima

Chave de Validação: 65fe66241be87448f8f726a3dd1e3c7

Milena Hatqueta
Controle de Qualidade
CRBio 46737101 D - 1ª Região

**ANEXO XII – Resultados físico químicos e microbiológicos dos lotes –
Lote L3**

INSTITUTO AGRÔNOMO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No. 0667/14

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho de Oliveira
e-mail: fernando@biossolo.com.br Fone: (19) 3432-6058 / 99608-5589
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varão, 4520 / Oeste
Jundiaí – SP CEP 13209-430

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Sanefertil, lote 03/2014 de 10/03/14
Data da coleta: 23/04/14 as 16:30 h
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 25/04/14 Data da entrada em análise: 25/04/14
Amostra coletada por: conforme informado pelo interessado, por David Peterson de Lima

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do interessado:	Sanefertil	Data do
Identificação do laboratório:	988/14	ensaio
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado
pH (em água 1:10)	---	7,8
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	49,0
Sólidos Totais	% (m/m)	49,0
Sólidos Voláteis	% (m/m)	36,7
Carbono orgânico	g de C/kg	196
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	14,2
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	186
Nitrogênio nitrato-nitrato	mg de N/kg	40,3
Cálcio	g de Ca/kg	36,5
Enxofre	g de S/kg	11,2
Fósforo	g de P/kg	5,7
Magnésio	g de Mg/kg	2,9
Potássio	mg de K/kg	8152
Sódio	mg de Na/kg	3100
CTC	mmolc/kg	257

Legenda

(1) Resultados expressos em base seca

Desvios do item de ensaio ou de condições específicas de ensaio: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o número CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

INSTITUTO AGRÔNOMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Microbiologia do Solo

Av. Barão de Itapura, 1481
13020-902 Campinas, SP
Fone - Fax: 19 2137-0712

No. MS154/2014

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho Oliveira – Fone: 19 99508-5589
e-mail: Fernando.carvalho@teraambiental.com.br
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão – 4520 - Oeste
CEP 13209-430 – Jundiaí - SP

Dados da amostra:

Produto: Fertilizante Orgânico Classe D – Lote 03/2014 de 10/03/2014.
Período da coleta: 22/04/2014 às 16:30 hs
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 25/04/2014
Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.
Amostra(s) coletada(s): por David Peterson de Lima; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Lote 03/2014		Data do ensaio
Identificação do laboratório:		De 10/03/2014		
		142/2014		
Parâmetro	Unidade⁽¹⁾			
<i>Coliformes Termotolerantes</i>	NMP/ g	0		08/05/2014
<i>Salmonella sp.</i>	NMP/10 g	Ausente		09/05/2014
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0		17/05/2014

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 23 de maio de 2014.

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
RS 5.858.433-01

INSTITUTO AGRÔNOMICO
final do boletim

1/1

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA N° 98096/2014-0

Processo Comercial N° 7592/2013-21

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Tera Ambiental Ltda
Endereço:	Estrada Do Varjão, 4520 - Oeste - Novo Horizonte - Jundiaí - SP - CEP: 13.212-590 .
Nome do Solicitante:	Biossola Agricultura

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Fertilizante Orgânico Composto Classe D - Sanefertil - Lote 03/2014 de 10/03/2014		
Amostra Rotulada como:	Fertilizante Orgânico Composto classe B		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	23/04/2014 16:30:00
Data da entrada no laboratório:	26/04/2014 01:11	Data de Elaboração do RRA:	02/05/2014

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	SDA N°27 - VMP
Arsenio	mg/kg	1	< 1	20,00
Bário	mg/kg	1	345	---
Cádmio	mg/kg	0,1	2,50	3,00
Cromo	mg/kg	1	67	200,00
Chumbo	mg/kg	1	46	150,00
Níquel	mg/kg	1	32	70,00
Mercurio	mg/kg	0,05	0,553	1,00
Selênio	mg/kg	1	< 1	80,00
Molibdênio	mg/kg	1	8,02	---
Cobre	mg/kg	1	192	---
Zinco	mg/kg	1	588	---
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	50,8	---

SDA N°27 - VMP - Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA N°27, 03 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos

Notas

LQ = Limite de Quantificação da Amostra (LQ = LQM x fator de preparo da amostra x correção base seca, quando aplicável);
LQM = Limite de Quantificação do Método.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra n° 98096/2014-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 98096/2014-0 - Piracicaba anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Chave de Validação: 89395625e7ad2b54076bd541d97037

Milena Falquetto
Controle de Qualidade
CRBio 46737101 D - 1ª Região

**ANEXO XIII – Resultados físico químicos e microbiológicos dos lotes –
Lote L4**

INSTITUTO AGRONÔMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP 13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0846 FAX: (019) 2137-0712

No. 0960/14

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho de Oliveira
e-mail: fernando@biossolo.com.br Fone: (19) 3432-6058 / 99608-5589
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Verjão, 4520 / Oeste
Jundiaí – SP CEP 13209-430

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Sanefertil, lote 04/2014 de 02/05/14
Data da coleta: 02/06/14 às 16:30 h
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 03/06/14 Data da entrada em análise: 04/06/14
Amostra coletada por: conforme informado pelo interessado, por David Peterson de

Lima

RESULTADOS ANALÍTICOS

RESULTADOS ANALÍTICOS			Data do
Identificação do interessado:	Sanefertil		ensaio
Identificação do laboratório:	1331/14		
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado	
pH (em água 1:10)	---	8,9	11/06/14
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	20,5	11/06/14
Sólidos Totais	% (m/m)	78,1	11/06/14
Sólidos Voláteis	% (m/m)	45,4	11/06/14
Carbono orgânico	g de C/kg	189	11/06/14
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	15,2	11/06/14
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	909	04/06/14
Nitrogênio nitrato-nitrato	mg de N/kg	173	04/06/14
Cálcio	g de Ca/kg	32,7	16/06/14
Enxofre	g de S/kg	7,8	16/06/14
Fósforo	g de P/kg	6,2	16/06/14
Magnésio	g de Mg/kg	3,0	16/06/14
Potássio	mg de K/kg	12426	16/06/14
Sódio	mg de Na/kg	3059	16/06/14
CTC	mmol/kg	357	18/06/14

Legenda

(1) Resultados expressos em base seca.

Desvios do item de ensaio ou de condições específicas de ensaio: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o número CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

FSG-RES-020 - rev.06 – Apr. 18/10/13 – Página 1 de 2

No. MS217/2014

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho Oliveira – Fone: 19 99508-5589
e-mail: Fernando.carvalho@teraambiental.com.br
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão – 4520 - Oeste
CEP 13209-430 – Jundiaí - SP

Dados da amostra:

Produto: Fertilizante Orgânico Classe D – Lote 04/2014 de 02/05/2014.
Período da coleta: 02/06/2014 às 16:30 hs
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 04/06/2014
Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.
Amostra(s) coletada(s): por David Peterson de Lima; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Lote 04/2014 De 02/05/2014		Data do ensaio
Identificação do laboratório:		292/2014		
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾			
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	0		11/06/2014
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente		12/06/2014
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0		18/06/2014

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 23 de junho de 2014

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
R\$ 5.658.433-01

INSTITUTO AGRÔNOMO
final do boletim

RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA Nº 137128/2014-0
Processo Comercial Nº 7592/2013-23

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Tera Ambiental Ltda
Endereço:	Estrada Do Varjão, 4520 - Oeste - Novo Horizonte - Jundiaí - SP - CEP: 13.212-590 .
Nome do Solicitante:	Biossola Agricultura

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Fertilizante Orgânico Composto Classe D - Sanefertil - Lote 04/2014 de 02/05/2014		
Amostra Rotulada como:	Fertilizante Orgânico Composto classe B		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	02/06/2014 16:30:00
Data da entrada no laboratório:	05/06/2014 20:33	Data de Elaboração do RRA:	13/06/2014

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	SDA Nº27 - VMP
Arsênio	mg/kg	1	< 1	20,00
Bário	mg/kg	1	210	***
Cádmio	mg/kg	0,1	< 0,1	3,00
Cromo	mg/kg	1	40	200,00
Chumbo	mg/kg	1	22	150,00
Níquel	mg/kg	1	18	70,00
Mercurio	mg/kg	0,05	0,208	1,00
Selênio	mg/kg	1	< 1	80,00
Molibdênio	mg/kg	1	< 1	***
Cobre	mg/kg	1	109	***
Zinco	mg/kg	1	283	***
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	77,9	***

SDA Nº27 - VMP - Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA Nº27, 05 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos

Notas

LQ = Limite de Quantificação da Amostra (LQ = LQM x fator de preparo da amostra x correção base seca, quando aplicável);
LQM = Limite de Quantificação do Método.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).
Este Resumo dos Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra nº 137128/2014-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 137128/2014-0 - Piracicaba anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Chave de Validação: d3f6c1312facf0f5183685d71130b6

Juliana Bombasaro
Juliana Bombasaro
Controladora de Qualidade
C.R.Q. 04469983 - 4ª Região

Marcos Ceccatto
Marcos Ceccatto
Diretor Técnico
C.R.Q. 04432847 - 4ª Região

ANEXO XIV – Resultados físico químicos e microbiológicos dos lotes – Lote L5

INSTITUTO AGRÔNOMO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No.1224/14

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do interessado:

Contato: Fernando Carvalho de Oliveira
e-mail: fernando@bicosolo.com.br Fone: (19) 3432-8058 / 99808-5589
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão, 4520 / Oeste
Jundiaí – SP CEP 13209-430

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Sanefértil, lote 05/2014 de 04/06/14
Data da coleta: 07/07/14 às 16:00 hs
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 11/07/14 Data da entrada em análise: 11/07/14
Amostra coletada por: conforme informado pelo interessado, por David Peterson de Lima

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do interessado:	Sanefértil	Data do
Identificação do laboratório:	1554/14	ensaio
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado
pH (em água 1:10)	---	8,6
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	25,4
Sólidos Totais	% (m/m)	71,2
Sólidos Voláteis	% (m/m)	37,7
Carbono orgânico	g de C/kg	174
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	14,6
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	1081
Nitrogênio nitrato-nitrato	mg de N/kg	152
Cálcio	g de Ca/kg	31,6
Enxofre	g de S/kg	7,8
Fósforo	g de P/kg	5,4
Magnésio	g de Mg/kg	4,3
Potássio	mg de K/kg	9846
Sódio	mg de Na/kg	1498
CTC	mmol/kg	401

Legenda

(1) Resultados expressos em base seca.

Desvios do item de ensaio ou de condições específicas de ensaio: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o número CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

No. MS247/2014

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho Oliveira – Fone: 19 99508-5589
e-mail: Fernando.carvalho@teraambiental.com.br
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão – 4520 - Oeste
CEP 13209-430 – Jundiaí - SP

Dados da amostra:

Produto: Fertilizante Orgânico Classe D – Lote 05/2014 de 04/06/2014.
Período da coleta: 07/07/2014 às 16:00 hs
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 11/07/2014
Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.
Amostra(s) coletada(s): por David Peterson de Lima; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Lote 05/2014 De 04/06/2014		Data do ensaio
Identificação do laboratório:		334/2014		
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾			
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	0		17/07/2014
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente		25/07/2014
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0,13		01/08/2014

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 08 de agosto de 2014.

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
RS 5.658.433-01

final do boletim

1/1

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA Nº 174300/2014-0
Processo Comercial Nº 6557/2014-4

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Tera Ambiental Ltda
Endereço:	Estrada Do Varjão, 4520 - Oeste - Novo Horizonte - Jundiaí - SP - CEP: 13.212-590 .
Nome do Solicitante:	Biossola Agricultura

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Fertilizante Orgânico Composto Classe D - Sanefertil - Lote 05/2014 de 04/06/2014		
Amostra Rotulada como:	Fertilizante		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	14/07/2014 15:30:00
Data da entrada no laboratório:	16/07/2014 18:45	Data de Elaboração do RRA:	23/07/2014

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	SDA Nº27 - VMP
Arsênio	mg/kg	1	< 1	20,00
Bário	mg/kg	1	86,4	---
Cádmio	mg/kg	0,1	< 0,1	3,00
Cromo	mg/kg	1	13,8	200,00
Chumbo	mg/kg	1	8,05	150,00
Níquel	mg/kg	1	5,89	70,00
Mercurio	mg/kg	0,05	< 0,05	1,00
Selênio	mg/kg	1	1,17	80,00
Molibdênio	mg/kg	1	1,99	---
Cobre	mg/kg	1	39,8	---
Zinco	mg/kg	1	110	---
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	70,0	---

SDA Nº27 - VMP Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA Nº27, 05 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos

Notas

LQ = Limite de Quantificação.

Abstração

O(s) resultado(s) referem-se somente á(s) amostra(s) analisada(s).

Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra nº 174300/2014-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 174300/2014-0 - Piracicaba anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Chave de Validação: b7229e2743781981f0a548c98edfeb60

Juliana Bombasari
Juliana Bombasari
Controladora de Qualidade
CRQ 04469985 - 4ª Região

Marcos Cavatito
Marcos Cavatito
Diretor Técnico
CRQ 04432847 - 4ª Região

**ANEXO XV – Resultados físico químicos e microbiológicos dos lotes –
Lote L6**

INSTITUTO AGRÔNOMO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
 Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
 Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No.1706/14

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho de Oliveira
 e-mail: fernando@biossolo.com.br Fone: (19) 3432-6058 / 99608-5589
 Tera Ambiental Ltda
 CNPJ 59.591.115/0003-02
 Estrada do Varão, 4520 / Oeste
 Jundiaí – SP CEP 13209-430

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Saneifertil, lote 06/2014 de 09/07/14
 Data da coleta: 09/09/14 as 15:30 h
 Origem da amostra: Tera Ambiental Ltda
 Amostra(s) recebida(s) em: 11/09/14 Data da entrada em análise: 11/09/14
 Amostra coletada por: conforme informado pelo interessado, por David Peterson de Lima.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do interessado:	Saneifertil	Data do
Identificação do laboratório:	2031/14	ensaio
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado
pH (em água 1:10)	---	8,6
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	34,0
Sólidos Totais	% (m/m)	64,9
Sólidos Voláteis	% (m/m)	40,1
Carbono orgânico	g de C/kg	252
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	15,8
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	1439
Nitrogênio nitrato-nitrito	mg de N/kg	5,3
Cálcio	g de Ca/kg	28,2
Enxofre	g de S/kg	8,5
Fósforo	g de P/kg	6,1
Magnésio	g de Mg/kg	3,7
Potássio	mg de K/kg	9680
Sódio	mg de Na/kg	1457
CTC	mmolc/kg	404

Legenda

(1) Resultados expressos em base seca.

Desvios do item de ensaio ou de condições específicas de ensaio: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o número CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
 Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

fl

No. MS384/2014

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho Oliveira – Fone: 19 99508-5589
e-mail: Fernando.carvalho@teraambiental.com.br
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão – 4520 - Oeste
CEP 13209-430 – Jundiaí - SP

Dados da amostra:

Produto: Fertilizante Orgânico Classe D – Lote 06/2014 de 09/07/2014.
Período da coleta: 09/09/2014 às 15:30 hs
Origem da amostra: Tera Ambiental Ltda
Amostra(s) recebida(s) em: 10/09/2014
Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.
Amostra(s) coletada(s): por David Peterson de Lima; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Lote 06/2014 De 09/07/2014	Data do ensaio
Identificação do laboratório:		503/2014	
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾		
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	0	17/09/2014
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente	26/09/2014
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0	23/09/2014

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 01 de outubro de 2014.

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
RS 5.658.433-01

INSTITUTO AGRÔNOMICO
final do boletim

1/1

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA Nº 241160/2014-0

Processo Comercial Nº 6557/2014-4

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Tera Ambiental Ltda
Endereço:	Estrada Do Varjão, 4520 - Oeste - Novo Horizonte - Jundiaí - SP - CEP: 13.212-590 .
Nome do Solicitante:	Biossola Agricultura

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Fertilizante Orgânico Composto Classe D - Sanefertil - Lote 06/2014 de 09/07/2014		
Amostra Rotulada como:	Fertilizante		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	12/09/2014 17:30:00
Data da entrada no laboratório:	15/09/2014 22:30	Data de Elaboração do RRA:	19/09/2014

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	SDA Nº27 - VMP
Arsênio	mg/kg	1	< 1	20,00
Bário	mg/kg	1	275	---
Cádmio	mg/kg	0,1	1,25	3,00
Cromo	mg/kg	1	49,2	200,00
Chumbo	mg/kg	1	70,7	150,00
Níquel	mg/kg	1	21,5	70,00
Mercurio	mg/kg	0,05	0,637	1,00
Selênio	mg/kg	1	< 1	80,00
Molibdênio	mg/kg	1	5,37	---
Cobre	mg/kg	1	154	---
Zinco	mg/kg	1	344	---
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	73,6	---

SDA Nº27 - VMP Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA Nº27, 05 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos

Notas

LQ = Limite de Quantificação.

Abrangência

O(s) resultado(s) refere(m)-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra nº 241160/2014-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 241160/2014-0 - Piracicaba anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Chave de Validação: aa2902f8e53db0fa7729ed97655a70

Bruna Alexandre
Bruna Alexandre
Controlador de Qualidade
CRQ 04267125 - 4ª Região

Marcos Cecatto
Marcos Cecatto
Diretor Técnico
CRQ 04432847 - 4ª Região

**ANEXO XVI – Resultados físico químicos e microbiológicos dos lotes –
Lote L7**

INSTITUTO AGRÔNOMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0848 FAX: (019) 2137-0712

No.1788/14

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho de Oliveira
e-mail: fernando@biossolo.com.br Fone: (19) 3432-6058 / 99608-5589
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão, 4520 / Oeste
Jundiaí – SP CEP 13209-430

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Sanefértil lote 07/2014 de 15/08/14.
Data da coleta: 16/09/14 às 15:30 h
Origem da amostra: Tera Ambiental Ltda.
Amostra(s) recebida(s) em: 17/09/14 Data da entrada em análise: 18/09/14
Amostra coletada por: conforme informado pelo interessado, por David Peterson de Lima.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do interessado:	Sanefértil	Data do
Identificação do laboratório:	2074/14	ensaio
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado
pH (em água 1:10)	---	9,1
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	40,5
Sólidos Totais	% (m/m)	59,5
Sólidos Voláteis	% (m/m)	25,6
Carbono orgânico	g de C/kg	190
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	10,9
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	907
Nitrogênio nitrato-nitrilo	mg de N/kg	4,9
Cálcio	g de Ca/kg	37,7
Enxofre	g de S/kg	10,2
Fósforo	g de P/kg	6,9
Magnésio	g de Mg/kg	3,5
Potássio	mg de K/kg	5813
Sódio	mg de Na/kg	2053
CTC	mmolo/kg	229

Legenda

(1) Resultados expressos em base seca

Desvios do item de ensaio ou de condições específicas de ensaio: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o número CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

No. MS398/2014

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho Oliveira – Fone: 19 99508-5589
e-mail: Fernando.carvalho@teraambiental.com.br
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão – 4520 – Oeste – Novo Horizonte
CEP 13209-430 – Jundiaí - SP

Dados da amostra:

Produto: Fertilizante Orgânico Classe D – Lote 07/2014 de 15/08/2014.
Período da coleta: 16/09/2014 às 15:30 hs
Origem da amostra: Tera Ambiental Ltda
Amostra(s) recebida(s) em: 16/09/2014
Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.
Amostra(s) coletada(s): por David Peterson de Lima; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Lote 07/2014 De 15/08/2014		Data do ensaio
Identificação do laboratório:		517/2014		
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾			
Coliforms Termotolerantes	NMP/g	0		24/09/2014
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente		03/10/2014
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0		08/10/2014

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 10 de outubro de 2014.

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
RS 5.655.433-01

INSTITUTO AGRÔNOMO
final do boletim.

1/1

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA Nº 245925/2014-0
Processo Comercial Nº 6557/2014-4

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Tera Ambiental Ltda
Endereço:	Estrada Do Varão, 4520 - Oeste - Novo Horizonte - Jundiaí - SP - CEP: 13.212-590 .
Nome do Solicitante:	Biossola Agricultura

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Fertilizante Orgânico Composto Classe D - Sanefertil - Lote 07/2014 de 15/08/2014		
Amostra Rotulada como:	Fertilizante		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	16/09/2014 15:30:00
Data da entrada no laboratório:	18/09/2014 23:18	Data de Elaboração do RRA:	24/09/2014

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	SDA Nº27 - VMP
Arsênio	mg/kg	1	< 1	20,00
Bário	mg/kg	1	268	---
Cádmio	mg/kg	0,1	1,21	3,00
Cromo	mg/kg	1	48,7	200,00
Chumbo	mg/kg	1	25,0	150,00
Níquel	mg/kg	1	22,2	70,00
Mercurio	mg/kg	0,05	0,514	1,00
Selênio	mg/kg	1	< 1	80,00
Molibdênio	mg/kg	1	< 1	---
Cobre	mg/kg	1	128	---
Zinco	mg/kg	1	415	---
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	57,9	---

SDA Nº27 - VMP Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA Nº27, 05 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos

Notas

LQ = Limite de Quantificação.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra nº 245925/2014-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 245925/2014-0 - Piracicaba anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Chave de Validação: 17af1bc0ef87cf3386b09a42c8674b03

Bruna Alexandre
Bruna Alexandre
Controlador de Qualidade
CRQ 04267125 - 4ª Região

Marcos Ceccatto
Marcos Ceccatto
Diretor Técnico
CRQ 04432847 - 4ª Região

**ANEXO XVII – Resultados físico químicos e microbiológicos dos lotes –
Lote L8**

INSTITUTO AGRÔNOMO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP 13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No.2441/14

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho de Oliveira
e-mail: fernando@biossolo.com.br Fone: (19) 3432-6058 / 99608-5589
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varjão, 4520 / Oeste
Jundiaí – SP CEP 13209-430

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Sanefertil, lote 08/2014
Data da coleta: 28/10/14 as 15:30 h
Origem da amostra: Tera Ambiental Ltda
Amostra(s) recebida(s) em: 30/10/14 Data da entrada em análise: 03/10/14
Amostra coletada por: conforme informado pelo interessado, por David Peterson de Lima.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do interessado:	Sanefertil		Data do
Identificação do laboratório:	2448/14		ensaio
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado	
pH (em água 1:10)	---	12,9	03/11/14
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	68,3	07/11/14
Sólidos Totais	% (m/m)	30,8	07/11/14
Sólidos Voláteis	% (m/m)	32,0	07/11/14
Carbono orgânico	g de C/kg	227	13/11/14
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	26,2	14/11/14
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	40,4	04/11/14
Nitrogênio nitrato-nitrato	mg de N/kg	6,2	04/11/14
Cálcio	g de Ca/kg	27,2	10/11/14
Enxofre	g de S/kg	10,7	10/11/14
Fósforo	g de P/kg	6,3	10/11/14
Magnésio	g de Mg/kg	3,8	10/11/14
Potássio	mg de K/kg	11331	10/11/14
Sódio	mg de Na/kg	1382	10/11/14
CTC	mmolc/kg	291	13/10/14

Legenda

(1) Resultados expressos em base seca.

Desvios do item de ensaio ou de condições específicas de ensaio: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o número CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

INSTITUTO AGRÔNOMO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Microbiologia do Solo

Av. Barão de Itapira, 1481
13020-902 Campinas, SP
Fone - Fax: 19 2137-0712

No. MS490/2014

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho Oliveira – Fone: 19 99508-5589
e-mail: Fernando@biossolo.com.br
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0001-40
Estrada Municipal do Varjão - 4520 – Oeste – Novo Horizonte
CEP 13.209-430 – Jundiaí - SP

Dados da amostra:

Produto: Fertilizante Orgânico Composto Classe D – Lote 08/2014 de 02/09/2014.
Período da coleta: 28/10/2014 às 15:30 horas
Origem da amostra: Tera Ambiental Ltda. - Jundiaí
Amostra(s) recebida(s) em: 03/11/2014
Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.
Amostra(s) coletada(s): por David Peterson de Lima; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Lote 08/2014 de 02/09/2014		Data do ensaio
Identificação do laboratório:		603/2014		
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾			
Coliformes Termotolerantes	NMP/ g	0		12/11/2014
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente		13/11/2014
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0,05		19/11/2014

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 19 de novembro de 2014.

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
RS 5.658.433-01

INSTITUTO AGRÔNOMO
final do boletim

1/1

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA Nº 295535/2014-0
Processo Comercial Nº 6557/2014-4

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Tera Ambiental Ltda
Endereço:	Estrada Do Varão, 4520 - Oeste - Novo Horizonte - Jundiaí - SP - CEP: 13.212-590
Nome do Solicitante:	Biossola Agricultura

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Fertilizante Orgânico Composto Classe D - Sanefertil - Lote 08/2014 de 02/09/2014		
Amostra Rotulada como:	Fertilizante		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	28/10/2014 15:30:00
Data da entrada no laboratório:	05/11/2014 22:18	Data de Elaboração do RRA:	11/11/2014

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	SDA Nº27 - VMP
Arsênio	mg/kg	1	< 1	20,00
Bário	mg/kg	1	374	---
Cádmio	mg/kg	0,1	2,17	3,00
Cromo	mg/kg	1	69,2	200,00
Chumbo	mg/kg	1	33,9	150,00
Níquel	mg/kg	1	32,9	70,00
Mercurio	mg/kg	0,05	0,668	1,00
Selênio	mg/kg	1	< 1	80,00
Molibdênio	mg/kg	1	9,07	---
Cobre	mg/kg	1	184	---
Zinco	mg/kg	1	465	---
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	73,7	---

SDA Nº27 - VMP Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA Nº27, 05 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos

Notas

LQ = Limite de Quantificação.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).
Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra nº 295535/2014-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 295535/2014-0 - Piracicaba anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Comparando-se os resultados obtidos para a amostra com os valores estabelecidos pela Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA Nº27, 05 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos podemos observar que: O(s) parâmetro(s) satisfaz(em) os limites permitidos.

Chave de Validação: 1d180f8c9b2d38d677afb59d1e97e84a

Bruna Alexandre
Controle de Qualidade
CRQ 04267125 - 4ª Região

Marcos Ceccatto
Diretor Técnico
CRQ 04364387 - 4ª Região

**ANEXO XVIII – Resultados físico químicos e microbiológicos dos lotes –
Lote L9**

INSTITUTO AGRÔNOMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No.2613/14

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho Oliveira
e-mail: Fernando@blossolo.com.br fone:(19) 3432-6058
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varão – 4.520 - Oeste
Jundiaí - SP CEP 13.209-430

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Composto Saneférbil, lote 09/14
Data da coleta: 01/12/14 às 16h00
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 03/12/14 Data da entrada em análise: 03/12/14
Amostra coletada por: conforme informado pelo interessado, por David Peterson de Lima.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do interessado:	lote 09/14		Data do
Identificação do laboratório:	2809/14		ensaio
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado	
pH (em água 1:10)	---	5,6	08/12/14
Umidade a 60 – 65°C	% (m/m)	27,2	16/12/14
Sólidos Totais	% (m/m)	69,8	09/12/14
Sólidos Voláteis	% (m/m)	30,0	16/12/14
Carbono orgânico	g de C/kg	165	11/12/14
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	10,7	11/12/14
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	1282	08/12/14
Nitrogênio nitrato-nitrato	mg de N/kg	87,3	08/12/14
Cálcio	g de Ca/kg	35,3	16/12/14
Enxofre	g de S/kg	9,3	16/12/14
Fósforo	g de P/kg	6,0	16/12/14
Magnésio	g de Mg/kg	5,0	16/12/14
Potássio	mg de K/kg	8452	16/12/14
Sódio	mg de Na/kg	1305	16/12/14
CTC	Mmolc/kg	314	10/12/14

Legenda

- (1) Resultados expressos em base seca.
(2) Menor do que o limite de quantificação

Desvios do item de ensaio ou de condições específicas de ensaio, condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

No. MS543/2014

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Fernando Carvalho Oliveira – Fone: 19 99508-5589
e-mail: fernando@biocssolo.com.br
Tera Ambiental Ltda
CNPJ 59.591.115/0003-02
Estrada do Varão – 4520 – Oeste – Novo Horizonte
CEP 13208-430 – Jundiaí - SP

Dados da amostra:

Produto: Fertilizante Orgânico Classe D – Lote 09/2014 de 13/10/2014.
Período da coleta: 01/12/2014 às 15:30 hs
Origem da amostra: Tera Ambiental Ltda
Amostra(s) recebida(s) em: 03/12/2014
Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.
Amostra(s) coletada(s): por David Peterson de Lima; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Lote 09/2014 De 13/10/2014		Data do ensaio
Identificação do laboratório:		680/2014		
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾			
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	0		10/12/2014
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente		15/12/2014
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0		16/12/2014

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 18 de dezembro de 2014.

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
RS 5 658.433-01

INSTITUTO AGRÔNOMICO
final do boletim

1/1

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA Nº 325401/2014-0

Processo Comercial Nº 6557/2014-4

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Tera Ambiental Ltda
Endereço:	Estrada Do Varjão, 4520 - Oeste - Novo Horizonte - Jundiaí - SP - CEP: 13.212-590 .
Nome do Solicitante:	Biossola Agricultura

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Fertilizante Orgânico Composto Classe D - Sanefértil - Lote 09/2014 de 13/10/2014		
Amostra Rotulada como:	Fertilizante		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	01/12/2014 15:30:00
Data da entrada no laboratório:	03/12/2014 17:40	Data de Elaboração do RRA:	11/12/2014

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	SDA Nº27 - VMP
Arsênio	mg/kg	1	2,05	20,00
Bário	mg/kg	1	253	---
Cádmio	mg/kg	0,1	< 0,1	3,00
Cromo	mg/kg	1	52,0	200,00
Chumbo	mg/kg	1	24,2	150,00
Níquel	mg/kg	1	23,0	70,00
Mercurio	mg/kg	0,05	0,517	1,00
Selênio	mg/kg	1	< 1	80,00
Molibdênio	mg/kg	1	5,68	---
Cobre	mg/kg	1	124	---
Zinco	mg/kg	1	354	---
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	76,1	---

SDA Nº27 - VMP Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA Nº27, 05 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos

Notas

LQ = Limite de Quantificação.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Resumo de Resultados só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Dados de Origem

Resumo dos resultados da amostra nº 325401/2014-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 325401/2014-0 - Piracicaba anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Comparando-se os resultados obtidos para a amostra com os valores estabelecidos pela Valores Máximos Permitidos segundo Instrução Normativa SDA Nº27, 05 de Junho de 2006 - Anexo V - Limites Máximos de Contaminantes Admitidos em Fertilizantes Orgânicos podemos observar que: O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.

Chave de Validação: 38935c4f6964c74f3542559b61406dcd

Bruna Alexandre
Bruna Alexandre
Controladora de Qualidade
CRQ 04267125 - 4ª Região

Marcos Cecatto
Marcos Cecatto
Diretor Técnico
CRQ 04364387 - 4ª Região

ANEXO XIX – Resultados físico químicos e microbiológicos da torta de lodo 1

INSTITUTO AGRÔNOMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapira, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No. 0585/15

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Thiago de Almeida Leite
Email: thleite2004@yahoo.com.br fone:11 98245-2005
CPF 309.171.438-17
R. Aruja, 443 - Apto 3, Vila Curuçá
Santo André – SP CEP 09291-250

Dados da amostra:

Identificação do Interessado: Torta do Lodo - Lodo da ETE Jundiaí
Data da coleta: 13/03/15
Origem da amostra: não Informada
Amostra(s) recebida(s) em: 13/03/15 Data da entrada em análise: 13/03/15
Amostra coletada por: pelo Interessado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do Interessado:	Torta do Lodo - Lodo da ETE Jundiaí		Data do
Identificação do laboratório:	726/15		ensalo
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado	
pH (em água 1:10)	---	7,3	16/03/15
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	82,4	16/03/15
Sólidos Totais	% (m/m)	52,6	16/03/15
Sólidos Voláteis	% (m/m)	17,8	16/03/15
Carbono orgânico	g de C/kg	290	18/03/15
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	31,8	18/03/15
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	21,2	16/03/15
Nitrogênio nitrato-nitrato	mg de N/kg	6,7	16/03/15
Bário	mg de Ba/kg	1149	23/03/15
Arsênio	mg de As/kg	8,6	23/03/15
Selênio	mg de Se/kg	<1,0 ⁽²⁾	23/03/15
Mercurio	mg de Hg/kg	<1,0 ⁽²⁾	23/03/15
Potássio	mg de K/kg	1095	23/03/15
Sódio	mg de Na/kg	1571	23/03/15
CTC	mmolo/kg	396	26/03/15

Legenda

- (1) Resultados expressos em base seca.
- (2) Não quantificado, concentração menor do que o limite de quantificação.

Desvios do Item de ensalo ou de condições específicas de ensalo: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o número CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

INSTITUTO AGRONÔMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapira, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0545 FAX: (019) 2137-0712

No. 0586/15

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Thiago de Almeida Leite
Email: thleite2004@yahoo.com.br fone:11 98245-2005
CPF 309.171.438-17
R. Arujá, 443 Apto 3, Vila Curuçá
Santo André – SP CEP 09291-250

Dados da amostra:

Identificação do Interessado: Torta do Lodo - Lodo da ETE Jundiaí
Data da coleta: 13/03/15
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 13/03/15 Data da entrada em análise: 13/03/15
Amostra coletada por: pelo Interessado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do Interessado:		Torta do Lodo - Lodo da ETE Jundiaí	Data do
Identificação do laboratório:		0726/15	ensalo
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado	
Boro	mg de B/kg	2,6	23/03/15
Cádmio	mg de Cd/kg	8,2	23/03/15
Cálcio	g de Ca/kg	16,1	23/03/15
Chumbo	mg de Pb/kg	91,1	23/03/15
Cobre	mg de Cu/kg	280	23/03/15
Cromo	mg de Cr/kg	145	23/03/15
Enxofre	g de S/kg	33,6	23/03/15
Ferro	mg de Fe/kg	59239	23/03/15
Fósforo	g de P/kg	18,3	23/03/15
Magnésio	g de Mg/kg	2,2	23/03/15
Manganês	mg de Mn/kg	504	23/03/15
Níquel	mg de Ni/kg	70,6	23/03/15
Zinco	mg de Zn/kg	2577	23/03/15
Molibdênio	mg de /kg	21,0	23/03/15

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

(2) Não quantificado, concentrações menores do que o limite de quantificação.

INSTITUTO AGRONÔMICO

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

No. MS133/2015

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado: Thiago de Almeida Leite

Fone: 11 98245-2005 e-mail: thielte2004@yahoo.com.br

CPF 309.171.438-17

Rua Arujá - 443 - apt. 3

CEP 09.291-250 - Santo André - SP

Dados da amostra:

Produto: Torta de Lodo

Período da coleta: 13/03/15

Origem da amostra: ETE Jundiaí

Amostra(s) recebida(s) em: 13/03/15

Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.

Amostra(s) coletada(s): pelo Interessado; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Torta de Lodo		Data do ensaio
Identificação do laboratório:		133/2015		
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾			
Coliformes Termotolerantes	NMP/ g	4.526,30		20/03/15
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente		29/03/15
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0,37		30/03/15

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 1º. de abril de 2015.

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC - CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
RS 5.658.433-01

final do boletim

INSTITUTO AGRÔNOMO

1/1

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

ANEXO XX – Resultados físico químicos e microbiológicos da torta de lodo 2

INSTITUTO AGRÔNOMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0546 FAX: (019) 2137-0712

No. 0714/15

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Thiago de Almeida Leite
Email: thleite2004@yahoo.com.br fone:11 96245-2005
CPF 309.171.438-17
R. Arujá, 443 Apto 3, Vila Curuçã
Santo André – SP CEP 09291-250

Dados da amostra:

Identificação do Interessado: Lodo da ETE Jundiaí
Data da coleta: 17/04/15
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 17/04/15 Data da entrada em análise: 17/04/15
Amostra coletada por: pelo Interessado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do Interessado:	Lodo da ETE Jundiaí	Data do
Identificação do laboratório:	1128/15	ensalo
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado
pH (em água 1:10)	—	7,9
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	80,9
Sólidos Totais	% (m/m)	19,4
Sólidos Voláteis	% (m/m)	30,0
Carbono orgânico	g de C/kg	287
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	30,1
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	27,9
Nitrogênio nitrato-nitrato	mg de N/kg	5,7
Bário	mg de Ba/kg	684
Arsênio	mg de As/kg	18,1
Selênio	mg de Se/kg	<1,0 ⁽²⁾
Mercurio	mg de Hg/kg	<1,0 ⁽²⁾
Potássio	mg de K/kg	1192
Sódio	mg de Na/kg	1609
CTC	mmolo/kg	386

Legenda

- (1) Resultados expressos em base seca.
(2) Não quantificado, concentração menor do que o limite de quantificação.

Desvios do Item de ensalo ou de condições específicas de ensalo: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o número CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

INSTITUTO AGRONÔMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapira, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No. 0715/15

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado:

Contato: Thiago de Almeida Leite
Email: thleite2004@yahoo.com.br fone:11 98245-2005
CPF 309.171.438-17
R. Arujá, 443 Apto 3, Vila Curuçã
Santo André – SP CEP 09291-250

Dados da amostra:

Identificação do Interessado: Lodo da ETE Jundiaí
Data da coleta: 17/04/15
Origem da amostra: não informada
Amostra(s) recebida(s) em: 17/04/15 Data da entrada em análise: 17/04/15
Amostra coletada: pelo Interessado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do Interessado: Lodo da ETE Jundiaí		Data do	
Identificação do laboratório:		1128/15	ensalo
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾	Resultado	
Boro	mg de B/kg	18,5	27/04/15
Cádmio	mg de Cd/kg	8,7	27/04/15
Cálcio	g de Ca/kg	16,4	27/04/15
Chumbo	mg de Pb/kg	92,3	27/04/15
Cobre	mg de Cu/kg	920	27/04/15
Cromo	mg de Cr/kg	159	27/04/15
Enxofre	g de S/kg	32,4	27/04/15
Ferro	mg de Fe/kg	64722	27/04/15
Fósforo	g de P/kg	19,7	27/04/15
Magnésio	g de Mg/kg	2,2	27/04/15
Manganês	mg de Mn/kg	558	27/04/15
Níquel	mg de Ni/kg	75,3	27/04/15
Zinco	mg de Zn/kg	2847	27/04/15
Molibdênio	mg de Mo/kg	21,8	27/04/15

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

(2) Não quantificado, concentrações menores do que o limite de quantificação.

INSTITUTO AGRONÔMICO

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

No. MS208/2015

BOLETIM DE ANÁLISE

Dados do Interessado: Thilago de Almeida Leite

Fone: 11 98245-2005 e-mail: thielte2004@yahoo.com.br

CPF 309.171.438-17

Rua Arujá – 443 – apt. 3

CEP 09.291-250 – Santo André – SP

Dados da amostra:

Produto: Lodo Bruto

Período da coleta: 17/04/15

Origem da amostra: ETE Jundiaí

Amostra(s) recebida(s) em: 17/04/15

Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações.

Amostra(s) coletada(s): pelo interessado; procedimento não declarado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do usuário:		Lodo Bruto		Data do ensaio
Identificação do laboratório:		213/2015		
Parâmetro	Unidade ⁽¹⁾			
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	406,09		01/05/15
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente		11/05/15
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0,17		12/05/15

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

MÉTODO DE ENSAIO

De acordo com a U.S.EPA 1992 part 503

Campinas, 19 de maio de 2015.

Dra. Adriana Parada Dias da Silveira
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
R\$ 5.658.433-01

final do boletim

INSTITUTO AGRÔNOMO

1/1

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.