Caio Souza Pires

**O tratamento dos resíduos orgânicos como cumprimento
da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Análise dos
planos municipais da bacia do Alto Tietê**

Dissertação Apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte integrante dos requisitos para obtenção de título de Mestre em Ciências, Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Assoc. Valdir Schalch

São Carlos – SP
Fevereiro - 2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

P667t Pires, Caio Souza
 O Tratamento dos resíduos orgânicos como cumprimento da
política nacional de resíduos sólidos : análise dos planos
municipais da bacia do Alto Tiête / Caio Souza Pires ;
orientador Valdir Schalch. São Carlos, 2013.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Resíduos orgânicos. 3.
Compostagem. 4. Digestão anaeróbia. 5. Gerenciamento de
resíduos sólidos. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **CAIO SOUZA PIRES**.

Título da dissertação: "O Tratamento dos Resíduos Orgânicos Como Cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Análise dos Planos Municipais da Bacia do Alto Tietê".

Data da defesa: 12/04/2013

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Valdir Schalch - (Orientador)**
(Escola de Engenharia de Mauá)

APROVADO

Prof. Dr. **Nivaldo Aparecido Corrêa**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Wellington Cyro de Almeida Leite**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Guaratinguetá)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Prof. Titular **Edson Cezar Wendland**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

Agradecimentos

Aos meus pais por, sempre, priorizar o “maior investimento” deles, a minha educação e a dos meus irmãos.

Aos meus irmãos que não falaram nada, mas com certeza pensaram muito em mim.

A Bisteca que me ajudou, entendeu e aceitou “perder” minha companhia em vários finais de semana e feriados.

Ao Pardal, José, Marisco, Cirrose, Francys, Palhaço, Resto, Aedes, Tarzan, Patrik, Pri, Thá, Nata, Gi e todas outras minhas amigas e amigos que sempre ficaram ao meu lado, seja para me ajudar a estudar mais ou para me incentivar a dar um tempo e espairecer.

As repúblicas Casa de Loucos e Boa Nisso pela hospedagem.

A Sá e Rose por desde o início terem sido fundamentais a conclusão dessa pesquisa.

A CNPq e CAPES por terem me fornecido, durante 14 meses, a possibilidade de dedicação exclusiva aos estudos.

A USP por nos disponibilizar uma biblioteca de qualidade e acesso a grandes bases de dados e, além disso, possuir um “bandeijão” delicioso e barato.

Aos Cyro, Nivaldo e Schalch pela leitura e contribuição ao texto final da dissertação.

*“O homem moldou o rio ao seu modo,
colocou-o dentro de um cano e o escondeu
embaixo da terra para não se ver na
sujeira.”*

Caio Silva Ferraz (Entre Rios)

Resumo

PIRES, C.S. **O tratamento dos resíduos orgânicos como cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Análise dos planos municipais da bacia do Alto Tietê.** 2013. 101p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

A pesquisa teve como objetivo estudar as possibilidades de tratamento, aeróbio e anaeróbio, da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) de forma a atender ao disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Além de ser previsto em lei, o tratamento da fração orgânica se faz necessário já que no Brasil são gerados quase 100 mil toneladas por dia de resíduos orgânicos. A maioria desses resíduos é atualmente disposta em aterros sanitários. Porém, a PNRS determina que a partir de agosto de 2014 apenas sejam dispostos em Aterros Sanitários os rejeitos, resíduos os quais já se esgotaram as possibilidades técnicas e econômicas de tratamento. Verificou-se que os resíduos orgânicos podem ser tratados através da compostagem e biodigestão. Outro objetivo da pesquisa foi analisar os objetivos relacionados ao tratamento da fração orgânica dos RSU dos Planos Municipais de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS) dos municípios da bacia hidrográfica do Alto Tietê. Esses planos são outra obrigatoriedade prevista na PNRS. Essa lei determinou um prazo (Agosto de 2012) para que os municípios tivessem apresentado seus planos e, assim, tivessem acesso aos recursos da União destinados a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos. A Bacia em estudo está localizada na região sudeste e possui 34 municípios. Juntos, esses municípios geram mais de 12 mil toneladas por dia de resíduos orgânicos. De todos os municípios da bacia apenas sete, aproximadamente 20%, apresentaram o PMGIRS. As metas relacionadas ao tratamento de resíduos orgânicos dos PMGIRS estudados foram avaliadas e, dos sete municípios que apresentaram o plano municipal, apenas dois apresentaram metas favoráveis, dois apresentaram metas intermediárias e dois apresentaram metas desfavoráveis, segundo critério de classificação apresentado pela prévia do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Apenas um município não apresentou nenhuma meta relacionada ao tratamento de resíduos orgânicos. Após análise dos PMGIRS foi proposto um modelo de gestão da fração orgânica dos RSU para os municípios da bacia do Alto Tietê.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos. Resíduos Orgânicos. Compostagem. Digestão Anaeróbia. Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

Abstract

PIRES, C.S. **The treatment of organic waste as a fulfillment of the National Policy on Solid Waste: Analysis of municipal plans Alto Tietê's Basin.** 2013. 101p. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

The research studied the treatment possibilities for the organic fraction of municipal solid waste (MSW) in order to meet the provisions of the National Policy on Solid Waste (PNRS). Besides being provided by law, the treatment of the organic fraction is necessary since in Brazil are generated almost 100 tons per day of organic waste. Most of this waste is currently disposed of in landfills. However, PNRS determines that from 2014 only tailings, waste which has already exhausted the technical and economical possibilities of treatment, can be disposed in landfills. It was found that the organic waste can be treated by composting and digestion. Another objective of the research was to analyze the objectives related to the treatment of the organic fraction of MSW presented by the Municipal Plans for Integrated Solid Waste Management (PMGIRS) of the municipalities of Alto Tietê basin. These plans are another requirement provided for in PNRS. This law set a deadline (August 2012) for the municipalities had submitted their plans and thus have access to the resources of the Union for the solid waste management. The study basin is located in the Brazilian southeastern region and has 34 municipalities. Together, these municipalities generate more than 12 tons of organic waste per day. Only seven (20%) of all the municipalities of the basin showed the PMGIRS. The goals related to the treatment of organic waste were evaluated, and of all PMGIRS that were presented only two had positive goals, other two had intermediate goals and two had unfavorable goals, according to classification criteria presented by the National Plan of Solid Waste. Only one municipality did not have any goals related to organic waste treatment. After analyzing the PMGIRS was proposed a management model for the organic fraction of MSW for the municipalities of Alto Tietê basin.

Keywords: Municipal Solid Waste. Organic Waste. Composting. Anaerobic Digestion. Solid Waste Management

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AS	Aterro Sanitário
C/N	Relação Carbono Nitrogênio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EIA/RIMA	Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto no Meio Ambiente
FAS	Espaços Vazios de Ar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PMGIRS	Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RR	Resíduos Recicláveis
RS	Resíduos Sólidos
RSDV	Resíduos Sólidos Domiciliares e de Varrição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SINIR	Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

UCP	Unidade Compacta de Processamento
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
URE	Unidade de Recuperação de Energia

Lista de Figuras

Figura 1: Classificação dos Resíduos Sólidos segundo a origem.	9
Figura 2: Quantidade de municípios Brasileiros onde existem iniciativas de coleta seletiva. (adaptado de ABRELPE, 2011)	14
Figura 3: Locais de devolução das bandejas e descarte de restos de comida do <i>shopping</i>	17
Figura 4: Contêiner utilizado para transporte dos restos de comida das bandejas e dos restos de preparação de alimentos oriundos dos restaurantes.....	17
Figura 5: Triturador de resíduos.	18
Figura 6: Diferença dos resíduos orgânicos antes e depois de passar pelo triturador.	18
Figura 7: Resíduos Orgânicos em processo de bioestabilização.	19
Figura 8: Resíduos na UCP durante o processo de humificação.	20
Figura 9: Sistema de compostagem utilizado na Universidade Mackenzie.	21
Figura 10: Sistema de compostagem utilizado na empresa Cecil S/A.	21
Figura 11: Equipamento utilizado para revolvimento da leira.	26
Figura 12: Variação da temperatura x tempo de compostagem	27
Figura 13: Aumento de superfície e da relação área/massa pelo efeito da trituração de resíduos orgânicos.....	30
Figura 14: Variação do pH x Tempo de compostagem em dias	31
Figura 15: Efeito da inoculação massal sobre alguns parâmetros de compostagem.	34
Figura 16: Instalação de uma leira de compostagem estática aerada.	36

Figura 17: Sequência de prioridades no gerenciamento dos RS definida pela PNRS.	46
Figura 18: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - 06 - Alto Tietê	58
Figura 19: Catador informal do município de Cajamar.	59
Figura 20: Leira de tratamento dos resíduos de poda e capina do município de São Bernardo do Campo, SP.	72
Figura 21: Diagrama esquemático da proposta de sistema de manejo de resíduos no município de São Bernardo do Campo, SP.....	73
Figura 22: Mapa de coleta de RSU, de serviços de saúde e de materiais recicláveis, localização dos aterros sanitários e das centrais de triagem da coleta seletiva no município de São Paulo.	79
Figura 23: Proposta de gestão e gerenciamento da fração orgânica dos RSU gerados na bacia do Alto Tietê.....	93
Figura 24: Modelo de Centro de Tratamento de Resíduos.	94

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Destinação final dos RSU pelos municípios Brasileiros em 2011. (ABRELPE, 2011)	11
Gráfico 2: Caracterização Física dos RSD do município de Guarulhos, SP.	60
Gráfico 3: RSD Úmidos tratados x RSD Úmidos aterrados em Guarulhos, SP.	62
Gráfico 4: Caracterização gravimétrica dos RSU do município de Salesópolis, SP.	65
Gráfico 5: Evolução no tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos no município de Salesópolis, SP, segundo os cenários propostos no PMGIRS.	68
Gráfico 6: Caracterização Física dos RSU do município de Santo André, SP.	70
Gráfico 7: Caracterização Física dos RSD de São Bernardo do Campo.	71
Gráfico 8: Metas do Volume de Tratamento da Fração Orgânica do município de São Bernardo do Campo.	74
Gráfico 9: Projeção total de minimização de resíduos: Coleta Seletiva + SPAR/URE + Tratamento da Fração Orgânica do município de São Bernardo do Campo.	74
Gráfico 10: Análise gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos no período de Março de 2011 a Fevereiro de 2012. (São Paulo, 2012)	78
Gráfico 11: Projeção dos cenários de destinação final dos RSD do município de Suzano, SP	85
Gráfico 12: Quantidade de Planos Municipais dos Municípios da Bacia do Alto Tietê entregues até prazo definido pela PNRS.	87
Gráfico 13: Metas para a redução da disposição da Matéria Orgânica em AS segundo critérios do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.	88

Lista de Tabelas

Tabela 1: Composição Gravimétrica Média dos RSU no Brasil.....	10
Tabela 2: Padrão de Cores para a Coleta Seletiva estabelecido pela Resolução CONAMA 275/2001	16
Tabela 3: Hierarquia dos Planos de Resíduos Sólidos.....	47
Tabela 4: Metas relacionadas à redução do percentual de resíduos úmidos dispostos em aterros sanitários.	56
Tabela 5: Meta de Planos Estaduais e Intermunicipais e Municipais elaborados até 2014.....	56
Tabela 6: Projeção da Geração de RSD de Guarulhos, SP	61
Tabela 7: Síntese dos dados sobre RS obtidos dos PMGIRS dos municípios da bacia do Alto Tietê.	89
Tabela 8: Síntese das características populacionais, geração de RSU e geração de resíduos úmidos dos municípios da bacia hidrográfica do Alto Tietê.	90

Sumário

1.	Introdução	3
2.	Objetivos	7
3.	Revisão Bibliográfica	8
3.1	Resíduos Sólidos.....	8
3.1.1	Definição	8
3.1.2	Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil	10
3.1.3	Disposição em Aterros Sanitários.....	11
3.2	Coleta Seletiva e Usinas de Compostagem	13
3.3	Compostagem	22
3.3.1	Principais fatores que influenciam na compostagem.....	22
3.3.2	Métodos de compostagem	32
3.4	Digestão anaeróbia	36
3.4.1	Etapas da Digestão Anaeróbia	37
3.4.2	Fatores que afetam a digestão anaeróbia	38
3.4.3	Co-Digestão Anaeróbia	41
3.4.4	Biorreatores Anaeróbios.....	42
3.5	PNRS	43
3.5.1	Histórico	43
3.5.2	PNRS e os Resíduos Orgânicos	46
3.5.3	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	46
4.	Metodologia	51
5.	Resultados e Discussão	53
5.1	Plano Nacional de Resíduos Sólidos.....	53
5.2	Bacia Hidrográfica do Alto Tietê	57
5.3	Municípios que possuem PMGIRS.....	57
5.3.1	Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e/ou Planos de Saneamento Básico dos municípios da bacia hidrográfica do Alto-Tietê	58
5.3.2	<i>Município de Cajamar.....</i>	<i>59</i>
5.3.3	Município de Guarulhos, SP	60

5.3.4	Município de Mairiporã, SP	62
5.3.5	Município de Ribeirão Pires, SP	63
5.3.6	Município de Salesópolis, SP.....	63
5.3.7	Município de Santo André, SP	69
5.3.8	Município de São Bernardo do Campo, SP	70
5.3.9	Município de São Paulo, SP	75
5.3.10	Município de Suzano, SP.....	83
5.4	Síntese dos municípios da bacia que possuem PMGIRS.....	86
5.5	Síntese de todos os municípios da bacia do Alto Tietê.....	89
6.	Conclusão	96
7.	Sugestões para trabalhos futuros	98
8.	Referências Bibliográficas	99

1. Introdução

A gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos (RS) são um dos maiores e mais custosos problemas enfrentados pelas administrações municipais em todo o mundo. O aumento populacional somado com o aumento nos padrões de consumo ocorrido nas últimas décadas acarretou em um aumento do consumo de bens e proporcionalmente aumento na geração de RS no Brasil. As cidades de grande porte costumam realizar a disposição final de seus Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em aterros sanitários (AS) por ser uma tecnologia já consolidada e considerada economicamente melhor. Porém, o gradativo aumento na geração dos RSU tem diminuído, cada vez mais, a vida útil dos AS. Além disso, encontrar um local com viabilidade ambiental de se tornar um AS nas proximidades dos municípios está cada vez mais difícil e conseqüentemente os custos para a disposição final dos rejeitos estão cada vez maiores. Segundo a Comissão de Meio Ambiente do Município de São Paulo, em 2012 foram gastos dois milhões de reais por dia para dispor os resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários (Seminário De Compostagem Na Cidade De São Paulo, 2012).

Ao observarmos a caracterização física dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, vemos uma predominância de resíduos sólidos orgânicos, 51,4%, e resíduos recicláveis, 31,9% (ABRELPE, 2011). Os resíduos recicláveis poderiam ser reinseridos nos processos produtivos através da reciclagem, porém para que isso ocorra é imprescindível um sistema de coleta seletiva eficiente, pois na coleta convencional ocorre a contaminação dos resíduos recicláveis através do contato com os outros tipos de resíduos diminuindo, assim, seu valor de mercado. A fração

orgânica dos resíduos sólidos urbanos ao invés de ser aterrada, poderia ser tratada através da digestão anaeróbia, incineração ou compostagem já que quando disposta em aterros sanitários ela é degradada em condições não controladas e de forma praticamente anaeróbia, podendo gerar impactos ambientais através do não tratamento do chorume (líquido de difícil tratamento) e emissão do metano (gás altamente agravante do efeito estufa). Apesar dos projetos de novos aterros já preverem isso em seus estudos de impactos ambientais (EIA/RIMA) e disporem de sistemas de tratamento, não existem garantias de que o chorume e o metano não possam virar impactos ambientais. Nesse sentido, vale ressaltar que o eles são os principais problemas enfrentados pelos gestores dos aterros sanitários.

A incineração da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é uma opção interessante, pois pode-se aproveitar o poder calorífico dos resíduos para gerar energia. Porém o processo não pode ser considerado estanque podendo acarretar na emissão de furanos e dioxinas, substâncias altamente impactantes ao meio ambiente e para a saúde pública.

Caso a digestão anaeróbia controlada fosse a tecnologia utilizada para o tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, seria possível realizar um aproveitamento energético do metano produzido, que diferentemente do gerado nos aterros sanitários é mais fácil de ser capturado e utilizado, além disso, o biossólido e o líquido que também são produzidos através desses sistemas são ricos em nutrientes e poderiam ser utilizados como fertilizantes para o solo.

A compostagem pode ser considerada uma tecnologia mais simples e consolidada que as anteriores, mas possui um alto gasto energético decorrente do sistema de aeração forçada, além de necessitar de grandes áreas para poder ser

realizada devido a grande quantidade de resíduos orgânicos gerada em nossos municípios. Além disso, a compostagem para atingir resultados melhores necessita de uma coleta seletiva eficiente para que o composto, produto final da compostagem, não fique contaminado e perca sua característica de fertilizante e consequentemente valor de mercado.

Após 19 anos em discussão no congresso foi sancionada e regulamentada, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que trouxe diversos avanços para a área de resíduos sólidos. Dentre as exigências da nova lei, o fim dos lixões, a reciclagem e a realização de coleta seletiva com separação dos resíduos em, pelo menos, duas categorias (secos e úmidos) até o final de 2014, o que pode ser considerado um grande avanço na gestão de resíduos sólidos dos municípios brasileiros. Outro grande avanço se deve ao Plano Nacional e os Planos Estaduais de Resíduos Sólidos e aos Planos Municipais de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, documento que todos os municípios brasileiros deveriam ter apresentado até dia 02 de Agosto de 2012 como condição para acesso aos recursos da União, ou por ela controlados, destinados a gestão, gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos. Infelizmente a grande maioria dos municípios brasileiros não apresentaram seus planos.

Esses planos devem ter como metas, entre outras coisas, a redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem dos resíduos gerados, de forma a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para a disposição final ambientalmente adequada, no nosso caso os aterros sanitários. Nesse sentido é importante observar de que forma os municípios estão se planejando para evitar que toneladas de resíduos orgânicos sejam dispostas em aterros sanitários.

Na região sudeste existe a bacia hidrográfica do Alto Tietê, que possuía em 2011 uma população de, aproximadamente, 20 milhões de habitantes e uma produção de quase 23 mil toneladas por dia de Resíduos Sólidos Urbanos. Essa bacia é composta de 36 municípios e apenas 14 deles entregaram algum plano municipal relacionado ao gerenciamento dos resíduos sólidos até o prazo supracitado, sendo que apenas 7 (sete) desses municípios entregaram o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, os outros entregaram o Plano Municipal de Saneamento Básico.

Sendo a fração orgânica a mais representativa, em peso, no total de Resíduos Sólidos Urbanos é imprescindível avaliar quais são as diretrizes, os objetivos, as metas e as ações que as administrações municipais estão planejando para a gestão de todos os seus resíduos, em especial a fração orgânica dos RSU. O presente trabalho tem como objetivos estudar as formas de tratamento dos resíduos orgânicos, obter e sintetizar as informações sobre geração, destinação e tratamento da fração orgânica dos RSU nos municípios da bacia hidrográfica do Alto Tietê e observar se as propostas dos municípios são equivalentes às apresentadas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

2. Objetivos

- ❖ Estudar as formas de tratamento aeróbio e/ou anaeróbio da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos;
- ❖ Analisar os Planos Municipais de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos dos Municípios da Bacia do Alto Tietê no que diz respeito à gestão e ao gerenciamento da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos.
- ❖ Avaliar se as metas dos Planos Municipais de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos estão condizentes com as metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.
- ❖ Propor um modelo de gestão e gerenciamento da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos para os municípios da bacia do Alto Tietê.

3.Revisão Bibliográfica

3.1 Resíduos Sólidos

3.1.1 Definição

A PNRS (BRASIL, 2010) define resíduos sólidos como:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível.”

Segundo o art.º 13 da PNRS (BRASIL, 2010) os resíduos podem ser classificados quanto à sua origem, conforme apresentado na Figura 1 ou os resíduos podem ser classificados segundo sua periculosidade.

Resíduos perigosos são:

“aqueles que, em razão de suas características da inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.”

Figura 1: Classificação dos Resíduos Sólidos segundo a origem.

Resíduos não perigosos são aqueles que não se enquadram na definição de resíduos perigosos. Os “Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços” que não necessitem de plano de gerenciamento e forem caracterizados

como não perigosos podem, em razão de sua natureza, composição ou volume serem equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.

3.1.2 Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

Segundo Khalid et al. (2011), os países em desenvolvimento geram, em média, 0,77 kg de RS por dia por pessoa, segundo o mesmo autor, em todo o mundo são produzidos 2 (dois) bilhões de toneladas de RSU diariamente, valor que crescerá para 3 (três) bilhões de toneladas até 2025.

No Brasil a geração de RSU é de mais de 55 milhões de toneladas por ano (ABRELPE, 2011) e a caracterização física desses resíduos pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição Gravimétrica Média dos RSU no Brasil

Material	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Metais	2,9	1.610.499
Papel, Papelão e TetraPak	13,1	7.275.012
Plástico	13,5	7.497.149
Vidro	2,4	1.332.827
Matéria Orgânica	51,4	28.544.702
Outros	16,7	9.274.251
TOTAL	100,00	55.534.440

fonte: ABRELPE, 2011

Em 2011 a disposição final de RSU no Brasil ficou da seguinte maneira:

Destinação final dos RSU pelos municípios Brasileiros em 2011

Gráfico 1: Destinação final dos RSU pelos municípios Brasileiros em 2011. (ABRELPE, 2011)

Por destinação final adequada, ou destinação final ambientalmente adequada, entende-se disposição dos rejeitos em aterros sanitários (AS) e por destinação final inadequada entende-se disposição em aterros controlados e lixões. Podemos observar no Gráfico 1 que apenas 58,06% dos RSU Brasileiros foram dispostos em AS e 41,94% foram dispostos em lixões e aterros controlados. (ABRELPE, 2011) De acordo com a PNRS, esses municípios tem o prazo de até 2014 para implementarem a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

3.1.3 Disposição em Aterros Sanitários

Quando disposta em aterros sanitários, a matéria orgânica presente nos RSU sofre digestão anaeróbia gerando metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) que se emitidos para a atmosfera geram impactos ambientais negativos, contribuindo com o

efeito estufa e com a destruição da camada de ozônio. Quanto piores as condições operacionais e maiores as profundidades dos aterros sanitários, maior será o potencial de geração de CH₄. (KHALID et al., 2001) O estado de São Paulo emitiu, só no ano de 2008, 5.487.000 toneladas de CO₂ equivalente para a atmosfera pelos aterramento de RSU (CETESB, 2011).

No município de São Paulo foram instalados sistemas de captação e recuperação do metano existente em dois AS já desativados, o aterro Bandeirantes e o aterro São João. Com capacidade de gerar 175 mil e 200 mil MW por ano, respectivamente, os dois sistemas juntos custaram US\$ 80 milhões para a empresa Biogás-Ambiental que hoje tem o retorno através da venda dos créditos de carbono decorrentes da redução na emissão dos gases de efeito estufa para a atmosfera. A prefeitura de São Paulo é dona de 50% do direito sobre a redução nas emissões, o que representou um total de R\$ 71 milhões para a prefeitura nos dois leilões realizados em 2007 e 2008 (JACOBI, 2011).

Segundo a PNRS rejeito é o resíduo sólido que por inviabilidade econômica ou por inexistência de tecnologia, deve ser encaminhado para o aterro sanitário para a disposição final ambientalmente adequada. A PNRS afirma em suas diretrizes que devem ser seguidos na gestão e gerenciamento dos RS a não geração, redução, reutilização, tratamento dos RS e disposição final ambientalmente adequada, exatamente nessa ordem. Além disso, ela estabelece como responsabilidade do titular de serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos a implantação de um sistema de compostagem para os resíduos sólidos orgânicos (BRASIL, 2010).

Existem vários métodos disponíveis para se realizar o tratamento dos resíduos orgânicos e eles podem ser aeróbios, mais conhecido como compostagem ou anaeróbios. Dentre todas as tecnologias existentes a digestão anaeróbia aparece como a mais interessante (LEE et al. 2009).

3.2 Coleta Seletiva e Usinas de Compostagem

A coleta dos RS previamente segregados segundo a sua constituição ou composição é denominada Coleta Seletiva, segundo a PNRS (BRASIL, 2010). Essa coleta diferenciada dos RS é imprescindível para garantia da qualidade do tratamento da fração orgânica dos RSU. A Figura 2 apresenta a quantidade de municípios Brasileiros onde existem iniciativas de coleta seletiva.

Podemos observar que a região Sul e Sudeste apresentam as maiores quantidades de municípios com programa de coleta seletiva, porém é importante ressaltar que não necessariamente os municípios que possuem iniciativas de coleta seletiva tem todo o seu território abrangido por coleta seletiva.

Barreira (2005), realizou a avaliação das usinas de compostagem, que existiam no estado de São Paulo, em função da qualidade dos compostos e os processos de produção. Segundo a autora, a qualidade dos compostos produzidos pelas usinas de compostagem não foram satisfatórios, sendo somente indicados como um condicionador de solos e não fornecedores de nutrientes. Os compostos produzidos apresentaram, também, metais pesados como alumínio e cobre. A baixa qualidade e a presença de metais podem ser atribuídas ao processo como um todo e não a tecnologia aplicada, já que a inexistência de coleta seletiva aliada à baixa

eficiência do pré-tratamento e ineficaz segregação dos resíduos são os principais responsáveis por essa baixa qualidade do composto produzido.

Municípios Brasileiros com coleta seletiva

Figura 2: Quantidade de municípios Brasileiros onde existem iniciativas de coleta seletiva. (adaptado de ABRELPE, 2011)

Em 2004 as duas usinas de compostagem do município de São Paulo, a usina Vila Leopoldina e usina São Mateus, foram desativadas em função do excesso

de oferta de composto orgânico de baixa qualidade e dos insuperáveis incômodos à vizinhança em decorrência do forte odor gerado por elas e da proliferação de animais vetores de doenças (SÃO PAULO, 2012).

À medida que forem implantados sistemas de tratamento de resíduos orgânicos pelos municípios será importante implementar conjuntamente a coleta seletiva dos resíduos orgânicos, ou úmidos, para que não ocorra a contaminação dos resíduos orgânicos e assim esteja garantida a eficiência do tratamento e a qualidade do composto gerado e a não contaminação dos resíduos recicláveis.

A Resolução CONAMA 275 de 25 de Abril de 2001 (BRASIL, 2001) estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas de coleta seletiva. Segundo a Resolução, as cores dos coletores devem seguir o padrão apresentado na Tabela 2. A cor utilizada para diferenciar os coletores de resíduos orgânicos é a cor marrom. No Brasil ainda não é usual a realização da coleta seletiva desses resíduos, apesar de mais de 50%, em massa, dos RSU serem compostos por matéria orgânica (ABRELPE, 2011).

Sendo essas as possibilidades da gestão, gerenciamento e do tratamento da matéria orgânica presente nos RSU, a seguir serão estudados alguns casos reais de coleta diferenciada e tratamento dos resíduos orgânicos.

Tabela 2: Padrão de Cores para a Coleta Seletiva estabelecido pela Resolução CONAMA 275/2001

Cor	Tipo de Resíduo
Azul	Papel / Papelão.
Vermelho	Plástico.
Verde	Vidro.
Amarelo	Metal.
Preto	Madeira.
Laranja	Resíduos Perigosos.
Branco	Resíduos Ambulatoriais e de Serviços de Saúde.
Roxo	Resíduos Radioativos.
Marrom	Resíduos Orgânicos.
Cinza	Resíduo Geral Não Reciclável ou Misturado, ou Contaminado não passível de Separação.

fonte: Brasil, 2001

3.2.1 Casos de gerenciamento da fração orgânica dos RSU em operação em São Paulo

Shopping Eldorado, São Paulo (SP)

Amparado pela PNRS, a Lei Municipal (SP) 14.973 sobre coleta seletiva de resíduos, a Lei Municipal (SP) 13.478 e a Resolução CONAMA nº 275, o *shopping* Eldorado localizado na Zona Oeste da cidade de São Paulo começou em 2012 um projeto de coleta seletiva e compostagem dos resíduos orgânicos gerados na praça de alimentação do próprio *shopping*.

O processo começa na praça de alimentação onde foram dispostas lixeiras diferenciadas, com sacos de coloração marrom para que os clientes do *shopping* depositassem apenas os resíduos orgânicos, conforme Figura 3. Após isso, a todos os resíduos orgânicos das bandejas são adicionados os resíduos de preparação provenientes dos restaurantes (Casca, talos e restos vegetais) e são direcionados a um local específico, denominado central de compostagem. Os resíduos são

embalados e direcionados com a utilização de um contêiner específico, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 3: Locais de devolução das bandejas e descarte de restos de comida do *shopping*.

Figura 4: Contêiner utilizado para transporte dos restos de comida das bandejas e dos restos de preparação de alimentos oriundos dos restaurantes.

De forma a homogeneizar os resíduos e acelerar o processo de compostagem, os resíduos orgânicos são triturados com a utilização de um triturador como o apresentado na Figura 5. Pires (2009), afirma que se controlados alguns parâmetros que influenciam a compostagem, como aeração, umidade, relação C/N e

pH é possível se trabalhar a granulometria da matéria orgânica a ser compostada atingindo-se assim mais rapidamente a bioestabilização da matéria orgânica.

A Figura 6 mostra a diferença dos resíduos antes e depois de passarem pelo triturador.

Figura 5: Triturador de resíduos.

Figura 6: Diferença dos resíduos orgânicos antes e depois de passar pelo triturador.

Como forma de, também, acelerar o processo e diminuir a possível geração de odores em caso de anaerobiose, são adicionadas enzimas aos resíduos e somente após isso os resíduos são deixados para que ocorra o processo de bioestabilização, conforme apresentado na Figura 7. Após a bioestabilização o material é disposto em um local denominado Unidade Compacta de Processamento para compostagem (UCP) onde ocorre a humificação, conforme apresentado na Figura 8. O composto gerado no processo é utilizado nos jardins e no telhado verde do próprio *shopping*.

Figura 7: Resíduos Orgânicos em processo de bioestabilização.

Figura 8: Resíduos na UCP durante o processo de humificação.

Universidade Mackenzie e Cecil S/A

Em 21 de Setembro de 2010 a Universidade Mackenzie inaugurou um sistema de compostagem de parte, 20 a 30%, dos resíduos orgânicos produzidos na praça de alimentação do *campus* principal da universidade, localizada na região da Consolação, município de São Paulo, SP. O sistema utiliza tecnologia de vermicompostagem e tem capacidade de compostar 2.000 Litros de resíduos por mês com o auxílio de 200.000 minhocas californianas vermelhas. O adubo e o fertilizante produzidos são utilizados para adubação dos jardins, da horta medicinal e da horta de educação ecológica existentes no *campus*. A Figura 9 apresenta o local onde é realizada a compostagem dos resíduos.

Um sistema de tratamento com a mesma tecnologia também é utilizado para compostar 100% dos resíduos orgânicos produzidos pelos 400 funcionários da empresa Cecil S/A. Podemos observar o sistema na Figura 10.

Figura 9: Sistema de compostagem utilizado na Universidade Mackenzie.

Figura 10: Sistema de compostagem utilizado na empresa Cecil S/A.

3.3 Compostagem

Segundo a NBR 13.591 (ABNT, 1996), compostagem:

É o processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação.

KIEHL (2004) define compostagem como o processo de decomposição da matéria orgânica, no estado sólido e úmido, realizado pela ação de microrganismos e com a temperatura, umidade e presença de oxigênio controlados. Esse processo de decomposição ocorre em três momentos distintos, primeiramente em uma fase denominada fitotóxica seguida de uma fase de bioestabilização e finalmente pela fase de humificação. O produto principal de compostagem é um fertilizante orgânico chamado de composto e os subprodutos desse processo, quando realizado adequadamente, são somente calor, gás carbônico e vapor d'água.

A qualidade do composto produzido depende primeiramente dos materiais submetidos a compostagem, mas também da forma como foi realizado o processo de compostagem.

3.3.1 Principais fatores que influenciam na compostagem

Existem alguns fatores físicos, químicos e biológicos que tem influência direta no processo de compostagem e conseqüentemente na qualidade do composto produzido, são eles:

Biota

A transformação da matéria orgânica em húmus é realizada principalmente por microrganismos como bactérias, fungos e actinomicetes. Porém, algas, protozoários, nematoides, vermes, insetos e agentes bioquímicos como enzimas, hormônios e vírus contribuem para a degradação da matéria orgânica durante o processo de compostagem. A diversidade e a população de cada agente dependem das condições existentes ou oferecidas durante o processo. (KIEHL, 2004)

Umidade

Sendo a compostagem um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, é imprescindível a presença de água para satisfazer as necessidades fisiológicas dos organismos envolvidos no processo. Porém, para garantir a qualidade e a velocidade da compostagem é necessário controlar a quantidade de água existente na matéria orgânica a ser compostada. Umidade em excesso torna menor a quantidade de espaços vazios para o ar (FAS) e consequentemente a transferência de oxigênio fica limitada. Já a umidade deficiente faz com que a cinética das reações de degradação fique comprometida. Com a umidade abaixo de 20%, a atividade microbiana fica praticamente inexistente, entre 20 e 40% a degradação é aeróbia, porém lenta. Acima de 60% a umidade já se torna excessiva e, portanto, os espaços vazios ficam ocupados por água e consequentemente a degradação será anaeróbia, deixando o processo mais lento e com a geração de maus odores e gases poluentes como metano. A faixa entre 40 e 60% é considerada a faixa ótima de compostagem sendo 55% o valor ótimo de umidade. (HAUG, 1993 e KIEHL, 2004)

Aeração

Segundo Kiehl (2004) a aeração é o fator mais importante a ser considerado em um processo de compostagem. Isso porque a matéria orgânica seja ela proveniente RSU, tratamento de esgoto ou qualquer outra fonte, já possui microrganismos em quantidade suficiente para que o processo de decomposição ocorra satisfatoriamente, só é necessário fornecer um ambiente adequado.

A aeração é importante não apenas para fornecer a quantidade de oxigênio necessária para a degradação da matéria orgânica, ela tem grande influencia nas trocas gasosas que ocorrem na leira de compostagem. Na degradação aeróbia ocorre a produção de gás carbônico e vapor d'água que ficam acumulados na leira, com a aeração esses gases são arrastados e trocados por uma massa de ar com a composição adequada de gases para que o processo ocorra adequadamente. Nesse sentido é importante salientar que a aeração para ser eficiente, deve vir acompanhada de revolvimento. Haug (1993), afirma que a após algumas horas a concentração de oxigênio chega a valores indetectáveis, porém apesar de a quantidade de oxigênio ser muito baixa não ocorre a produção de metano o que caracteriza o processo como aeróbio. Esse fato ocorre devida a degradação da matéria orgânica acontecer com quantidades muito baixas de oxigênio, que penetram na leira através da difusão e convecção. Isso justifica a necessidade de existir uma leira com maior porosidade proporcionada por um material de granulometria grosseira (KIEHL, 2004).

Caso a aeração não seja eficiente, o processo de decomposição será anaeróbio o que acarretará em um tempo maior de degradação, na produção de maus odores, gases poluentes como metano e na produção de um composto mais

ácido e com qualidade inferior ao produzido em um processo estritamente aeróbio (KIEHL, 2004).

A aeração pode ser feita de dois modos, por revolvimento ou injeção de ar. A insuflação é geralmente realizada por equipamentos fabricados com essa função como sopradores e o revolvimento pode ser manual ou mecanizado. O revolvimento manual é utilizado em leiras pequenas, geralmente em processos de compostagem caseiros. Já em processos de compostagem de maior porte, seja municipal ou industrial, o revolvimento geralmente é realizado de forma mecanizada.

O revolvimento tem três finalidades:

1. Diminuição da concentração de gás carbônico e vapor d'água formados durante o processo de compostagem e presentes na massa de ar existente na leira;
2. Controle sanitário da leira por possibilitar que a camada mais externa tenha um aumento na temperatura com consequentemente eliminação dos patógenos;
3. Homogeneização da massa de compostagem através do revolvimento, pois ocorre a mistura da camada mais externa, que naturalmente se torna mais seca, com a camada inferior que é mais úmida.

Essa homogeneização é extremamente importante para não proporcionar uma decomposição anaeróbia na base da leira. A Figura 11 apresenta um exemplo de revolvimento mecanizado.

Figura 11: Equipamento utilizado para revolvimento da leira.

Temperatura

A elevação da temperatura da leira durante o processo de compostagem é consequência da característica que os microrganismos decompositores tem de realizarem a decomposição aeróbia da matéria orgânica através de reações exotérmicas. A faixa ideal de temperatura é entre 45 e 60°C sendo 55°C a temperatura ideal. A temperatura da leira pode atingir valores superiores a 70°C, o que não é recomendado, pois altas temperaturas podem fazer com que ocorra a volatilização de amônia, principalmente quando a leira é composta de material com baixa relação Carbono / Nitrogênio (Relação C/N), podem insolubilizar proteínas hidrossolúveis como albumina e podem anular a ação de microrganismos que não são termotolerantes (HAUG, 1993 e KIEHL, 2004).

Portanto, a partir do momento em que a temperatura da leira começa a se elevar, pode se considerar que o processo de compostagem está iniciado. A Figura 12 apresenta as fases de compostagem de acordo com a temperatura da leira.

Figura 12: Variação da temperatura x tempo de compostagem

A partir da análise da Figura 12 podemos observar que o processo de compostagem é composto de três fases distintas.

Na primeira fase mesófila, a fitotóxica, ocorre primeiramente uma rápida diminuição da temperatura em decorrência da evaporação de parte da quantidade de água na leira, fenômeno chamado criófilo onde a temperatura da leira se torna menor que a temperatura ambiente. Em seguida ocorre um aumento na liberação de CO_2 , vapor d'água e calor com a temperatura atingindo valores na faixa entre 15 a 43°C, sendo a faixa ótima entre 25 e 40°C, nessa faixa de temperatura os microrganismos predominantes são denominados mesófilos. Nessa fase, que tem duração de 10 a 20 dias, é comum ocorrer abaixamento no pH da leira, inviabilizando o material a ser utilizado como fertilizante orgânico, por isso ela é denominada fitotóxica (KIEHL, 2004).

A segunda fase, termófila, é chamada de semicura é a fase onde ocorre a bioestabilização da matéria orgânica que conseqüentemente deixa de ser danosa as plantas, mas ainda não a torna passível de ser caracterizada como fertilizante orgânico por não estar humificada. Nessa fase os microrganismos predominantes são de características termófilas, ou seja, a temperatura da leira fica entre 25° e 85°C, sendo a faixa ótima de 50 a 55°C, conforme dito anteriormente (KIEHL, 2004).

A terceira fase, mesófila, chamada de maturação, é a fase onde o composto atinge as propriedades físicas, químicas e biológicas características de um fertilizante orgânico. Essa fase que é mais conhecida como fase de humificação apresenta uma queda gradual de temperatura começando na faixa mesófila como a fase fitotóxica e finalizando na temperatura ambiente. Com relação a degradação da matéria orgânica os microrganismos predominantes da fase mesófila são mais eficientes que os predominantes da fase termófila, porém essa última é extremamente importante para a inativação das sementes de ervas daninhas e para a eliminação dos microrganismos patógenos (KIEHL, 2004).

Relação Carbono/Nitrogênio

O carbono e o nitrogênio são elementos essenciais para o crescimento e divisão das células dos microrganismos, o primeiro por ser considerado a fonte de energia para os microrganismos e o segundo por ser um elemento essencial para a síntese de proteínas (MASSUKADO, 2008). De acordo com Kiehl (2004), o intervalo inicial recomendável da relação C/N para que o processo de compostagem ocorra em um tempo ótimo é de 25/1 a 35/1, e a relação ótima é de 33/1.

A relação C/N constitui um parâmetro confiável para o acompanhamento da compostagem até se chegar ao produto acabado, humificado, no qual a relação deve estar 8/1 e 12/1. Ela indica ainda que composto com relação 18/1 ou um pouco menor está semicurado ou bioestabilizado, já podendo ser utilizado como fertilizante orgânico sem risco de causar danos às plantas. Para se atingir a fase de semicura ou bioestabilização são necessários de 30 a 60 dias, e a humificação de 90 a 120 dias (KIEHL, 2004).

pH

Conforme abordado anteriormente, a primeira fase da degradação aeróbia da matéria orgânica é uma fase fitotóxica onde ocorre liberação de ácidos orgânicos, consequentemente essa fase é caracterizada por um rebaixamento do pH da leira de compostagem, esse rebaixamento é seguido de um aumento gradual do pH fazendo com que o pH da leira atinja valores superiores a 8,0 quando a matéria orgânica se encontra em processo de degradação finalizado.

A maior parte do nitrogênio presente na matéria orgânica está, também, na forma orgânica. Durante o processo de compostagem o nitrogênio orgânico transforma-se primeiramente em nitrogênio amoniacal, elevando o pH da leira e em seguida esse nitrogênio amoniacal sofre ação de bactérias *nitrossomonas* e *nictrobacter* se transformando no produto final da degradação do nitrogênio orgânico, o nitrato (KIEHL, 2004).

Figura 13: Aumento de superfície e da relação área/massa pelo efeito da trituração de resíduos orgânicos.

Nesse sentido a curva de variação do pH durante o tempo de compostagem pode ser observada na Figura 14, onde observamos um claro rebaixamento do pH na primeira fase fitotóxica nos 10 ou 15 dias iniciais seguida de um aumento no pH até atingir valores próximos de 8, indicando o final do processo.

Figura 14: Variação do pH x Tempo de compostagem em dias

Tamanho das partículas

O tamanho das partículas a serem compostadas tem influência direta no tempo e na qualidade da compostagem, ela quem dita o movimento de líquidos e gases na leira. Tamanhos maiores de partículas possibilitam maiores trocas de gases com o meio e um maior fluxo de líquidos. Conforme podemos observar na Figura 13 o tamanho das partículas é inversamente proporcional ao tempo de compostagem, isso porque quanto menor a partícula, maior a sua superfície de contato e consequentemente maior a degradação da matéria orgânica por parte dos microrganismos. Porém, na prática observamos que quanto menor as partículas, mais compactado, encharcado e consequentemente anaeróbio será o processo de compostagem devida a maior dificuldade em criar um fluxo de oxigênio na leira (KIEHL, 2004).

3.3.2 Métodos de compostagem

Compostagem natural

Quando a compostagem é realizada sem a utilização de equipamentos eletromecânicos para realizar seu revolvimento e homogeneização e a aeração é realizada apenas naturalmente, ela recebe o nome de compostagem natural (ABNT, 1996 e KIEHL, 2004).

Porém, quando a compostagem é realizada com o auxílio de equipamentos eletromecânicos que realizam a homogeneização e o revolvimento e a aeração é realizada com auxílio de fontes artificiais, consequentemente o tempo de compostagem é reduzido e ela é chamada de compostagem acelerada (ABNT, 1996).

Aceleração do processo

Quando os resíduos orgânicos são dispostos em leiras para que ocorra a compostagem, ocorre uma primeira fase de adaptação dos microrganismos já existentes nesses resíduos. Nessa primeira fase ocorre a produção de ácidos orgânicos que juntamente com a alta relação de C/N atribuem uma característica fitotóxica à matéria orgânica caso ela seja aplicada ao solo. De forma a se minimizar essa primeira fase fitotóxica, existe no mercado alguns aceleradores de processo, ou *starters* (KIEHL, 2004).

A introdução de um material em fase final do processo de compostagem, conhecida como inoculação massal, tem como objetivo introduzir uma massa composta de uma população de diferentes microrganismos e assim reduzir a primeira fase fitotóxica da compostagem. Geralmente é adicionado composto em

fase de semicura em uma proporção de 10 a 20% do volume de matéria orgânica a ser compostada. Esse material adicionado geralmente possui uma menor umidade e assim contribui também para reduzir a umidade, aumentar o potencial de aeração e diminuir a produção de chorume da leira (GOLUECK; DIAZ, 1991). A aceleração da compostagem através da introdução de um material já em processo final de compostagem pode ser comparada ao processo de lodos ativados utilizado no tratamento biológico de esgotos doméstico.

Kiehl (2004), apresenta um estudo realizado pela empresa responsável pela, extinta, usina de reciclagem e compostagem de Santo André onde é possível observar o efeito da inoculação massal em alguns parâmetros da compostagem, conforme Figura 15.

Podemos observar nesses gráficos que a umidade da leira com inoculo apresentou valores mais baixos desde os primeiros dias de compostagem, isso pode ser explicado pelo fato de o inoculo, devido seu baixo teor de umidade, absorver a umidade em excesso da matéria orgânica a ser compostada. O pH mostrou-se mais elevado desde o início do processo devido o fato de o material inoculado, apesar de em pouco volume, já possuir maior valor de pH, pelo fato de a fase de fitotoxicidade ter iniciado mais cedo e devido a leira com inoculo possuir grau de decomposição mais elevado desde o início do processo. A temperatura e o teor de gás carbônico se mostram mais elevados e o teor de oxigênio se mostrou mais baixo nas leiras com inoculo justificando uma maior atividade microbiana e consequentemente uma maior intensidade de decomposição da matéria orgânica (KIEHL, 2004).

Figura 15: Efeito da inoculação massal sobre alguns parâmetros de compostagem.

Digestão enzimática

A matéria orgânica presente nos RSU é composta de complexas moléculas que não podem ser diretamente assimiláveis pelas raízes, portanto durante o processo de decomposição as moléculas complexas, como proteínas, se transformam em constituintes mais simples, como a amônia, para aí então serem assimilados pelas raízes das plantas. Essa transformação ocorre devido a ação de microrganismos que utilizam enzimas por eles sintetizados para retirar porções da matéria orgânica na forma solúvel e de baixo peso molecular. Quando solubilizada

essa porção de matéria orgânica é difundida pela parede celular dos microrganismos juntamente com o oxigênio existente na interface gás-líquido e matéria orgânica. Sendo assim, caso o teor de oxigênio existente na leira de compostagem não seja suficiente, a matéria orgânica solúvel não é metabolizada pelos microrganismos, ficando apenas absorvida. No caso de a umidade estar elevada, a difusão do oxigênio fica prejudicada já que ela pode ser até 104 vezes menor na água que no ar. Neste sentido, com a quantidade de oxigênio e umidade adequada, a difusão da matéria orgânica solúvel e oxigênio é adequada e assim ocorre a metabolização da matéria orgânica pelos microrganismos.

Compostagem com leira estática aerada

A compostagem na leira estática tem um grande diferencial do método tradicional, que é a leira não sofrer revolvimento. É uma tecnologia bastante utilizada na compostagem de lodo de esgoto, porém não é uma tecnologia que pode ser utilizada com qualquer tipo de resíduo orgânico. É importantíssimo a utilização de materiais de granulometria bem grosseira para que a circulação de ar pela leira não seja prejudicada. Esses materiais de granulometria grosseira podem não ser degradados com apenas um ciclo de compostagem, sendo assim ao final do processo deve-se realizar o peneiramento do composto de forma a retornar os resíduos não degradados para o início de outro ciclo de compostagem. A Figura 16 mostra uma leira com o detalhamento das camadas e do sistema de aeração.

Figura 16: Instalação de uma leira de compostagem estática aerada.

3.4 Digestão anaeróbia

Digestão anaeróbia é um processo biológico que ocorre na ausência de oxigênio e no qual as bactérias decompõem a matéria orgânica gerando diversos subprodutos, dentre os quais um principal denominado biogás, uma mistura gasosa de aproximadamente 65% de metano e 35% de dióxido de carbono e condicionante para solos (FORESTI, 1994; MATA-ALVAREZ, 2003). É um processo de decomposição de matéria orgânica muito parecido com o que ocorre em aterros sanitários, com a diferença de ocorrer em um ambiente controlado (ZHU et al., 2009).

Como vantagens, a digestão anaeróbia tem a possibilidade de recuperação de biogás para sua utilização como fonte de energia, a geração de uma quantidade de biomassa aproximadamente 20% menor e um gasto energético muito menor se comparado com os processos aeróbios com aeração forçada (FORESTI, 1994; KHALID et. al., 2011; MATA-ALVAREZ, 2003). Nesse sentido, a digestão anaeróbia

se caracteriza como uma excelente oportunidade para à diminuição dos impactos ambientais decorrentes da disposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários ao mesmo tempo que pode ser uma fonte de energia e fertilizante para o solo (KHALID et al., 2011).

Apesar das vantagens ainda não é um processo muito utilizado mundialmente principalmente pelo fato de necessitar de um tempo maior para atingir a bioestabilização se comparado com processos aeróbios (FERNANDEZ et al., 2010).

Segundo Corrêa (2012), Mata-Alvarez (2003) e Foresti et. al. (1999), o processo de transformação da matéria orgânica em biogás e fertilizante para o solo através da digestão anaeróbia ocorre em quatro etapas bem distintas.

3.4.1 Etapas da Digestão Anaeróbia

Hidrólise

Nessa etapa a matéria orgânica particulada é transformada em compostos de menor peso molecular através da ação de enzimas extracelulares. As proteínas são quebradas em aminoácidos, os carboidratos são transformados em açúcares solúveis (mono e dissacarídeos) e os lipídeos são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa de carbono e glicerina.

Acidogênese

Os compostos dissolvidos, subprodutos da etapa de hidrólise são, então, absorvidos pelas bactérias fermentativas e excretados como ácidos graxos voláteis, substâncias orgânicas simples, alcoóis, ácido láctico e compostos minerais (CO₂, H₂, NH₃, H₂S etc). A acidogênese é realizada por bactérias anaeróbias obrigatórias e

facultativas conjuntamente, isso é uma vantagem para todo o sistema, uma vez que se não houvesse a participação das bactérias anaeróbias facultativas, o oxigênio dissolvido seria uma substância tóxica para o sistema.

Acetogênese:

A transformação dos produtos da acidogênese em compostos que servirão como substratos para a formação de metano é chamada acetogênese, esses compostos são o acetato, hidrogênio e o dióxido de carbono.

Metanogênese:

A produção de metano pode ocorrer por dois meios, pela redução de ácido acético (metanogênese acetotrófica) ou redução de dióxido de carbono (metanogênese hidrogenotrófica).

3.4.2 Fatores que afetam a digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia é um processo complexo que envolve inúmeras etapas de degradação. Cada etapa é realizada por um grupo específico de microrganismos que necessitam de diferentes características ambientais (KHALID et al., 2011).

Temperatura

Se durante o processo de digestão anaeróbia a temperatura atingir valores muito baixos (abaixo de 25°C), ocorrerá diminuição da taxa de degradação dos resíduos, da velocidade de crescimento microbiano, e da produção de biogás. Além disso, poderá acarretar um alto gasto energético celular, perda de substâncias intracelulares ou até mesmo a lise completa das células dos microrganismos

responsáveis pela digestão anaeróbia (KIM et. al., 2006). Temperaturas muito elevadas, acima de 45°C, resultam em um aumento da produção de gases voláteis, como a amônia, e conseqüentemente ocorre a diminuição da atividade metanogênica acarretando assim em uma baixa produção de biogás. Ocorre a desnaturação das enzimas quando a temperatura atinge valores acima de 65°C. Porém, temperaturas na faixa termofílica (45°C - 65°C) são favoráveis para a produção de biomassa, biogás e destruição dos patógenos (FEZZANI; CHEIKH, 2010).

A faixa ótima para a digestão anaeróbia ocorre em temperaturas mesofílicas (25°C - 45°C), sendo a temperatura ótima 35°C (EL-MASHAD et al., 2003; CASTILLO et. al., 2006).

pH e Alcalinidade

A digestão anaeróbia possui várias faixas ótimas de pH para cada etapa, mas para a metanogênese é importante que o pH se mantenha entre 6,6 e 7,4 (FORESTI, 1994; KALHID et al., 2011). É importante salientar que durante a digestão anaeróbia são produzidos ácidos orgânicos intermediários (como o ácido acético) e assim a alcalinidade deve ser suficiente para que o pH do sistema se mantenha na faixa ideal. Caso os próprios reagentes não sejam capazes de manter a alcalinidade será necessário adicionar alcalinizantes de modo a aumentar a capacidade tampão do meio de digestão (FORESTI, 1994).

Umidade

A digestão anaeróbia ocorre com uma maior facilidade em sistemas com umidade elevada, porém é muito difícil manter os valores de umidade altos durante

todo o processo devido ao alto consumo de água da degradação da matéria orgânica. Valores de umidade entre 60% e 80% apresentam os maiores valores de produção de metano, mas biorreatores que operam em regime com valores de umidade em 70% produzem um lixiviado com alta carga orgânica e consequentemente uma taxa de produção de metano mais elevada (HERNANDEZ-BERRIEL et al., 2008; BOUALLAGUI et al., 2003).

Substrato

A disponibilidade e a complexidade do substrato está intrinsecamente ligada a taxa de digestão anaeróbia. Antes de se iniciar o processo de digestão anaeróbia é importante realizar uma caracterização dos resíduos orgânicos de forma a se avaliar a quantidade de carboidratos, lipídios, proteínas e fibras (GHANIYARI-BENIS et al., 2009; LESTEUR et al., 2010). A determinação da quantidade de carboidratos presente nos resíduos, por exemplo, é importantíssima para se determinar a capacidade de produção de biogás a partir da digestão anaeróbia dos resíduos sólidos municipais (DONG et al., 2009).

Nitrogênio

Durante a digestão anaeróbia, o nitrogênio presente nas proteínas dos resíduos orgânicos é convertido em amônia. Após essa conversão, o nitrogênio em forma de amônia contribui para a estabilização do pH no local onde está acontecendo a digestão anaeróbia. O nitrogênio é essencial para a síntese proteica e, portanto, é um nutriente o qual os microrganismos tem prioridade durante a digestão anaeróbia, nesse sentido, a amônia é assimilada pelos microrganismos durante o aumento de massa celular (KAYHANIAN; RICH, 1995; SAWAYAMA et al.,

2004). Assim como na compostagem a proporção ideal de absorção de Carbono e Nitrogênio pelos microrganismos para produção de um composto de qualidade é 33/1, na digestão anaeróbia a proporção de Carbono, Nitrogênio, Fósforo e Enxofre ideal para a metanização é 600/15/5/3, respectivamente (FRICKE et al., 2007).

Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

Conforme foi dito anteriormente, a degradação da matéria orgânica pelos microrganismos é otimizada caso a proporção de nutrientes dos resíduos sólidos disponíveis atenda às necessidades de absorção dos microrganismos. Sendo assim, a relação C/N é um fator limitante no processo de digestão anaeróbia (KHALID et al., 2011). Lee et al., (2009), determinou que a relação ideal de C/N dos resíduos sólidos para o processo de digestão anaeróbia é entre 20 e 35. De forma a atender a necessidade de nitrogênio e a relação C/N ideal, é usual realizar a mistura de vários tipos de resíduos.

A mistura de vários tipos de resíduos não é apenas utilizada para suprir a necessidade ideal de carbono e nitrogênio e sim para suprir todos os fatores que influenciam a digestão anaeróbia, nesse sentido é comum vermos a realização de estudos onde são utilizados resíduos de vários tipos misturados de forma a se determinar a melhor mistura, ou seja, a que gera a maior quantidade de biogás em menos tempo. A esse processo de digestão anaeróbia de diversos resíduos misturados dá-se o nome de Co-digestão (CUETOS et al., 2008).

3.4.3 Co-Digestão Anaeróbia

Co-digestão anaeróbia é o processo de tratamento onde vários tipos de resíduos são misturados e tratados juntos em um processo anaeróbio (ADGAD;

SPONZA, 2007). Como vantagens da co-digestão anaeróbia podemos citar que é um processo mais estável com a produção de um fertilizante de melhor qualidade e uma maior produção de biogás, se comparado com a digestão anaeróbia simples (JINGURA; MATENGAIFA, 2009).

A co-digestão de lodo de esgoto com resíduos sólidos municipais na proporção de 1:2 pode aumentar em até 72% a produção de biogás e em 46% a produção teórica de metano se comparada com a digestão dos resíduos sólidos municipais sozinhos (MARTIN-GONZALES et al., 2010).

3.4.4 Biorreatores Anaeróbios

Conforme já mencionado, a digestão anaeróbia ocorre em um ambiente controlado e, portanto é necessário fornecer condições adequadas para que cada etapa da degradação da matéria orgânica ocorra satisfatoriamente. Nesse sentido, um biorreator anaeróbio deve ser projetado de forma a permitir o tratamento de uma alta carga orgânica em um tempo de retenção hidráulico baixo com a máxima produção de biogás (WARD et al., 2008).

Para se atingir essas condições descritas foram projetados inúmeros tipos de biorreatores. O tipo de biorreator escolhido vai depender das condições técnicas e financeiras existentes, ao tipo de resíduo utilizado ou ao resultado que se deseje obter (KHALID et al., 2011).

3.5 PNRS

3.5.1 Histórico

Os Resíduos de Serviços de Saúde foram os primeiros a receberem diretrizes legais quanto a sua gestão e gerenciamento, foi em 1991 quando foi criado o Projeto de Lei, nº 203, que dispunha sobre o acondicionamento, coleta, tratamento, transporte e destinação dos resíduos de serviços de saúde. No ano de 1991 ainda foi criada a Resolução CONAMA número 259 que continha diretrizes técnicas para a Gestão de Resíduos Sólidos, essa resolução foi aprovada por unanimidade, porém não chegou nem a ser publicada.

De forma a melhorar o debate sobre o assunto e aumentar o escopo do Projeto de Lei 203/91, a Câmara dos Deputados criou e implementou uma comissão, a Comissão Especial da Política Nacional de Resíduos, no ano de 2001. Essa comissão tinha como objetivo formular uma proposta substitutiva e global, não mais só de Resíduos de Serviços de Saúde, para o Projeto de Lei 203/91 e seus apensos, porém essa comissão foi extinta antes de atingir seus objetivos em consequência do fim da legislatura dos seus integrantes.

No ano de 2003 foi instituído, pelo então presidente Luis Inácio Lula da Silva o Grupo de Trabalho Interministerial de Saneamento Ambiental com o intuito de promover a integração das ações de saneamento ambiental no âmbito federal. A reestruturação do setor de saneamento resultou na criação do Programa de Resíduos Sólidos Urbanos. Nesse mesmo ano ainda foi realizada a “I Conferência de Meio Ambiente”.

Em 2004 o Ministério de Meio Ambiente promoveu grupos de discussões interministeriais e de secretarias do ministério para a elaboração de proposta para a regulamentação dos resíduos sólidos. Em agosto desse mesmo ano o CONAMA, em tentativa de atualizar a resolução CONAMA número 259 de 1991, realizou o seminário “Contribuições à Política Nacional de Resíduos Sólidos” que teve como objetivo ouvir a sociedade e formular uma nova proposta de projeto de lei. No ano seguinte o Ministério do Meio Ambiente criou um grupo interno na Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos para que as contribuições geradas no seminário de 2004 do CONAMA, os anteprojetos de leis existentes no Congresso Nacional e as contribuições dos diversos atores envolvidos na gestão de RS fossem consolidadas, como consequência foi encaminhado o anteprojeto de lei da “Política Nacional de Resíduos Sólidos”.

No ano de 2005 foi realizada a “II Conferência Nacional de Meio Ambiente” para que fosse consolidada a participação pública na elaboração de políticas ambientais, principalmente na área de RS, também foram realizados diversos seminários regionais de RS e ainda foi instituída nova Comissão Especial da Política Nacional de Resíduos Sólidos na Câmara dos Deputados. Em 2006 foi aprovado relatório do Projeto de Lei 203/91 com o acréscimo sobre a liberação de importação de pneus usados no Brasil e no ano seguinte, em 2007, foi proposta o Projeto de Lei 1991, o projeto de lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que tinha como base o fato de que o estilo de vida da sociedade contemporânea aliado às estratégias de marketing do setor produtivo iria tornar o desenvolvimento Brasileiro insustentável e, portanto incompatível com o modelo de desenvolvimento se pretendia implantar no Brasil.

Após novas discussões e audiências públicas com participação de órgãos governamentais, da sociedade e outros setores interessados sobre RS, em junho de 2009 foi apresentada uma minuta do relatório final da Política Nacional de Resíduos Sólidos para receber contribuições adicionais e, finalmente, em 11 de Março de 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em substituição ao Projeto de Lei 203/91, após votação simbólica realizada pelo plenário da Câmara dos Deputados. Ela impunha obrigações aos empresários, aos governos e aos cidadãos no que diz respeito ao gerenciamento de resíduos sólidos. Após essa aprovação na Câmara, o projeto seguiu para o Senado que o analisou em quatro comissões até que no dia 7 de Julho de 2010 ela foi aprovada em plenário.

Após 19 anos de discussão, em 02 de Agosto de 2010 foi sancionada a Política Nacional de Resíduos Sólidos pelo então presidente, Luiz Inácio Lula da Silva e no dia seguinte ela foi publicada no Diário Oficial da União como a Lei nº 12.305/2010 com o título de “Política Nacional de Resíduos Sólidos”. Nesse mesmo ano foram publicados mais dois decretos relacionados à PNRS, entre eles o Decreto nº 7.404 que regulamentou a PNRS.

Figura 17: Sequência de prioridades no gerenciamento dos RS definida pela PNRS.

3.5.2 PNRS e os Resíduos Orgânicos

Em seu Art. 36, parágrafo quinto, a PNRS define que o titular de serviços públicos de limpeza e manejo dos resíduos sólidos deve implantar um sistema de compostagem dos resíduos sólidos orgânicos e articular com agentes econômicos e sociais formas de utilização desse composto produzido, caso o município já possua plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

3.5.3 Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

A PNRS em sua seção IV, artigos 18 e 19 diz que os municípios Brasileiros tinham até 02 de Agosto de 2012 para elaborarem os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para terem acesso aos recursos da União, ou por ela controlados (BRASIL, 2010).

O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) é o plano que contem o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os

resíduos sólidos existentes no município, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável. (BRASIL, 2010).

A Tabela 3 apresenta a hierarquia dos planos de resíduos sólidos exigidos pela PNRS. É interessante lembrar que os planos municipais devem atender ao plano estadual que por sua vez deve atender o plano nacional. Não deve haver inconsistências, ou seja, os planos estaduais podem ser mais restritivos que o nacional e os municipais podem ser mais restritivos que os estaduais e nunca o contrário. Isso poderá gerar um imbróglcio uma vez que os prazos e metas dos planos estão sendo feitos para períodos diferentes.

Tabela 3: Hierarquia dos Planos de Resíduos Sólidos.

PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Planos Estaduais de Resíduos Sólidos

Planos Microrregionais e de Regiões Metropolitanas	Planos Municipais Planos de Gerenciamento de RS	Planos Intermunicipais
--	--	---------------------------

Com relação à gestão e o gerenciamento da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos a PNRS afirma, em seu Art. 19, que os Planos Municipais devem ter como conteúdo mínimo (BRASIL, 2010):

I – diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;

II – identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o § 1º do art. 182 da Constituição Federal e o zoneamento ambiental, se houver;

III – identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e a formas de prevenção dos riscos ambientais;

IV – identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento específico nos termos do art. 20 ou a sistema de logística reversa na forma do art. 33, observadas as disposições desta Lei e de seu regulamento, bem como as normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS;

V – procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotados nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e observada a Lei nº 11.445 de 2007;

VI – indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

VII – regras para o transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS e demais disposições pertinentes da legislação federal e estadual;

VIII – definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos a que se refere o art. 20 a cargo do poder público;

IX – programas e ações de capacitação técnica voltados para sua implementação e operacionalização;

X – programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos;

XI – programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver;

XII – mecanismos para a criação de fontes de negócio, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos;

XIII – sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

XIV – metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

XV – descrição das formas e dos limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitado o disposto

no art. 33, e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XVI – meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20 e dos sistemas de logística reversa previstos no art. 33;

XVII – ações preventivas e corretivas a serem praticadas, incluindo programa de monitoramento;

XVIII – identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas e respectivas medidas saneadoras;

XIX – periodicidade de sua revisão, observado prioritariamente o período de vigência do plano plurianual municipal;

§ 1º O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos pode estar inserido no plano de saneamento básico previsto no art. 19 da Lei nº 11.445, de 2007, respeitado o conteúdo mínimo previsto nos incisos do caput e observado o disposto no § 2º, todos deste artigo.

§ 2º Para municípios com menos de 20.000 (vinte mil) habitantes, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos terá conteúdo simplificado, na forma de regulamento.

§ 3º O disposto no § 2º não se aplica a Municípios:

I – integrantes de áreas de especial interesse turístico;

II – inseridos na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional;

III – cujo território abranja, total ou parcialmente, Unidades de Conservação.

§ 4º A existência de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não exime o Município ou o Distrito Federal do licenciamento ambiental de aterros sanitários e de outras infraestruturas e instalações operacionais integrantes do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos pelo órgão competente do SISNAMA.

§ 5º Na definição de responsabilidades na forma do inciso VIII do **caput** deste artigo, é vedado atribuir ao serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos a realização de etapas do gerenciamento dos resíduos a que se refere o art. 20 em desacordo com a respectiva licença ambiental ou com normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e, se couber, do SNVS.

§ 6º Além do disposto nos incisos I a XIX do **caput** deste artigo, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos contemplará ações

específicas a serem desenvolvidas no âmbito dos órgãos da administração pública, com vistas à utilização racional dos recursos ambientais, ao combate a todas formas de desperdício e à minimização da geração de resíduos sólidos.

§ 7º O conteúdo do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos será disponibilizado para o SINIR, na forma do regulamento.

§ 8º A inexistência do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não pode ser utilizada para impedir a instalação ou a operação de empreendimentos ou atividades devidamente licenciados pelos órgãos competentes.

§ 9º Nos termos do regulamento, o Município que optar por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, assegurado que o plano intermunicipal preencha os requisitos estabelecidos nos incisos I a XIX do **caput** deste artigo, pode ser dispensado da elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

Para se avaliar de que forma está sendo feita e planejada a gestão e o gerenciamento da fração orgânica dos RSU nos municípios, serão avaliados o relatório preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos e os planos municipais dos municípios integrantes da bacia do Alto-Tietê. Decidiu-se em utilizar a bacia hidrográfica como limitante, pois conforme previsto na PNRS, os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos podem estar inseridos nos Planos de Saneamento Básico (BRASIL, 2010) e estes, por sua vez, devem ser compatíveis com os Planos de Bacias Hidrográficas em que estiverem inseridos (BRASIL, 2007).

4. Metodologia

O presente trabalho estudou, primeiramente, através de uma pesquisa bibliográfica em dissertações, teses, artigos científicos e livros técnicos os possíveis tratamentos da matéria orgânica presente nos Resíduos Sólidos Urbanos brasileiros. Foram levantadas as possíveis tecnologias que podem ser utilizadas em substituição a disposição em aterros sanitários.

Após o levantamento dos tratamentos possíveis foi realizado um estudo na Política Nacional de Resíduos Sólidos a fim de levantar as obrigações dos municípios com relação aos resíduos gerados em seus municípios, mais especificamente com a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Estudou-se também as metas apresentadas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos com relação à gestão e ao gerenciamento da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos.

Após o levantamento das diretrizes e metas nacionais, foi avaliado se as diretrizes, programas e metas apresentadas pelos Planos Municipais de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos dos municípios integrantes da bacia hidrográfica do Alto Tietê estavam compatíveis com as metas apresentadas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

Finalmente, os dados obtidos sobre a gestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos foram sintetizados em uma única tabela de forma a simplificar a análise e a situação dos resíduos sólidos urbanos na bacia hidrográfica como um todo e foi proposto um modelo de tratamento dos resíduos orgânicos de forma a

atender ao disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos e no Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

5. Resultados e Discussão

5.1 Plano Nacional de Resíduos Sólidos

Em Setembro de 2011 foi publicada uma versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, esse documento é uma exigência legal do Decreto 7.404/2010 (BRASIL, 2010b). O decreto regulamentador da PNRS exigia que após a publicação da versão preliminar do plano nacional, várias etapas de participação da sociedade civil aconteceriam. Essas participações aconteceram através de audiências públicas, 5 (cinco) regionais e 1 (uma) nacional e também através de consulta pública pela internet. Após essas etapas de participação da sociedade civil, o documento com validade de 20 anos será publicado.

O plano, que será atualizado a cada 4 (quatro) anos, terá o seguinte conteúdo mínimo:

- I. Diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos;
- II. Proposição de cenários;
- III. Metas de redução, reutilização e reciclagem;
- IV. Metas para o aproveitamento energético;
- V. Metas para a eliminação e recuperação de lixões;
- VI. Programas, projetos e ações;
- VII. Normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos da União;
- VIII. Medidas para incentivar e viabilizar a gestão regionalizada;
- IX. Normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos;
- X. Meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização;

Com relação à gestão e o gerenciamento da fração orgânica dos RSU, o plano preliminar apresenta um diagnóstico com dados obtidos na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, Banco Multidimensional Estatístico, Sistema Nacional de Informação em Saneamento, relatórios da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, Associação Brasileira da Indústria Química, Associação Brasileira do Alumínio e o Ministério de Minas e Energia. Para que existisse consistência nos dados analisados, foram apresentados dados obtidos com o ano base de 2008. Como o presente trabalho já apresentou dados mais recentes sobre a gestão e o gerenciamento de RS, os dados presentes no diagnóstico do Plano Nacional de Resíduos Sólidos não serão apresentados. Apenas será dada a ênfase às recomendações dadas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos quanto às novas unidades de compostagem a serem implantadas, segundo o documento os critérios técnicos para obtenção do licenciamento ambiental precisam ser revistos e feitos de acordo com a quantidade de resíduos a serem tratados, devem-se intensificar as campanhas de educação ambiental com relação à separação da fração orgânica dos resíduos orgânicos e deve-se realizar, de forma eficiente, a coleta seletiva dos resíduos orgânicos, uma vez que a qualidade do composto produzido é diretamente proporcional à eficiência da separação dos resíduos na fonte geradora.

No capítulo de Diretrizes e Estratégias, o plano apresenta algumas diretrizes relacionadas à gestão e o gerenciamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Uma diretriz trata do assunto diretamente, “Redução de Resíduos Sólidos Urbanos Úmidos dispostos em aterros sanitários, tratamento e recuperação de

gases em aterros sanitários”, o plano afirma que é necessário diminuir a destinação da parcela orgânica dos RSU para os aterros sanitários através de ações de compostagem e geração de energia através de biodigestão (digestão anaeróbia).

As ações relacionadas à parcela orgânica dos RSU estão relacionadas à segregação na fonte com incentivo ao aproveitamento dos resíduos no local de geração e coleta seletiva dos resíduos “úmidos”, ao aprimoramento e difusão da tecnologia de biodigestão e compostagem e ao desenvolvimento de uma logística que incentive o uso do composto produzido na agricultura.

Outra diretriz fala sobre a “Qualificação da gestão de RS” e apresenta ações relacionadas ao fortalecimento da gestão dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos por meio, entre outros, dos planos estaduais, intermunicipais e municipais. Documentos que serão condição para que os Estados, Distrito Federal e Municípios tenham acesso aos recursos da União ou por ela controlados.

No capítulo sobre metas, são apresentadas metas para as ações de cada diretriz. Com relação à diretriz de redução do percentual de resíduos úmidos dispostos em aterros sanitários são apresentadas três níveis de metas, metas favoráveis/legais, metas intermediárias e metas desfavoráveis. Com relação à diretriz dos Planos Estaduais elaborados até 2012 e Planos intermunicipais e municipais elaborados até 2014 só existe a meta favorável/legal. Essas metas podem ser observadas na Tabela 4 e na

Tabela 5, respectivamente. (BRASIL, 2011)

Tabela 4: Metas relacionadas à redução do percentual de resíduos úmidos dispostos em aterros sanitários.

Meta	Região	Plano de Metas Favorável / Legal				
		2015	2019	2023	2027	2031
Redução do percentual de resíduos úmidos dispostos em aterros, com base na caracterização nacional.	Brasil	70%	70%	70%	70%	70%
	Região Norte	70%	70%	70%	70%	70%
	Região Nordeste	70%	70%	70%	70%	70%
	Região Sul	70%	70%	70%	70%	70%
	Região Sudeste	70%	70%	70%	70%	70%
	Região Centro-Oeste	70%	70%	70%	70%	70%
Meta	Região	Plano de Metas Intermediário				
		2015	2019	2023	2027	2031
Redução do percentual de resíduos úmidos dispostos em aterros, com base na caracterização nacional.	Brasil	25%	35%	45%	56%	62%
	Região Norte	15%	25%	35%	50%	55%
	Região Nordeste	15%	25%	35%	50%	55%
	Região Sul	40%	50%	60%	65%	70%
	Região Sudeste	35%	45%	55%	65%	70%
	Região Centro-Oeste	20%	30%	40%	50%	60%
Meta	Região	Plano de Metas Desfavorável				
		2015	2019	2023	2027	2031
Redução do percentual de resíduos úmidos dispostos em aterros, com base na caracterização nacional.	Brasil	19%	28%	38%	46%	53%
	Região Norte	10%	20%	30%	40%	50%
	Região Nordeste	15%	20%	30%	40%	50%
	Região Sul	30%	40%	50%	55%	60%
	Região Sudeste	25%	35%	45%	50%	55%
	Região Centro-Oeste	15%	25%	35%	45%	50%

Tabela 5: Meta de Planos Estaduais e Intermunicipais e Municipais elaborados até 2014

Meta	Região	Plano de Metas Favorável / Legal				
		2015	2019	2023	2027	2031
Planos Estaduais elaborados até 2012, planos Intermunicipais e Municipais elaborados até 2014.	Brasil	100%	-	-	-	-
	Região Norte	100%	-	-	-	-
	Região Nordeste	100%	-	-	-	-
	Região Sul	100%	-	-	-	-
	Região Sudeste	100%	-	-	-	-
	Região Centro-Oeste	100%	-	-	-	-

5.2 Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

5.3 Municípios que possuem PMGIRS

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos a ser estudada será a UGRHI-06, a bacia hidrográfica do Alto-Tietê, conforme apresentada na Figura 18. Essa bacia hidrográfica é composta de 36 municípios, são eles:

Arujá, Barueri, Biritiba Mirim, Caieras, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu das Artes, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guarulhos, Itapequerica da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Mairiporã, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Salesópolis, Santana do Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Paulo, Suzano, Taboão da Serra.

De todos os municípios da bacia hidrográfica do Alto Tietê, o único que não tem a necessidade de apresentar o PMGIRS completo é o município de Pirapora do Bom Jesus, esse por ter menos de 20 mil habitantes terá o conteúdo do PMGIRS simplificado.

Figura 18: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - 06 - Alto Tietê

5.3.1 Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e/ou Planos de Saneamento Básico dos municípios da bacia hidrográfica do Alto-Tietê

Apesar de a PNRS, em seu artigo 19º, indicar quais os pontos que deveriam ser tratados nos PMGIRS, cada município apresentou um padrão de documento, não necessariamente abordando os mesmos tópicos, o que impossibilitou a definição de indicadores e consequentemente uma análise homogênea de todos os PMGIRS. Sendo assim serão apresentados os dados obtidos dos PMGIRS obtidos.

Alguns municípios que apresentaram o PMGIRS inserido no PMSB, conforme previsto no parágrafo 1º do inciso 19º do Art. 19 da PNRS, não apresentaram o diagnóstico, planos, ações ou metas sobre resíduos sólidos, seja os orgânicos ou

qualquer outro e, portanto, não foram contemplados com análise. A única exceção é o município de Pirapora do Bom Jesus que por possuir menos de 20 mil habitantes terá seu PMGIRS com conteúdo simplificado.

Ao final será apresentada uma tabela sintetizada com os dados obtidos dos PMGIRS e de outras fontes como forma de caracterizar a bacia hidrográfica em estudo.

5.3.2 *Município de Cajamar*

Apesar de a administração municipal reconhecer a importância de programas de redução e minimização de resíduos como a coleta seletiva, reciclagem e compostagem, o município não apresenta nenhum programa e a única ação nesse sentido é a coleta seletiva realizada por 10 ou 12 catadores informais (Figura 19) O Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Cajamar apresenta metas de curto, médio e longo prazo, porém não existe uma meta diretamente relacionada à fração orgânica dos RSU, apenas metas genéricas como “Melhoria na gestão e manejo de resíduos” ou “Incorporação de novas tecnologias” (PREFEITURA DE CAJAMAR, 2010).

Figura 19: Catador informal do município de Cajamar.

5.3.3 Município de Guarulhos, SP

O município de Guarulhos é o segundo maior município do Estado de São Paulo em população, com 1.222.357 (IBGE, 2010) e uma taxa de geração de resíduos em 0,77kg/hab/dia, o que significa uma produção diária de 941 toneladas de RSD. A caracterização física dos RSD do município de Guarulhos pode ser observada no Gráfico 2.

O Plano Diretor de Manejo de Resíduos Sólidos do município de Guarulhos foi finalizado em Julho de 2011 e é o resultado de um processo de participação de um grupo de discussões e um coletivo de decisões. O plano faz parte de diversas políticas públicas que o município de Guarulhos criou nos últimos anos para atender a demandas de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas como forma de atender o disposto na PNSB, Política Nacional sobre Mudanças no Clima e na PNRS.

Gráfico 2: Caracterização Física dos RSD do município de Guarulhos, SP.

Tabela 6: Projeção da Geração de RSD de Guarulhos, SP

Anos	População	Geração de RSD (t/dia)	Geração de RSD <i>per capita</i>	Geração de RSD secos (t/dia) (41%)	Geração de RSD Úmidos (t/dia) (53%)
2010	1.222.357	944	0,772	387	500
2011	1.238.844	985	0,795	404	522
2012	1.254.981	1.028	0,819	422	545
2013	1.270.748	1.072	0,844	440	568
2014	1.286.127	1.117	0,869	458	592
2015	1.301.098	1.164	0,895	477	617
2016	1.315.642	1.212	0,921	497	643
2017	1.329.741	1.262	0,949	517	669
2018	1.343.377	1.313	0,977	538	696
2019	1.356.532	1.365	1,006	560	724
2020	1.369.190	1.419	1,037	582	752

A

Tabela 6 apresenta a projeção dos valores de geração de RSD para o município de Guarulhos para os próximos anos. Os objetivos traçados relacionados aos RSD de Guarulhos envolvem a diminuição do aterramento da fração orgânica dos RSD através do tratamento com biodigestores e sistemas de compostagem dos resíduos úmidos coletados seletivamente. As metas para o objetivo de diminuição do aterramento dos RSD úmidos são de 10% entre 2011 e 2013, 20% entre 2014 e 2016, 30% entre 2017 a 2018 e 40% entre 2019 e 2020, conforme pode ser observado na Gráfico 3. Essas metas se enquadram no cenário Favorável do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

Gráfico 3: RSD Úmidos tratados x RSD Úmidos aterrados em Guarulhos, SP.

5.3.4 Município de Mairiporã, SP

O município de Mairiporã possuía em 2012, aproximadamente, 81 mil habitantes e tinha uma geração de RSU de quase 57 toneladas por dia, esses valores representam uma geração *per capita* de 0,70 kg/hab/dia (PREFEITURA DE MAIRIPORÃ, 2012). Mairiporã não possui Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, apenas Plano Municipal de Saneamento Básico. O Plano foi finalizado no primeiro semestre de 2012 e possui 2 (dois) volumes, o volume I trata do Plano Municipal dos Sistemas de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário e o volume II trata do Plano Municipal dos Sistemas de Drenagem Urbana e Manejo de Águas Pluviais e de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos.

O volume II não apresenta nada relacionado à gestão e ao gerenciamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, apenas apresenta algumas metas e orçamentos para a realização do Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de

Resíduos Sólidos. Portanto não foi possível obter informações relevantes para serem aproveitadas nesse estudo.

5.3.5 Município de Ribeirão Pires, SP

O PMGIRS de Ribeirão Pires não apresenta a caracterização física dos resíduos produzidos pelo município, apenas apresenta a média brasileira. Não existem prazos para as metas estabelecidas, porém é explanado de que forma serão atingidos os objetivos e metas determinadas através da apresentação de uma sequência de atividades e programas a serem instalados.

Sobre coleta seletiva, o município já possui um programa de coleta seletiva, porém ele é composto de 4 categorias, papel, metal, plástico e vidro. A referência na separação em resíduos úmidos e secos só é apresentada como uma meta a ser atingida no capítulo sobre educação ambiental.

O município de Ribeirão Pires já possui um pequeno programa de compostagem dos resíduos orgânicos gerados com a poda de árvores e capinação. Os resíduos coletados são tratados no herbário municipal. A prefeitura tem interesse em ampliar esse projeto incorporando os outros resíduos orgânicos gerados no município como os RSU, os de escolas públicas, feiras livres e comércio, porém não foi apresentado nenhum prazo ou meta para ser comparado com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

5.3.6 Município de Salesópolis, SP

O PMGIRS do município de Salesópolis, que foi concluído em 2004, destaca as conclusões dos estudos desenvolvidos para a administração municipal em três volumes, o **diagnóstico** que enfatiza os aspectos da geração e composição dos

RSU coletados no próprio município, o **prognóstico** que apresenta a evolução das taxas de crescimento demográfico e a correlação entre o PIB e as quantidades geradas dos resíduos sólidos urbanos e a forma e abrangência do *PMGIRS* com previsão de até 2020, esse último volume apresenta 4 (quatro) **cenários** com indicações dos sistemas, tecnologicamente viáveis, para o tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos do município. São eles, atual, curto prazo, médio prazo e longo prazo.

A seguir vamos abordar os assuntos relacionados à gestão e ao gerenciamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos nos três volumes:

Diagnóstico

O município de Salesópolis possuía no ano de 2009, pouco mais de 16 mil habitantes e tinha uma produção diária de, aproximadamente, 11 toneladas de resíduos sólidos urbanos. A taxa de geração de resíduos sólidos urbanos por habitante por dia era de 0,69, valor bem abaixo da média nacional de 1,15 kg/hab/dia (ABRELPE, 2009) e quase a metade da média estadual de 1,24 kg/hab/dia (ABRELPE, 2009). Desse total de resíduos, 72% são compostos de resíduos orgânicos, conforme pode ser observado no Gráfico 4.

Até o momento da entrega do *PMGIRS* do município de Salesópolis não possuía um programa de coleta seletiva, apenas algumas famílias que realizavam a coleta de alguns materiais recicláveis sem nenhum controle da administração municipal. A disposição dos resíduos era realizada em um AS que fazia parte de um consórcio entre o município de Salesópolis e Biritiba-Mirim. Esse consórcio existia devido às particularidades econômicas, espaciais e ambientais dos dois municípios,

já que esses municípios possuem grande parte de suas áreas em área de proteção de mananciais. Segundo o próprio PMGIRS, o aterro sanitário utilizado tinha vida útil de apenas mais 4 anos, ou seja, até 2008 e não apresentava sistema de tratamento de chorume eficiente, o que ocasionava em constantes extravasamentos de chorume na época de chuvas.

Gráfico 4: Caracterização gravimétrica dos RSU do município de Salesópolis, SP.

Prognóstico

O prognóstico não apresenta informações relevantes à gestão e o gerenciamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Apresenta apenas estimativas de aumento populacional e de aumento na geração de resíduos através de previsões matemáticas. Neste sentido esse tópico não será abordado no presente trabalho.

Cenários

Para proposição dos cenários foram definidos períodos de abrangência e foram apresentadas metas e ações relacionadas com os diversos tipos de resíduos. A fração orgânica dos RSU está englobada na categoria sobre os resíduos sólidos domiciliares e de varrição (RSDV) e nos resíduos recicláveis (RR) e a seguir serão apresentadas as ações relacionadas a esses tipos de resíduos para cada período.

Cenário 1 – Situação atual, período de 2003 até 2005

O cenário atual apenas enfatiza que em decorrência do fato de 72% dos resíduos sólidos urbanos de Salesópolis serem resíduos orgânicos e a maioria dos habitantes morarem em áreas rurais, seria interessante implantar um projeto de incentivo à realização de compostagem doméstica seja em ambiente rural, seja em ambiente urbano.

Nesse primeiro prazo, esse projeto seria composto de 100 unidades de composteiras e abrangeria 400 habitantes do município, tratando um total de, aproximadamente, 58 toneladas por ano de resíduos orgânicos.

Cenário 2 – Curto prazo, período de 2006 até 2010

Com relação à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, nesse cenário espera-se que o projeto de compostagem doméstica esteja consolidado e que até 2010 alcance 25% dos resíduos compostáveis do município. Dessa forma o projeto seria composto de 1200 unidades abrangendo 4800 pessoas e tratando aproximadamente, 367 toneladas por ano de resíduos orgânicos.

Cenário 3 – Médio prazo, período de 2011 até 2015

Com relação à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, nesse cenário espera-se que estejam instaladas mais composteiras do projeto de compostagem doméstica e que até 2015 o projeto trate 50% dos resíduos compostáveis do município. Dessa forma o projeto será composto de 1530 unidades abrangendo 7020 pessoas e tratando aproximadamente, 834 toneladas por ano de resíduos orgânicos.

Cenário 4 – Longo prazo, período de 2016 até 2020

Com relação à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, no último cenário espera-se que o projeto de compostagem doméstica atenda 75% dos resíduos compostáveis do município até 2020. Dessa forma o projeto será composto de 2460 unidades abrangendo 9840 pessoas e tratando aproximadamente, 1420 toneladas por ano de resíduos orgânicos. O cenário prevê que os resíduos orgânicos que não forem tratados através do projeto de composteiras domésticas, deverão ser tratados através da tecnologia de leiras estáticas no próprio aterro sanitário.

Com a aplicação de todos os projetos previstos nos 4 cenários, espera-se que a vida útil do aterro sanitário seja prolongada em 6 anos. O Gráfico 5 apresenta a evolução no tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos durante o período estudado pelo PMGIRS de Salesópolis, SP.

Projeto – Composteiras Domésticas

O projeto de composteiras domésticas apresentada pelo PMGIRS do município de Salesópolis prevê a construção de composteiras domésticas através da utilização de tábuas e sarrafos provenientes do transporte de produtos hortifrutigranjeiros na região do município. Somada a distribuição de recipientes próprios para a compostagem para os habitantes que possuam espaço físico disponível em suas residências, o plano prevê a capacitação dos munícipes através do desenvolvimento de um projeto de educação ambiental relacionado à compostagem doméstica. O material utilizado na capacitação dos munícipes foi desenvolvido pelo professor Luciano Rodrigues Legaspe. Esse material já foi testado e operado em um projeto coordenado pelo professor no CEAGESP.

Gráfico 5: Evolução no tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos no município de Salesópolis, SP, segundo os cenários propostos no PMGIRS.

As metas para o ano de 2020 relacionadas ao tratamento da fração orgânica dos RSU estão de acordo com a faixa “favorável” das metas do Plano Nacional de Resíduos sólidos, já que o município prevê que em 2020, 75% dos resíduos compostáveis gerados no município estarão recebendo tratamento.

5.3.7 Município de Santo André, SP

O município de Santo André possuía em 2011 uma população de pouco mais de 678 mil habitantes que geravam, aproximadamente, 745 toneladas de resíduos sólidos urbanos diariamente. Essa quantidade de resíduos representa uma taxa de geração *per capita* de 1,10 kg/hab/dia. (PREFEITURA DE SANTO ANDRÉ, 2011) No ano de 2011 foi aprovado o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Santo André, plano elaborado para atender o disposto na PNRS.

A fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos do município representavam 56% do total no ano de 2011, conforme apresentado no Gráfico 6, mas não existia nenhum programa para tratamento desse tipo de resíduo, apenas coleta seletiva com diferenciação de resíduos úmidos e secos. Apesar de a PNRS exigir em seu artigo 36º que o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, no caso de existir PMGIRS, implante sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos, esse assunto não é abordado na PMGIRS de Santo André. O tratamento dos resíduos orgânicos é previsto apenas através de aterros energéticos, ou seja, aterros com aproveitamento do biogás produzido através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica aterrada. A implantação de um aterro energético possui a meta de atingir 100% dos resíduos, passíveis de aterramento, aterrados em 2017.

Gráfico 6: Caracterização Física dos RSU do município de Santo André, SP

Apesar de a PMGIRS prever a implantação de um programa de coleta seletiva e um programa de educação ambiental, não fica explícita qual a influência desses programas na gestão e gerenciamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. O plano do município não apresenta, também, de que forma serão tratados os resíduos orgânicos gerados no município e as metas para redução da destinação da matéria orgânica para os AS, assim não foi possível verificar se o plano de Santo André está condizente com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

5.3.8 Município de São Bernardo do Campo, SP

Em Dezembro de 2010 a prefeitura de São Bernardo do Campo apresentou o Plano Municipal de Resíduos Sólidos, parte integrante da Política Pública Municipal de Saneamento Básico, exigência da Lei Federal nº 11.445 de 2007. Mesmo tendo apresentado o plano em Dezembro de 2010, o município atendeu algumas exigências da PNRS.

São Bernardo do Campo tinha uma população de mais de 810mil habitantes em 2009 e gerava, aproximadamente, 237 mil toneladas de resíduos anualmente. Essa geração representava uma geração de 0,8 kg por dia por habitante de RSD. De todo esse resíduo, 45,8% era matéria orgânica, conforme apresentado no Gráfico 7.

Gráfico 7: Caracterização Física dos RSD de São Bernardo do Campo.

Desde 2001 já existe um programa de coleta seletiva, esse programa coleta 120 toneladas de resíduos recicláveis por mês. Os resíduos são separados em 4 tipos, papel, plástico, metal e vidro. Um programa de compostagem de resíduos de poda e capina também já existe e é responsável pelo tratamento de 20 toneladas de resíduos diariamente. Os resíduos são coletados, triturados e tratados através de leiras estáticas sem aeração forçada, conforme Figura 20. O composto produzido é utilizado em hortas de programas sociais, nos canteiros da prefeitura e o excedente é comercializado.

Figura 20: Leira de tratamento dos resíduos de poda e capina do município de São Bernardo do Campo, SP.

No plano do município de São Bernardo do Campo são definidas alternativas tecnológicas para os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Em relação à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos o plano deixa clara a intenção de minimização da geração de resíduos destinados ao aterro sanitário especialmente os recicláveis e orgânicos. A Figura 21 apresenta um diagrama esquemático do sistema de manejo de resíduos sólidos do município de São Bernardo do Campo, conforme proposto no plano municipal.

Como forma de minimizar a destinação de resíduos para o aterro sanitário o plano cita a criação do Sistema de Processamento e Aproveitamento de Resíduos (SPAR) que é composto de alguns subsistemas, entre eles:

- Parque Industrial de Triagem e Recuperação de Resíduos onde ocorrerá a triagem e separação de orgânicos, recicláveis e rejeitos;
- Sistema de Manejo e Valorização da Fração Orgânica que consistirá em um sistema de biodigestão da fração orgânica dos RSD para aproveitamento do

biogás produzido e um sistema de compostagem do digesto, subproduto da biodigestão e dos outros resíduos orgânicos que não foram tratados pelo sistema de biodigestão devido a capacidade do processo.

- Unidade de Recuperação de Energia (URE) que consistirá em um sistema de incineração dos resíduos orgânicos não tratados pelo Sistema de Manejo e Valorização da Fração Orgânica, pelos resíduos não aproveitados no sistema de triagem e pelos resíduos sem valor comercial, mas com poder calorífico aproveitável.

Figura 21: Diagrama esquemático da proposta de sistema de manejo de resíduos no município de São Bernardo do Campo, SP.

O plano do município de São Bernardo dos Campos apresenta algumas metas para atingir os objetivos dos seus planos. As metas foram divididas em curto, médio e longo prazo, ou 4, 8 ou 16 anos, respectivamente. Com relação à fração

orgânica dos RSD a meta é de reduzir a disposição de 17,5% do total dos RSD coletados a partir de 2015. O Gráfico 8 apresenta as metas de tratamento da fração orgânica e o Gráfico 9 apresenta a somatória das metas para minimização de resíduos destinados ao aterro sanitário através dos programas supracitados.

Gráfico 8: Metas do Volume de Tratamento da Fração Orgânica do município de São Bernardo do Campo.

As metas para o ano de 2020 não estão de acordo com as metas do Plano Nacional e portanto podemos dizer que, segundo o Plano Nacional, as metas do município de São Bernardo do Campo são desfavoráveis.

Gráfico 9: Projeção total de minimização de resíduos: Coleta Seletiva + SPAR/URE + Tratamento da Fração Orgânica do município de São Bernardo do Campo.

5.3.9 Município de São Paulo, SP

No dia 31 de Julho de 2012, a dois dias do fim do prazo estipulado pela PNRS para que os municípios entregassem o PMGIRS. A prefeitura de São Paulo aprovou o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de São Paulo. O plano que contém 248 páginas e está disponível no sítio da prefeitura de São Paulo apresenta um resumo dos programas de resíduos sólidos já existentes no município e promove uma reflexão para que esses programas sejam estendidos de forma a atender, prioritariamente, as diretrizes e estratégias da PNRS e outras normas vigentes.

Abaixo será realizada uma análise dos tópicos relacionados à gestão e o gerenciamento da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos.

Diretrizes e objetivos

No capítulo sobre diretrizes e objetivos são apresentadas algumas que estão direta ou indiretamente relacionados com a gestão e gerenciamento da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos, são elas:

- Criar formas de incentivo, controle pecuniário e promover ações de educação ambiental para aumentar a participação e eficiência da população na coleta seletiva, evitando assim grandes investimentos em locais para triagem e diminuindo a geração de rejeitos;

O incentivo e o controle pecuniário são abordagens interessantes, pois contribuem para atingir o objetivo de diminuir a geração de rejeitos antes que as metas de educação ambiental sejam alcançadas, ou seja, a educação ambiental é

imprescindível, mas ela não acontece em prazo curto, já o controle pecuniário é imediato.

- Priorizar e valorizar a descentralização no gerenciamento dos resíduos sólidos possibilitando a infraestrutura necessária para inclusão social e consolidação da atividade econômica descentralizada;

Essa abordagem é fundamental, até por que segundo Massukado (2008),

“As unidades descentralizadas de compostagem podem ser uma alternativa viável aos municípios, pois tratam os resíduos próximos ao local onde este foi gerado, diminuindo o custo de transporte, além de poder atuar como um centro de educação ambiental para a população do entorno”.

- Implantar políticas de reaproveitamento e reciclagem através do uso de minhocários, composteiras, biodigestores, entre outros e estimular através da educação ambiental a diminuição na geração de resíduos orgânicos, visto que eles são os mais representativos na composição gravimétrica dos RSU no município (Gráfico 10);

É interessante ressaltar que o município de São Paulo tem a clareza da importância que os resíduos orgânicos tem sobre a gestão e o gerenciamento dos resíduos orgânicos, tal fato pode ser evidenciado não apenas nas diretrizes e objetivos mas nas decisões tomadas pela Comissão de Meio Ambiente da Câmara Municipal de São Paulo com relação aos resíduos orgânicos. Segundo a Comissão o município deve criar um plano municipal específico, a partir do PMGIRS, para redução da geração e adequada destinação dos resíduos orgânicos da cidade. Neste sentido, na reunião do dia 23 de Maio de 2012 da Comissão Extraordinária Permanente do Meio Ambiente foi discutido com especialistas e com a população do

município de São Paulo a necessidade e a viabilidade de se realizar a compostagem doméstica. Para tanto a prefeitura vem realizando, através do Departamento de Educação Ambiental da Secretaria do Verde e do Meio Ambiente (UMAPAZ) campanhas para a utilização de composteiras domésticas no modelo apresentado pela Figura 9 e pela Figura 10. (SEMINÁRIO MUNICIPAL DE COMPOSTAGEM DE SÃO PAULO, 2012)

Caracterização e tratamento dos RSU

O serviço de coleta de RSU, normal e diferenciada (seletiva) é realizado através de outorga de concessão pública desde 2003 de acordo com o disposto na legislação aplicável. Essa outorga abrange diversos serviços inclusive a obrigatoriedade de implantação de usinas de compostagem nos aterros. Atualmente o serviço de coleta de RSU do município de São Paulo está dividido entre duas empresas, LOGA e ECOURBIS e a área do município sob-responsabilidade de cada empresa pode ser observado na Figura 22 (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2012).

Até Dezembro de 2011 a quantidade de RSU que as duas empresas coletavam era de, aproximadamente, 9.700 toneladas por dia e até abril de 2012 a quantidade de RSU coletada pelas duas empresas era de, aproximadamente, 10.100 toneladas por dia. Ao observarmos a composição gravimétrica dos RSU durante todo esse período, Gráfico 10 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, vemos que a maior parte é composta por resíduos orgânicos (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2012).

Gráfico 10: Análise gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos no período de Março de 2011 a Fevereiro de 2012. (São Paulo, 2012)

A área total atendida pela coleta domiciliar dos resíduos é de 1.523 km² e eles são gerados por 11.253.500 pessoas. Para viabilizar a coleta dos RSU são utilizados 492 caminhões compactadores e 54 conjuntos transportadores que são utilizados para transportar os resíduos das estações de transbordo para os locais de disposição final (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2012).

Na Figura 22 podemos observar que o agrupamento dos bairros pode ser dividido entre sudeste e noroeste. Os RSU coletados no agrupamento sudeste são dispostos no aterro municipal “Centro de Tratamento Leste” (CTL) que está localizado em São Mateus e os RSU coletados no agrupamento noroeste são dispostos no aterro sanitário privado “Centro de Tratamento de Resíduos” (CTR) localizado no município de Caieras (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2012).

Figura 22: Mapa de coleta de RSU, de serviços de saúde e de materiais recicláveis, localização dos aterros sanitários e das centrais de triagem da coleta seletiva no município de São Paulo.

O município de São Paulo possui dois aterros sanitários que já atingiram sua capacidade limite e, conseqüentemente, já foram desativados. O Aterro Bandeirantes e o Aterro São João. A empresa Biogás S.A. implantou nesses dois aterros sistemas de captação do gás gerado com posterior geração de energia através da queima desse gás. O investimento foi da ordem de 30 milhões de dólares no Aterro Bandeirantes que possui um sistema com capacidade de tratamento de 12.000m³/h de gás e conseqüente geração de 175mil MW/ano e de 50 milhões de dólares no Aterro São João que possui capacidade de tratamento de 11.000m³/h de

gás e consequente geração de 200mil MW/ano. A diferença na eficiência de geração de energia se deve pela diferente tecnologia aplicada em cada aterro (REVISTA BRASILEIRA DE BIOENERGIA, 2010). Ao produzir energia, dar um tratamento adequado aos gases gerados e diminuir a emissão do gás metano para a atmosfera, os dois aterros geram créditos de carbono. A prefeitura de São Paulo é proprietária de 50% das reduções de emissão geradas pelos dois projetos e nos três leilões que já foram realizados (2007, 2008 e 2012) a prefeitura já arrecadou, aproximadamente, R\$75,5 milhões que foram aplicados em projetos no entorno dos aterros (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2012).

Programas para diminuição da geração e tratamento dos RSU

Como forma de cumprimento das metas estabelecidas pela PNRS, é necessário diminuir a geração de rejeitos dispostos em aterros, sendo assim a prefeitura do município de São Paulo elencou diversas ações que o município pretende fazer para tratar os resíduos sólidos e assim diminuir a geração de rejeitos, algumas dessas ações estão relacionadas ao gerenciamento da fração orgânica dos RSU, são elas:

Ações de Educação Ambiental

Dentre as ações de educação ambiental existe uma de incentivo a prática de compostagem doméstica, é o curso “Mini Horta Caseira e Compostagem” que tem como objetivo apresentar aos munícipes formas de aproveitamento dos resíduos orgânicos para a produção de adubo para a própria utilização em uma horta caseira.

Coleta Domiciliar Diferenciada ou Seletiva

Segundo o documento, haverá ações voltadas ao planejamento, execução e monitoramento de uma coleta diferenciada para os resíduos orgânicos, esses resíduos tem uma representação muito grande na composição gravimétrica (Gráfico 10) dos RSU e, portanto merecem uma coleta diferenciada de forma a viabilizar seu tratamento.

Novos Aterros Sanitários

Está em análise a aprovação da área para o novo aterro municipal que atenderá a coleta de resíduos do agrupamento noroeste (Figura 22). Esse aterro será operado pela concessionária LOGA e terá capacidade projetada de 21 milhões de toneladas de RSU e vida útil de 15 anos.

A tecnologia utilizada nesse novo aterro o denominará “Ecoparque”. Isso porque a planta fará o tratamento de parte dos resíduos orgânicos através da digestão anaeróbia (biodigestores) e assim terá produção de metano com consequente recuperação de energia da queima do biogás para a produção de energia elétrica, paralelamente terá tratamento aeróbio (compostagem) do restante dos resíduos orgânicos com a utilização do composto gerado nas áreas verdes do município e comercialização do possível excedente. Segundo o próprio levantamento da Prefeitura de São Paulo (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2012), a compostagem se for realizada de forma acelerada, com insuflação de ar e revolvimento mecanizado, consumiria de 50 a 75 KW/h para cada tonelada compostada durante um período de 120 dias. Já na digestão anaeróbia ocorreria a

geração de 75 a 150 KW/h por tonelada de resíduo digerida, viabilizando assim a tecnologia utilizada no Ecoparque.

Com relação à geração e aproveitamento energético do biogás, esses novos aterros teriam um diferencial se comparados com o aproveitamento energético estabelecido nos Aterros Bandeirantes e São João. Nos aterros antigos, a geração de biogás perdura, mesmo que menor quantidade, após o encerramento das atividades do aterro. Além disso, não ocorre recuperação do metano, apenas queima devido ao fato de a concentração dele ser apenas 10% no biogás. Já no novo modelo de aterro a eficiência de recuperação do metano fica entre 20 e 40% e assim, segundo o documento, a possibilidade de comercialização dos créditos de carbono e a comercialização da energia possibilitará a geração de receita.

Tratamento e Destinação dos Resíduos Sólidos Úmidos para Compostagem

Conforme já abordado, os resíduos orgânicos tem um grande potencial para serem transformados em fertilizante orgânico e então utilizados em processos agrícolas. Sendo assim a prefeitura definiu que para a compostagem da fração orgânica dos RSU seja viabilizada, é necessário ter um plano específico para normatização de procedimentos e elaboração de normas específicas para os resíduos orgânicos de forma que todos os órgãos públicos geradores tenham como obrigação a redução e segregação desse tipo de resíduo na origem. A ampliação e modernização dos locais de triagem com a capacitação dos funcionários para manejo desse tipo de resíduo e o aprimoramento da coleta e cadastro de todos os envolvidos nas atividades em conjunto da aplicação de mecanismos de monitoramento, controle e fiscalização também são necessários (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2012).

Além disso, foi definida uma meta de que até 2014, com o estabelecimento de parcerias com todos envolvidos, a coleta da fração orgânica dos RSU atenderia 90% dos órgãos públicos situados no município e 70% desses resíduos coletados receberiam tratamento adequado, evitando, assim, a sua disposição em aterros sanitários (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2012).

As metas para o ano de 2020 relacionadas ao tratamento da fração orgânica dos RSU está de acordo com a faixa “intermediária” das meta do Plano Nacional de Resíduos sólidos, ou seja, seria preciso aumentar essas metas para que se tenha um cenário favorável.

Considerações Finais

Nas considerações finais a Prefeitura do Município de São Paulo deixou claro que para superar todas as dificuldades existentes na gestão e gerenciamento dos Resíduos Sólidos torna-se cada vez mais necessário integrar-se às Políticas Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos. Define ainda que para se chegar a um modelo sustentável de gestão de resíduos na cidade é preciso sensibilizar e incentivar a população para não gerar, reduzir, reutilizar e segregar adequadamente os resíduos para fins de reciclagem, compostagem e biodigestão.

5.3.10 Município de Suzano, SP

O município de Suzano possui um programa de Coleta Seletiva que atualmente coleta 0,8% do total de RSD. Segundo o Plano Diretor de RS do município a ampliação da coleta seletiva ocorrerá através da melhoria das condições de trabalho e das instalações da cooperativa existentes e da ampliação da área de coleta e triagem. Segundo o plano, será necessário um programa permanente de

educação ambiental para que os objetivos da coleta seletiva sejam alcançados. O Plano diretor de RS não apresentou a caracterização gravimétrica dos RS gerados no município.

Segundo o Plano Diretor de RS de Suzano a compostagem deve ser a forma de tratamento da matéria orgânica utilizada já que é uma tecnologia que prolongará a vida útil dos AS, proporcionará a coleta de resíduos recicláveis menos contaminados e ainda possibilitará a comercialização e utilização do composto produzido.

O Plano Diretor de Suzano apresenta algumas diretrizes e metas e a partir desses dados são formulados quatro cenários, onde apenas o quarto cenário considera um programa de tratamento da fração orgânica dos RSD. As metas são divididas em períodos, sendo que de 2009 a 2014 espera-se que a quantidade de RSD destinada ao AS seja 35% menor, de 2014 a 2019 essa quantidade seja 45% menor e de 2019 a 2029 a quantidade de RSD destinada ao aterro seja 55% menor. A quantidade de resíduos orgânicos tratados pelo Programa de Aproveitamento da Fração Orgânica será de 5%, 10% e 15%, respectivamente, da quantidade que não será aterrada. Após Considerar apenas o cenário onde o tratamento da fração orgânica é previsto foi possível montar o Gráfico 11 que apresenta a comparação da quantidade de RSD destinada ao AS sem a implantação dos planos e com a implantação dos planos.

Gráfico 11: Projeção dos cenários de destinação final dos RSD do município de Suzano, SP

O Programa de Aproveitamento da Fração Orgânica sugerido pelo Plano Diretor de Suzano afirma que a qualidade do composto produzido estará intrinsecamente relacionada com os programas de Coleta Seletiva e Educação Ambiental, também propostos pelo Plano Diretor. Tão grande é a preocupação que a sugestão é iniciar o tratamento dos resíduos orgânicos apenas com a coleta dos resíduos orgânicos dos grandes geradores como feiras livres, *shoppings*, hotéis, centrais de distribuição de frutas e verduras, entre outros, onde a segregação é muito mais fácil e futuramente expandir para a coleta dos RSU.

As metas de diminuição da disposição de matéria orgânica em AS apresentadas pelo município de Suzano, SP estão na faixa Intermediária do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

5.4 Síntese dos municípios da bacia que possuem PMGIRS

Conforme determinado pela PNRS e pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos, os municípios deveriam entregar os Planos Municipais de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos e esses planos deveriam apresentar diretrizes, programas, metas e ações relacionadas, entre outros, à coleta seletiva dos RS, à educação ambiental voltada para a correta separação dos RS e aos processos de tratamento da fração orgânica dos RS.

A bacia hidrográfica do Alto Tietê é composta de 36 municípios e apenas alguns municípios entregaram o PMGIRS dentro do prazo, outros já tinham entregado o PMSB, porém não fizeram nenhuma abordagem sobre resíduos sólidos conforme a PNRS permitia. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos ainda não está completo, porém existe uma versão preliminar disponível a qual apresenta as diretrizes nacionais relacionadas a gestão e gerenciamento de RS. Sobre os planos municipais o Plano Nacional apresentou a meta de que até 2015, 100% dos municípios brasileiros tenham entregue o PMGIRS, ou que o PMSB tivesse um capítulo sobre RS incorporado ou ainda que os municípios tivessem um plano regional de resíduos sólidos, conforme apresentado na Tabela 5. Porém, ao observar o Gráfico 12, vemos que apenas sete municípios entregaram os PMGIRS dentro do prazo estabelecido, um total de 20% dos municípios da bacia, o que não atende a meta estabelecida pelo Plano Nacional.

Com relação às diretrizes que necessariamente deveriam estar inseridas nos PMGIRS, os sete municípios que possuem o plano apresentaram, quase que na totalidade, informações, programas, ações e metas sobre a coleta seletiva, tratamento da fração orgânica e educação ambiental. Apenas o município de Santo

André (SP) que não deixou claro qual o tipo de tratamento da fração orgânica que será utilizado no município, deixou apenas a intensão de realizar o tratamento.

Um dos pontos mais fortes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos diz respeito à necessidade de reduzir progressivamente a quantidade de rejeitos a serem dispostos em AS. A preocupação é traduzida em uma meta conforme mostrado na Tabela 4. Segundo o critério adotado pelo Plano Nacional as metas relacionadas ao tratamento da matéria orgânica foram divididas em Desfavorável, Intermediária ou Favorável. Neste sentido, o Gráfico 13 apresenta de que forma as metas de redução na destinação da matéria orgânica para AS dos municípios da bacia do Alto Tietê que apresentaram PMGIRS podem ser consideradas. Vemos que apenas 29% dos municípios que apresentaram o PMGIRS possuem metas favoráveis.

Gráfico 12: Quantidade de Planos Municipais dos Municípios da Bacia do Alto Tietê entregues até prazo definido pela PNRS.

Gráfico 13: Metas para a redução da disposição da Matéria Orgânica em AS segundo critérios do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

A Para podermos realizar uma análise da bacia como um todo será apresentada, a seguir, uma síntese dos dados de todos os municípios integrantes da bacia do Alto Tietê.

Tabela 7, abaixo, apresenta a síntese dos dados sobre RS, mais especificamente sobre a fração orgânica dos RS dos municípios da bacia do Alto Tietê que possuem PMGIRS. Os dados sobre porcentagem de “úmidos” dos municípios de Suzano e Ribeirão Pires não foram apresentados em seus respectivos planos municipais, sendo assim, foi utilizado o dado referente à média nacional.

Neste sentido e lembrando o fato de que mais da metade, em peso, dos RS gerados nos municípios brasileiros são compostos de matéria orgânica é necessário que na próxima revisão e nos novos PMGIRS os municípios tenham a clareza de

que é fundamental ter planos para o tratamento da matéria orgânica e redução de disposição de rejeitos em AS para atender ao disposto na PNRS.

Para podermos realizar uma análise da bacia como um todo será apresentada, a seguir, uma síntese dos dados de todos os municípios integrantes da bacia do Alto Tietê.

Tabela 7: Síntese dos dados sobre RS obtidos dos PMGIRS dos municípios da bacia do Alto Tietê.

Município	População Urbana (habitantes)	Geração de RSU (t/dia)	Geração per capita (kg/hab/dia)	Úmidos (%)	Úmidos (t/dia)
Guarulhos	1222357	944	0,77	53%	500
Ribeirão Pires	115908	76	0,65	51%	39
Salesópolis	16041	11	0,69	72%	8
Santo André	678500	745	1,10	56%	419
São Bernardo do Campo	810979	649	0,80	46%	297
São Paulo	11196300	14261	1,27	53%	7558
Suzano	323136	290	0,90	51%	148
TOTAL	14363221	16976	1,18	53%	8970
Estado de São Paulo	39874768	55214	1,38	-	-
Brasil	162318568	198514	1,22	51%	101242

5.5 Síntese de todos os municípios da bacia do Alto Tietê

A Bacia hidrográfica do Alto Tietê possui mais de 19 milhões de habitantes, número que representa quase 50% dos habitantes do Estado de São Paulo e pouco mais que 12% dos habitantes do Brasil. Segundo o IBGE (2010), a densidade demográfica brasileira está na faixa de 22,40 hab/km², a densidade no estado de São Paulo está na faixa de 165,4 hab/km² e a densidade da região metropolitana de São Paulo alcança os exorbitantes 2.511,12 hab/km².

Por estarem em uma região com densidade demográfica bastante elevada, os municípios da bacia do Alto Tietê apresentam grandes dificuldades em encontrar um local ambientalmente adequada para dispor os seus rejeitos tornando os custos relacionados à gestão e ao gerenciamento dos RS gerados muito elevados. Neste sentido é imprescindível que os municípios apresentem diretrizes, programas, ações e metas relacionadas aos RSU produzidos em seus respectivos territórios.

A Tabela 8 apresenta a síntese das características populacionais, geração de RSU e geração de resíduos úmidos dos municípios integrantes da bacia hidrográfica do Alto Tietê. Os dados foram obtidos da seguinte forma: da consulta aos planos municipais existentes, da consulta a documentos como o PANORAMA (ABRELPE, 2011) e ao resultado do censo realizado pelo IBGE em 2010. Aos dados que não foram obtidos através da consulta a esses documentos foram atribuídos valores de acordo com a média estadual ou nacional.

Os municípios integrantes da bacia do Alto Tietê juntos geram mais de 23 mil toneladas de RSU por dia. Desse total, 52% são resíduos orgânicos, valor que representa uma quantidade diária superior a 12 mil toneladas. Atualmente esses resíduos, quase que em sua totalidade, estão sendo encaminhados para a disposição final em aterros sanitários. Após 2014 essa alternativa não poderá ser mais utilizada para os municípios que quiserem atender ao disposto na PNRS. Os resíduos terão que ter uma destinação final ambientalmente adequada. No caso dos resíduos orgânicos, eles deverão sofrer tratamento através de compostagem, biodigestão ou incineração.

Tabela 8: Síntese das características populacionais, geração de RSU e geração de resíduos úmidos dos municípios da bacia hidrográfica do Alto Tietê.

Município	População	Geração de RSU	Geração per	Úmidos (%)	Úmidos
-----------	-----------	----------------	-------------	------------	--------

	Urbana (habitantes)	(t/dia)	capita (kg/hab/dia)		(t/dia)
Arujá	74818	104	1,38	51%	53
Barueri	243200	280	1,15	51%	143
Biritiba mirim	24800	18	0,73	51%	9
Caieras	88212	122	1,38	51%	62
Cajamar	64113	50	0,79	51%	26
Carapicuíba	369908	512	1,38	51%	261
Cotia	201023	278	1,38	51%	142
Diadema	388600	320	0,82	51%	163
Embu das Artes	248722	344	1,38	51%	176
Embu-Guaçu	62137	86	1,38	51%	44
Ferraz de Vasconcelos	170947	237	1,38	51%	121
Francisco morato	157294	218	1,38	51%	111
Franco da Rocha	131366	182	1,38	51%	93
Guarulhos	1222357	944	0,77	53%	500
Itapecerica da Serra	161983	224	1,38	51%	114
Itapevi	201995	280	1,38	51%	143
Itaquaquecetuba	321854	446	1,38	51%	227
Jandira	112130	155	1,38	51%	79
Mairiporã	80920	57	0,70	51%	29
Mauá	417458	578	1,38	51%	295
Mogi das Cruzes	387779	537	1,38	51%	274
Osasco	667800	605	0,91	51%	308
Pirapora do Bom Jesus	15706	22	1,38	51%	11
Poá	106033	147	1,38	51%	75
Ribeirão Pires	115908	76	0,65	51%	39
Rio Grande da Serra	41602	58	1,38	51%	29
Salesópolis	16041	11	0,69	72%	8
Santana do Parnaíba	114321	158	1,38	51%	81
Santo André	678500	745	1,10	56%	419
São Bernardo do Campo	810979	649	0,80	46%	297
São Caetano do Sul	152093	211	1,38	51%	107
São Paulo	11196300	14261	1,27	53%	7558
Suzano	323136	290	0,90	51%	148
Taboão da Serra	244719	339	1,38	51%	173
TOTAL	19614754	23543	1,20	52%	12319
Estado de São Paulo	39874768	55214	1,38	51%	28159
Brasil	162318568	198514	1,22	51%	101242

Alguns dos municípios da bacia hidrográfica do Alto Tietê já entregaram o PMGIRS com programas, ações e metas claras e específicas relacionadas ao

tratamento da matéria orgânica dos seus RSU. Metas essas que atendem ao disposto no Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Outros municípios apresentaram o PMGIRS ou o PMSB, mas não apresentaram metas claras e condizentes com a diretriz nacional. Porém, 60% dos municípios integrantes da bacia ainda não definiram políticas públicas relacionadas à gestão e gerenciamento dos RS gerados em seus territórios. O que é preocupante quando se observa a quantidade de resíduos que são gerados nos municípios em questão.

Uma proposta para a gestão e o gerenciamento da fração orgânica dos RSU desses municípios que não estão atendendo ao disposto na PNRS e no Plano Nacional de Resíduos Sólidos é apresentada na Figura 23.

A proposta se baseia primeiramente na separação dos resíduos pelo gerador em duas categorias, “úmidos” e “secos” de forma a não se contaminarem os resíduos orgânicos nem os recicláveis. Após a separação, os resíduos que eventualmente não se enquadrassem em nenhuma das duas categorias seriam definidos como rejeito e enviados para disposição final em AS.

Para que a separação ocorra de forma eficiente e a quantidade de rejeitos seja a menor possível será imprescindível um programa de educação ambiental diretamente com os geradores de resíduos sólidos. Um dos focos desse programa de educação ambiental seria o incentivo da compostagem doméstica conforme modelo utilizado pela Universidade Mackenzie ou Cecil S/A, ambos apresentados na página 16.

Figura 23: Proposta de gestão da fração orgânica dos RSU gerados na bacia do Alto Tietê.

Os resíduos previamente separados que não forem destinados a compostagem doméstica ou encaminhados para disposição em AS, seriam coletados e enviados para um centro de tratamento de resíduos, conforme modelo apresentado na Figura 24. Esses centros de tratamento de resíduos seriam preferencialmente o mais próximo possível dos geradores, desde que haja espaço físico, não exista nenhum impedimento legal ou limitação por parte do plano diretor do município. Nesses centros ocorreria uma nova separação dos rejeitos que, por ventura, possam vir.

Figura 24: Modelo de Centro de Tratamento de Resíduos.

Os resíduos “secos” seriam separados segundo sua composição, como papel, plástico e vidro, por exemplo. Esses resíduos seriam comercializados com empresas recicladoras de cada tipo de resíduo.

Os resíduos “úmidos” seriam destinados, primeiramente, para um sistema de biodigestão com aproveitamento do biogás gerado, seja para uso local, seja para comercialização. Nesse sistema de biodigestão, os reatores deveriam ser projetados de forma a se obter a maior e melhor quantidade de biogás possível. Após esse tratamento o fertilizante produzido poderia ser utilizado no próprio município e o excedente comercializado. O subproduto, denominado “digesto”, seria encaminhado para tratamento juntamente com os resíduos em excesso que o sistema de biodigestão não comportasse, esse tratamento seria realizado através da compostagem. O composto produzido poderia ser utilizado pelo próprio município e o excedente comercializado.

Dessa forma sobrariam apenas rejeitos, os quais “esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis” (BRASIL, 2010a) seriam encaminhados para disposição final ambientalmente adequada, ou seja, seriam encaminhados para disposição em AS. E, portanto, a gestão e o gerenciamento dos resíduos gerados pelos municípios da bacia do Alto Tietê estariam de acordo com o disposto na PNRS.

6. Conclusão

A partir desse estudo foi possível concluir que a matéria orgânica representa mais de 50% em peso dos resíduos sólidos urbanos dos municípios brasileiros e que esses resíduos normalmente são dispostos em aterros sanitários como rejeitos. A PNRS, que foi sancionada no final de 2010, determina que os resíduos só podem ser destinados para o AS quando estiverem esgotadas todas formas de tratamento dos resíduos, tratamentos que estejam disponíveis e sejam economicamente viáveis. No caso da matéria orgânica, porém, existem tecnologias que possibilitam o seu tratamento, como a compostagem e a digestão anaeróbia, que ainda não são aplicados pela maioria dos municípios.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos, obrigatoriedade prevista na PNRS, ainda não foi aprovado, porém sua prévia já publicada apresenta alguns programas, ações e metas relacionadas à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Essas metas estão relacionadas aos resíduos gerados nos municípios da União e deveriam ser previstas nos PMGIRS.

O PMGIRS é outra obrigatoriedade determinada pela PNRS, os municípios deveriam que ter apresentado até dia 02 de Agosto de 2012 para ter acesso aos recursos da União relacionados aos RS, porém somente 20% dos municípios da bacia do Alto Tietê apresentaram o plano. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos prevê que até 2015, 100% dos municípios brasileiros deverão ter apresentado seus PMGIRS.

Os PMGIRS que foram entregues deveriam ter diretrizes e metas condizentes com as apresentadas pela prévia do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Com relação à redução da disposição final de resíduos orgânicos em AS, dos PMGIRS que foram entregues apenas 29% apresentaram metas favoráveis ao disposto na prévia do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Dos outros municípios, 29% tinham metas intermediárias, 29% tinham metas desfavoráveis e 13% não apresentaram nenhuma meta.

7. Sugestões para trabalhos futuros

Abaixo, seguem sugestões de temas para trabalhos futuros de forma a completar e continuar a pesquisa apresentada:

- ❖ Realizar o acompanhamento dos programas, ações e metas dos PMGIRS apresentados nessa pesquisa;
- ❖ Estudar o potencial de redução da geração e emissão de gases do efeito estufa do tratamento da matéria orgânica ao invés de sua destinação a aterros sanitários;
- ❖ Acompanhar a qualidade do composto e/ou fertilizante produzidos através do tratamento da matéria orgânica realizado pelos municípios da bacia do Alto-Tietê;
- ❖ Criar uma metodologia de acompanhamento dos PMGIRS através do uso de indicadores de desempenho;

8.Referências Bibliográficas

AGDAG, O. N.; SPONZA, D. T., **Co-digestion of mixed industrial sludge with municipal solid wastes in anaerobic simulated landfilling bioreactors**. In: J. Hazard Mat. 140, 2007. p. 75-85.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2011. 184p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2009. 210p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1996) **NBR 13.591: COMPOSTAGEM – TERMINOLOGIA**. Rio de Janeiro, 1996.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de Compostagem do Estado de São Paulo em Função da Qualidade dos Compostos e Processos de Produção**. 2005. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública. Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, SP.

BOUALLAGUI, H.CHEIKH, R. B.; MAROUANI, L.; HAMDY, M.; **Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in tubular digester**. In: Bioresour. Technol. 86, 2003. p. 85-89.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 275, de 25 de Abril de 2001**. Estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informáticas para a coleta seletiva. Diário Oficial de União, Brasília, DF, 19 de Junho de 2001, Seção 1, P. 80.

_____. **Lei nº 11.445, de 6 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 de Jan. de 2007.

_____. **Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010a**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2012.

_____. **Decreto nº7.404, de 23 de Dezembro de 2010b.** Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.

_____. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** 2011. 109p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf. Acesso em 13/12/2012.

CASTILLO, E. F. M.; CRISTANCHO, D. E.; ARELLANO, V. A. **Study of the operational conditions for anaerobic digestion of urban solid wastes.** In: Waste Manage, 46. 2006. p. 546-556.

CETESB. **1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo:** Comunicação Estadual. São Paulo, 2011.

CORRÊA, T. **Estudo da Tratabilidade Anaeróbia de Lixiviados de Aterros Sanitários Utilizando Filtros Biológicos Operados em Batelada Sequencial.** 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.

CUETOS, M. J.; GOMEZ, X.; OTERO, M.; MORAN, A.; **Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW).** In: Biochem. Eng. J. 40. 2008. p. 99-106.

DONG, L.; ZHENHONG, Y.; YONGMING, S.; XIAOYING, K.; YU Z. **Hydrogen Production Characteristics of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes by Anaerobic Mixed Culture Fermentation.** In: International Journal of Hydrogen Energy, 34. 2009. P. 812-820.

EL-MASHAD, H. M.; WILKO, K. P.; LOON, V.; ZEEMAN, G.; **A model of solar energy utilization in the anaerobic digestion of cattle manure.** In: Biosyst. Eng. 84. 2003. p. 231-238.

FERNANDEZ, J.; PEREZ, M.; ROMERO, L. I.; **Kinetics of mesophilic anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: influence of initial total solid concentration.** In: Bioresour. Technol. 101. 2010. p. 6322-6328.

FEZZANI, B.; CHEIKH, R. B.; **Two-phase anaerobic co-digestion of olive mill wastes in semi-continuous digesters at mesophilic temperature**. In: Bioresour. Technol. 101. 2010. p. 1628-1634.

FORESTI, E. . **Fundamentos do Processo de Digestão Anaeróbia**. In: Maria Viñas; Matilde Soubes; Liliana Borzacconi; Lucia Muxi. (Org.). Tratamento Anaeróbio. Montevideo: Universidad de la Republica, 1994, v. , p. 97-110.

FORESTI, E. ; FLORÊNCIO, L. ; HAANDEL, A. V. ; ZAIAT, M. ; CAVALCANTI, P. F. F. . **Fundamentos do Tratamento Anaeróbio**. In: José Roberto Campos. (Org.). Sistemas Anaeróbios para Tratamento de Esgoto Doméstico. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999, v. , p. 29-52

FRICKE, K.; SANTEN, H.; WALLMANN, R.; HUTTNER, A.; DICHTL, N.; **Operating problems in anaerobic digestion plants resulting from nitrogen in MSW**. In: Waste Manage 27. 2007. p. 30-43.

GHANIYARI-BENIS, S.; BORJA, R.; ALI MONEMIAN, S.; GOODARZI, V.; **Anaerobic treatment of synthetic medium-strength wastewater using a multistage biofilm reactor**. In: Bioresour. Technol. 100. 2009. p. 1749-1745.

GOLUEKE, C. G.; DIAZ, L. F. **Inoculums and enzymes**. In: THE BIOCYCLE guide to the art & science of composting. 1991. p. 195-199.

HAUG, R. T. **The Practical Handbook of Compost Engineering**. Ed. Lewis Publishers. 717 p. 1993

HERNANDEZ-BERRIEL, M. C.; BENAVIDES, L. M.; PEREZ, D. J. G.; DELGADO, O. B.; **The effect of moisture regimes on the anaerobic degradation of municipal solid waste from Metepec (Mexico)**. In: Waste Manage, 28. 2008. p. 14-20.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico de 2010**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_dou/default_resultados_dou.shtm> Acesso em: 15 de Dezembro de 2012.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos Avançados Vol. 25. Nº 71. São Paulo, Sp. Jan-Abr. 2011

JINGURA, R. M.; MANTEGAIFA, R.; **Optimization of biogas production by anaerobic digestion for sustainable energy development in Zimbabwe.** In: Renew. Sust. Energy Rev., 13. 2009. p. 1116-1120.

KAYHANIAN, M.; RICH, D.; **Pilot-Scale high solids termophilic anaerobic digestion of municipal solid waste with an emphasis on nutrient requirements.** In: Biomass Bioenergy, 8. 1995. p. 433-444.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L. **The Anaerobic Digestion of Solid Organic Waste.** In Waste Management, 31. 2011. P. 1737-1744.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto.** 4ª ed. Piracicaba, SP. 173 p., 2004.

KIM, J. K.; OH, B. R.; CHUN, Y. N.; KIM, S. W.; **Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste.** In: J. Biosci. Bioeng., 102. 2006. p. 328-332.

LEE, D. H.; BEHERA, S. K.; KIM, J.; PARK, H. S.; **Methane production potential of leachate generated from Korean food waste recycling facilities: a lab scale study.** In: Waste Manage, 29. 2009. p. 876-882.

LEUSTER, M.; BELLON-MAUREL, V.; GONZALEZ, C.; LATRILLE, E.; ROGER, J. M.; JUNQUA, G.; STEYER, J. P.; **Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: a review.** In: Process Biochem, 45. 2010. p. 431-440.

MARTIN-GONZALES, L.; COLTURATO, L. F.; FONT, X.; VINCENT, T.; **Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste with FOG waste from a sewage treatment plant: recovering a wasted methane potential and enhancing the biogas yield.** In: Waste Manage, 30. 2010. p. 1854-1859.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares.** 2008. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.

MATA-ALVAREZ, J. (Org.). **Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes.** 1ª ed. IWA Publishing. Barcelona, Espanha. 336p., 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional de Resíduos Sólidos – Linha do Tempo.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/linha-do-tempo>> Acesso em 10 de Novembro de 2012.

PIRES, C. S. **DIMINUIÇÃO DO TEMPO DE COMPOSTAGEM ATRAVÉS DA MOAGEM DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS.** 2009. 38p. Trabalho Graduação. Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (PMSP). **Inventário de emissões de gases de efeito estufa do Município de São Paulo – Síntese.** São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BARUERI. **Plano Municipal de Saneamento Básico.** Barueri, SP. 97p. 2011

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAJAMAR. **Plano Municipal de Saneamento Básico.** Cajamar, SP. 235p. 2010

PREFEITURA MUNICIPAL DE EMBU DAS ARTES. **Plano Municipal de Saneamento Básico 2011-2040 (Minuta).** Embu das Artes, SP. 52p. 2011

PREFEITURA MUNICIPAL DE FERRAZ DE VASCONCELOS. **Lei nº 3.001, de 29 de Junho de 2010.** Dispõe sobre a aprovação do Programa de Investimentos em Abastecimento Público de Água e Esgoto Sanitário do Município (Plano de Saneamento Básico). Ferraz de Vasconcelos, SP. 102p. 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARULHOS. **Plano Diretor de Resíduos Sólidos de Guarulhos.** Guarulhos, SP. 264p. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MAIRIPORÃ. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Mairiporã. Volume II.** Mairiporã, SP. 145p. 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PIRES. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.** Ribeirão Pires, SP. 153p. 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SALESÓPOLIS. **Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Salesópolis**. Salesópolis, SP. 183p. 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTO ANDRÉ. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Santo André, SP. 57p. 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO BERNARDO DO CAMPO. **Plano Municipal de Resíduos Sólidos do Município de São Bernardo do Campo**. São Bernardo do Campo, SP. 165p. 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CAETANO DO SUL. **Decreto nº 10.042 de 27 de Abril de 2010**. Aprova o Plano de Saneamento Básico do Município de São Caetano do Sul e dá Outras Providências. São Caetano do Sul, SP. 12p. 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de São Paulo**. São Paulo, SP. 248p. 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SUZANO. **Plano Diretor de Resíduos Sólidos**. Suzano, SP. 159p. 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TABOÃO DA SERRA. **Plano Municipal de Saneamento de Taboão da Serra**. Taboão da Serra, SP. 93p. 2012.

REVISTA BRASILEIRA DE BIOENERGIA. Na rota dos resíduos. USP/IEE, p. 8-9, Nov. 2010.

SAWAYANA, S.; TADA, C.; TSUKAHARA, K. YAGISHITA, T.; **Effect of ammonium addition on methanogenic community in a fluidized bed anaerobic digestion**. In: J. Biosci. Bioen. 97. 2004. p. 65-70.

SEMINÁRIO DE COMPOSTAGEM NA CIDADE DE SÃO PAULO. **Gestão adequada dos resíduos orgânicos**. Evento ocorrido em 10 de Setembro de 2012. Câmara Municipal de São Paulo. São Paulo, SP. 2012.

WARD, A. J.; HOBBS, P. J.; HOLLIMAN, P. J.; JONES, D. L.; **Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources**. In: Bioresour. Technol. 99. 2008. p. 7928-7940.

ZHU, B.; GIKAS, P.; ZHANG, R.; LORD, J.; JENKINS, B.; LI, X.; **Characteristics and biogas production potential of municipal solid wastes pretreated with a rotary drum reactor**. In: Bioresour. Technol. 100. 2009. p. 1122-1129.