**Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública**

**Avaliação das usinas de compostagem do
estado de São Paulo em função da qualidade
dos compostos e processos de produção**

Luciana Pranzetti Barreira

Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Saúde Pública
para obtenção do título de
Doutor em Saúde Pública

Área de Concentração: Saúde Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Arlindo Philippi Jr.

**São Paulo
2005**

**Avaliação das usinas de compostagem do
estado de São Paulo em função da qualidade
dos compostos e processos de produção**

Luciana Pranzetti Barreira

Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Saúde Pública da
Faculdade de Saúde Pública da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título de
Doutor em Saúde Pública

Área de Concentração: Saúde Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Arlindo Philippi Jr.

**São Paulo
2005**

*Dedico este trabalho aos meus pais
e ao meu avô Antônio Pranzetti (in
memoriam).*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Arlindo Philippi Junior, um grande estudioso das questões ambientais, pela oportunidade de estudo e orientação.

Ao Prof. Dr. Mario Sergio Rodrigues, que acreditou no meu trabalho e fez com que eu mantivesse a minha perseverança mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao Prof. Dr. Jorge Alberto Soares Tenório pela permissão concedida para a realização das análises físicas no laboratório do Departamento de Metalúrgica e Materiais da Escola Politécnica/USP e ao Danilo Augusto Filho por toda a colaboração na sua realização.

À Profa. Dr^a. Maria Olímpia Rezende, Maria Diva Landgraf e Jussara Aparecida de Oliveira Cotta do Departamento de Química Ambiental do Instituto de Química/USP – São Carlos pelas análises químicas deste trabalho.

Ao Paulo Cordeiro e a equipe do Laboratório de Análises Químicas da EESC/USP, pelas análises de metais pesados.

Ao Fábio Fernando da Silva do Instituto de Matemática e Estatística da USP, pelas análises estatísticas.

À Profa. Dra. Wanda Maria Risso Günther, grande conhecedora das questões ambientais, por toda a consideração e amizade durante estes anos.

Ao Dr. Jorge Toshiyuki Ogata, engenheiro do Setor de Resíduos Domiciliares e de Serviços de Saúde da CETESB, à Profa. Dra. Hellma Hermann e ao Prof. Dr. Fábio César Da Silva da Embrapa/Campinas.

Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação Angela, Silvia, Marilene, Márcia e Renilda. Aos colegas do Departamento de Saúde Ambiental, principalmente à Tami, Dona Vanda e Sérgio.

Aos gestores das Usinas de Compostagem do estado de São Paulo que não mediram esforços em prol do trabalho, fornecendo todos os subsídios para a coleta de dados e informações necessárias, contribuindo de forma efetiva e imprescindível para essa pesquisa: Sr. Valdir Ramos de Azevedo (Adamantina), Sr. Gilberto Luis Bertolucci (Assis), José Renato Landgraf (Bocaina), Sr. Valter Claudino de Oliveira Filho (Garça), Sr. Agnaldo de Oliveira e Antônio Paulo Silveira (Itatinga), A Sra. Margareth Tomazini e Sr. Carlos Alberto Moreira Feni (Martinópolis), Sr. Valdomiro Segateli e Sr. Luiz Pinto Gaudio (Oswaldo Cruz), Sr. Álvaro Rodrigues (Parapuã), Sr. Inacio Makiama (Presidente Bernardes), Sr. José Roberto Braulio de Melo (São Jose dos Campos), Sr. Aviemar Filho (São José do Rio Preto), Sr. Valter José de Lima (São Paulo), Sr. José Siqueira Campos (Tarumã), Sr. Antonio Capossi (Uru)

À Dirce Pranzetti e Marcos Matsukuma, não só pela diagramação da tese mas, principalmente, pelo carinho e força nos momentos finais e mais difíceis.

Ao Ronaldo Montalvão e Jelanie Mahiri.

Aos amigos, principalmente Cecília Toloza e Maria Donizeti de Brito pela paciência, força e amizade.

A todas as pessoas que colaboraram de alguma forma nesse trabalho em especial a grande amiga Izabela Oliveira pela participação imprescindível em todo o período da tese.

À Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de estudo concedida.

RESUMO

Barreira LP. Avaliação das Usinas de Compostagem do Estado de São Paulo em Função da Qualidade dos Compostos e Processos de Produção. **São Paulo; 2004.** [Tese de Doutorado – Faculdade de Saúde Pública da USP].

Aliado à geração constante de resíduos estão as dificuldades nas formas de disposição e tratamento, muitas vezes custosas e que não levam em consideração suas características básicas. No Brasil, 60% da composição dos resíduos é matéria orgânica passível de reciclagem por meio do processo de compostagem, um método simplificado e sem custos elevados para o seu tratamento sanitariamente adequado. No entanto, as usinas de compostagem são vistas somente como grandes obras de engenharia, capazes de reduzir o volume de resíduos, produzindo um composto de baixa qualidade e vendido a preços irrisórios. **Objetivo.** Avaliar as usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção. **Métodos.** Pesquisou-se 14 usinas de compostagem do Estado de São Paulo com diferentes processos de produção. O estudo incluiu 3 fases: 1) caracterização da matéria-prima e do material-base e o estudo dos processos de produção, 2) análise dos compostos: física (densidade real e aparente, granulometria e conteúdo total de contaminantes) e química (micro e macronutrientes e metais pesados), e 3) análises estatísticas. **Resultados.** Os resultados foram avaliados levando-se em conta as usinas separadamente e o agrupamento realizado de acordo com suas estruturas. As usinas que utilizam os processos com peneiras rotatórias apresentaram melhores resultados quanto ao conteúdo de contaminantes e granulometria. Nos resultados químicos, as estruturas das usinas não tiveram influência direta. **Conclusões.** Os compostos não apresentaram alta qualidade mas podem ser considerados como condicionadores de solo. O problema com as usinas não está na sua estrutura mas sim na falta de acompanhamento dos fatores que regem a compostagem no pátio.

Descritores: Resíduos, usinas de compostagem, qualidade de compostos, processos de produção.

SUMMARY

Barreira, LP. Evaluation of the Composting Plants in the State of São Paulo in Function of the Quality of the Composts and Production Processes.

Related to the constant generation of waste are the difficulties in the form of their placement and treatment, many times very costly and often not taking into consideration its basic characteristics. In Brazil, 60% of waste composition is organic material which could be recycled by means of a composting process, a simple method and without high costs for adequate sanitary treatment. However, the composting plants are seen only as great engineering feats, capable of reducing the volume of waste, producing a low-quality compost that is sold at ridiculous prices. **Objective.** To evaluate the composting plants in the state of São Paulo in function of the quality of the composts and production processes. **Methods.** Fourteen composting plants in the state of São Paulo with different production processes were investigated. The study includes three phases: 1) characterization of raw materials and of base materials and the study of production processes; 2) compost analysis, both physical (real and apparent densities, granulometry and total contaminant content) and chemical (micro and macro nutrients and heavy metals); and 3) statistical analysis. **Results.** The results were evaluated taking into account the composting plants separately as well as by grouping them according to their structural characteristics. The plants utilizing processes with rotating sieves presented better results in relation to both contaminant content and granulometry. For the chemical results, the structural characteristics of the composting plants did not have a direct influence. **Conclusions.** The composts were not of high quality but could be considered as soil conditioners. The problem with the composting plants was not in their structure but in the lack of accompanying factors that govern the process in the composting area. **Keywords.** Waste, composting plants, compost quality, production processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de desenvolvimento atual e suas implicações.

Figura 2. Vias de acesso de agentes patogênicos para o homem através dos resíduos “in natura”.

Figura 3: A umidade no processo de compostagem e no produto acabado.

Figura 4: Mudanças na temperatura até a cura total do composto

Figura 5: Fluxo de materiais em uma usina de triagem e compostagem

Figura 6: Pátio de descarga de resíduos sólidos urbanos (Município de Tarumã)

Figura 7: Pátio de descarga de resíduos com funcionário alimentando manualmente a esteira (Município de Uru)

Figura 8: Esteira de triagem dos materiais recicláveis (Município de São José do Rio Preto)

Figura 9: Peneira rotatória para beneficiamento do composto (Município de Tarumã)

Figura 10: Bioestabilizador do processo Dano (Município de São Paulo)

Figura 11: Pátio de compostagem com leiras piramidais (Município de Garça)

Figura 12: Lagoas de tratamento de chorume (Município de Parapuã)

Figura 13: Recirculação de chorume nas pilhas de compostagem (Município de Parapuã)

Figura 14: Aterro de rejeitos juntamente com depósito de outros materiais (Município de Itatinga)

Figura 15: Materiais recicláveis armazenados nas usinas de compostagem (Município de Adamantina)

Figura 16: Caracterização da matéria-prima destinada à usina de compostagem (Município de São José dos Campos)

Figura 17: Fração orgânica presente na caracterização dos resíduos

Figura 18: Caracterização do material-base

Figura 19: Condições das usinas de compostagem do estado de São Paulo, de acordo com os enquadramentos da pesquisa realizada pela CETESB

Figura 20: Esquema de uma usina do processo Dano

Figura 21: Modelo de Usina Gavazzi

Figura 22: Modelo de Usina Maqbrit

Figura 23: Modelo de Usina Stollmeier sem trituração de resíduos.

Figura 24: Modelo de Usina Stollmeier com trituração de resíduos.

Figura 25: Visão geral da usina de compostagem de Adamantina

Figura 26: Novo pátio de compostagem do município de Adamantina

Figura 27: Lagoa de tratamento de chorume de Adamantina

Figura 28: Peneira giratória (Município de Adamantina)

Figura 29: Visão geral da usina de Assis

Figura 30: Visão geral do pátio de compostagem (Município de Assis)

Figura 31: Peneira para beneficiamento do composto (Município de Assis)

Figura 32: Composto pronto para o uso

Figura 33: Rejeitos retirados dos resíduos na triagem (Município de Bocaina)

Figura 34: Detalhe do triturador de resíduos (Município de Bocaina)

Figura 35: Peneira rotatória (Município de Garça)

Figura 36: Rejeito após a saída da peneira (Município de Garça)

Figura 37: Lagoas de tratamento de chorume (Município de Garça)

Figura 38: Esteira de triagem (Município de Itatinga)

Figura 39: Detalhe da peneira (Município de Itatinga)

Figura 40: Lagoas de tratamento de chorume (Município de Itatinga)

Figura 41: Detalhe da peneira com saída de rejeito (Município de Martinópolis)

Figura 42: Pátio de compostagem (Município de Martinópolis)

Figura 43: Saída de material-base após esteira de triagem (Município de Osvaldo Cruz)

Figura 44: Peneira para beneficiamento do composto (Município de Osvaldo Cruz)

Figura 45: Pátio de compostagem com recirculação de chorume (Município de Parapuã)

Figura 46: Peneira de pré e pós tratamento (Município de Parapuã)

Figura 47: Peneira para beneficiamento de composto não instalada (Município de Presidente Bernardes)

Figura 48: Bioestabilizador (Município de São José dos Campos)

Figura 49: Captação de chorume no bioestabilizador (Município de São José dos Campos)

Figura 50: Separadores balísticos (Município de São José dos Campos)

Figura 51: Peneira de pré-composto A (Município de São Paulo)

Figura 52: Venda de pré-composto (Município de São Paulo)

Figura 53: Pátio de recepção de resíduos (Município de São José do Rio Preto)

Figura 54: Saída de material-base da peneira (Município de São José do Rio Preto)

Figura 55: Moinho de pré tratamento de resíduos (Município de Tarumã)

Figura 56: Visão geral da usina de Uru

Figura 57: Composto pronto para o uso (Município de Uru)

Figura 58: Presença de inertes no composto

Figura 59: Conteúdo total de inertes nos diferentes grupos de usinas

Figura 60: Visão geral da horta comunitária (Município de Tarumã)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resíduos sólidos urbanos divididos por tipo, composições e fontes

Tabela 2: Resíduos domésticos potencialmente perigosos

Tabela 3: Quantidade de resíduos coletados diariamente no Brasil e suas unidades de destino final

Tabela 4: Principais doenças transmitidas por vetores presentes em locais de disposição inadequada de resíduos.

Tabela 5: Diferenças entre composto maduro e o composto cru

Tabela 6: Relação de alguns elementos potencialmente tóxicos

Tabela 7: Limites de metais pesados (mg/kg) para países com normas de certificação para composto

Tabela 8: Valores máximos para conteúdo de inertes nos compostos

Tabela 9: Valores estabelecidos para o composto orgânico no Brasil

Tabela 10: Especificações para granulometria segundo a Legislação Brasileira

Tabela 11: Estimativa de valores para umidade, pH e relação C/N para compostos

Tabela 12: Resumo das usinas de compostagem operantes nos Estados Unidos

Tabela 13: Municípios do estado de São Paulo, os índices de qualidade de suas usinas de compostagem (IQC) e a situação encontrada na época do levantamento e seleção das amostras.

Tabela 14: Características locais e socioambientais dos municípios estudados

Tabela 15: Evolução dos IQCs das usinas de compostagem do estado de São Paulo – Período de 1997 a 2002

Tabela 16: Características das usinas de compostagem estudadas

Tabela 17: Agrupamento das usinas estudadas conforme suas estruturas de pré-tratamento dos resíduos enviados ao pátio de compostagem

Tabela 18: Caracterização dos resíduos dos municípios com usinas de triagem e compostagem do estado de São Paulo (Médias dos períodos do inverno/2003 e verão/2004)

Tabela 19: Caracterização do material-base (Médias dos períodos)

Tabela 20: Comparação entre os grupos de usinas com relação ao material-base

Tabela 21: Médias para a quantidade de compostos retidos nas peneiras

Tabela 22: Granulometria por grupos de usinas

Tabela 23: Médias de densidade real e aparente nas amostras de compostos

Tabela 24: Densidades real e aparente por grupos de usinas

Tabela 25: Médias para conteúdo de inertes nas amostras de compostos

Tabela 26: Conteúdo total de inertes comparando os grupos de usinas

Tabela 27: Médias para as análises químicas para a maturação dos compostos das usinas de compostagem do estado de São Paulo (Períodos inverno/2003 e verão/2004)

Tabela 28: Parâmetros de maturação do composto comparando os grupos de usinas.

Tabela 29: Médias para nutrientes nos compostos das usinas de compostagem do estado de São Paulo

Tabela 30: Valores para nutrientes comparando os grupos de usinas.

Tabela 31: Médias para metais pesados nos compostos

Tabela 32: Valores para metais considerando os diferentes grupos de usinas

Tabela 33: Usos dos compostos produzidos nas usinas de compostagem

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Resíduos Sólidos Urbanos Inseridos na Questão Ambiental	4
1.1.1 Modelo de Desenvolvimento Econômico Atual e suas Implicações Ambientais	4
1.1.2 Evolução na Geração de Resíduos e a Problemática Ambiental e de Saúde Pública	12
1.1.3 Formas de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos	26
1.2 Compostagem como Método de Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos	32
1.2.1 Fatores que Regem o Processo	36
1.3 Composto como Produto do Processo de Compostagem	43
1.3.1 Qualidade do Composto	44
1.3.2 Mercado para o Composto	59
1.4 Usinas de Compostagem: Panoramas Mundial e Brasileiro	62
1.4.1 Panorama Mundial	62
1.4.2 Panorama Brasileiro	69
2 OBJETIVOS	86
2.1 Geral	86
2.2 Específicos	86
3 METODOLOGIA	87
3.1 Levantamento Bibliográfico	87
3.2 Levantamento, Seleção e Contato com as Usinas em Estudo	87
3.3 Instrumento de Coleta de Dados	89
3.3.1 Elaboração e Aplicação do Questionário	89
3.3.2 Coleta de Amostras	89
3.3.2.1 Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos e do Material-Base	89
3.3.2.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos	89

3.3.2.1.2 Material-base	92
3.3.2.2 Coleta de Compostos	93
3.3.3 Análises Físicas e Químicas nos Compostos	94
3.3.3.1 Análises Físicas	94
3.3.3.2 Análises Químicas	96
3.4 Análises Estatísticas	97
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	98
4.1 Características Locacionais e Socioambientais dos Municípios Estudados	98
4.2 Características e Processos Utilizados nas Usinas de Compostagem Estudadas	100
4.3 Caracterização da Matéria-Prima	137
4.4 Caracterização do Material-Base	139
4.5 Qualidade dos Compostos	143
4.5.1 Análises Físicas	143
4.5.1.1 Granulometria	143
4.5.1.2 Densidade Real e Aparente	146
4.5.1.3 Conteúdo Total de Inertes	148
4.5.2 Análises Químicas	152
4.5.2.1 Maturação do Composto	153
4.5.2.2 Nutrientes	158
4.5.2.3 Metais Pesados	162
4.6 Utilização dos Compostos e Aspectos Positivos e Negativos em Relação às Usinas	165
5 CONCLUSÕES	170
6 RECOMENDAÇÕES	172
7 REFERÊNCIAS	173
8 ANEXOS	A1

1 INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais de maior relevância na atualidade são facetas de uma crise que engloba diversos condicionantes. A noção por parte dos cientistas, pesquisadores, governo e sociedade civil que as questões ambientais, sociais, culturais, políticas e econômicas estão intimamente relacionadas é extremamente recente, forçando a uma discussão mais aprofundada e interdisciplinar que contemple todos esses temas. Contudo, não basta apenas estabelecer metas e discussões. Supomos que a melhor maneira de modificar o estado atual da qualidade de vida das pessoas e a do planeta é agir, atuando de forma mais consciente e responsável.

Considerando que o ambiente não é só o que nos cerca, mas, principalmente o meio de onde subtraímos todos os recursos necessários para a continuidade das nossas gerações e das futuras, torna-se cada vez mais urgente a necessidade de rever o nosso modelo de vida atual e buscar alternativas que integrem esse modelo ao sistema econômico vigente com produção de menos impactos negativos possíveis.

No entanto, a sociedade atual é marcada pelo aumento da demanda de bens de consumo que pressupõe cada vez mais o desenvolvimento de tecnologias de produção. Infelizmente, a maneira como isso vêm ocorrendo, baseado em modelos capitalistas sem restrições aos ganhos econômicos em face à destruição da natureza, têm trazido consequências negativas à sadia qualidade de vida do planeta e da sociedade como um todo e devem ser revistos o mais rápido possível.

Face ao problema vivido e sentido por uma grande parcela da população mundial que sofre as consequências de ações irresponsáveis por parte dos grandes governantes, a busca por uma melhor qualidade de vida nos traz à luz a necessidade de entendermos e modificarmos nosso momento atual ao menos localmente.

Assuntos como escassez de água, áreas contaminadas e passivos ambientais, poluição do solo, da água e do ar e aumento da temperatura global, são temas cada vez mais corriqueiros na vida cotidiana principalmente nas duas últimas décadas e notícias de

catástrofes ambientais podem ser acompanhadas diariamente por intermédio dos meios de comunicação. O que é de desconhecimento da grande maioria da população mundial é que essas conseqüências são frutos da maneira como o ser humano se relaciona com o ambiente, suas atitudes, ações e modo de vida.

Explorando essas questões mais profundamente, encontramos um arcabouço de ações e atitudes que se configuram muitas vezes em caráter corretivo e emergencial não evitando, assim, conseqüências adversas à sadia qualidade de vida da população.

A ação antrópica sobre a Terra tem se revelado muitas vezes de modo irreversível e a questão ambiental, com todas as suas implicações, são palco de grandes discussões em todo o mundo, visto que, atualmente, alguns segmentos da sociedade sentem a necessidade de mudanças de atitudes. Esse cenário é, atualmente, caracterizado pelo descuido e pela falta de conhecimento das gerações passadas em relação ao ambiente e que deixaram de herança enormes passivos ambientais, comprometendo de forma definitiva a biodiversidade que compõe a vida no planeta.

Os resíduos sólidos, sejam eles urbanos, industriais, agrícolas ou especiais, configuram atualmente essa necessidade de mudança. A partir do momento que a natureza humana pressupõe a sua sobrevivência por meio da satisfação das necessidades básicas de cada indivíduo, vem gerando, portanto, técnicas cada vez mais avançadas de manuseio de recursos naturais produzindo, assim, resíduos diversos e impactos ambientais. Consequentemente, a geração de resíduos é hoje um dos maiores problemas enfrentados pela civilização moderna, a falta de locais para sua disposição e técnicas cada vez mais onerosas para seu tratamento estão gerando o que chamamos “colapso do lixo”.

Nesse sentido, a produção de estudos e pesquisas na área de resíduos sólidos é cada vez mais necessária, principalmente os que englobam as questões ambientais e de saúde pública. Além disso, deve-se analisar formas de tratamento mais simplificadas e eficientes que levam em consideração as características básicas dos resíduos, evitando assim, custos elevados para seu tratamento sanitariamente adequado.

O processo de decomposição aeróbio da matéria orgânica em condições específicas é um bom exemplo a ser citado. A compostagem, como é chamado esse processo, é realizado com a finalidade de se obter um produto sanitariamente seguro, quimicamente rico em nutrientes para as plantas e extremamente eficiente e rápido quando comparado à decomposição na natureza.

O escopo desse estudo é analisar a questão dos resíduos sólidos urbanos, com o referencial teórico centrado no processo de compostagem, com o intuito de trazer à tona algumas dificuldades (falta de infra-estrutura adequada, matérias-primas utilizadas, processos mal gerenciados) que assolam esse processo nas usinas de compostagem do estado de São Paulo. O presente trabalho objetiva a melhoria da qualidade do composto, a mudança cultural em relação ao tema e espera contribuir de forma efetiva para a melhoria do sistema, oferecendo subsídios para o fortalecimento do processo de compostagem como alternativa eficiente no tratamento da parcela orgânica do resíduos sólidos urbanos.

Para tanto, foram estudadas as usinas de compostagem do estado de São Paulo com seus respectivos processos de tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares. Diversos fatores foram analisados com o intuito de verificar a real situação dessa forma de tratamento, como por exemplo, suas vantagens e limitações sob o ponto de vista de cada gestor da usina. Dessa forma, o estudo em questão tenta de alguma forma englobar a visão das pessoas que trabalham dia a dia com o processo, suas dificuldades e seus sucessos em relação às usinas de compostagem.

O processo de compostagem e, conseqüentemente, as usinas que processam os materiais e os compostos produzidos são vistos, ainda, com muita ressalva pela maioria dos pesquisadores e a população em geral, muitas vezes, devido ao desconhecimento do processo, dos benefícios advindos da utilização dos compostos e das melhorias das condições ambientais que essa forma de tratamento pode oferecer.

A revisão bibliográfica a seguir concentrou-se nos problemas ambientais e de saúde pública advindos de um modelo insustentável de consumo, em um breve histórico em relação aos resíduos sólidos urbanos e os processos de compostagem no Brasil e no

mundo, além de experiências reais sobre essa forma de tratamento, principalmente na Europa e Estados Unidos. Conceitos de sustentabilidade e educação ambiental foram utilizados para estabelecer um paralelo entre as condições atuais de desenvolvimento e suas implicações concretas nas saúdes humana e ambiental.

1.1 Resíduos Sólidos Urbanos Inseridos na Questão Ambiental

1.1.1 Modelo de Desenvolvimento Econômico Atual e suas Implicações Ambientais

As últimas duas décadas de nosso século vêm registrando um estado de profunda e complexa crise mundial, afetando todos os aspectos de nossa vida – a saúde e o modo de vida, a qualidade do meio ambiente e das relações sociais, da economia, tecnologia e política (CAPRA 1982).

Segundo CAPRA (1982), a causa dessa crise é, dentre outros fatores, o enorme distanciamento criado pelo homem em relação ao ambiente em que vive e da qual depende, indiscutivelmente, sua complexa sobrevivência.

A postura do homem diante da natureza demonstra o grau de superioridade em relação aos demais seres vivos, interferindo de modo irracional no ambiente e sem nenhuma preocupação com as consequências que podem advir de suas atitudes e ações.

Levando-se em conta os modelos clássicos de desenvolvimento, esse distanciamento e superioridade em relação ao ambiente foi otimizado pelo conhecimento técnico científico, instrumento essencial para se conhecer o meio ambiente e assim colocá-lo a serviço do homem, na convicção de que a civilização ocidental é superior às demais, entre outras razões, devido ao domínio sobre a natureza (CAPRA 1982; DIEGUES 1992).

Para um melhor entendimento da situação em que a sociedade atual encontra-se, há a necessidade de se rastrear o conceito de desenvolvimento até a obra de Adam Smith (século XVIII), onde a riqueza material surge como indicador do potencial produtivo das nações (DIEGUES 1992) e de onde surge a idéia e os conceitos de progresso e desenvolvimento a qualquer custo, caracterizados pela obtenção cada vez

maior de riqueza, não importando de que forma ela seria adquirida e quais seriam suas implicações posteriores.

Segundo CAPRA (1982), essa atitude caracteriza-se por uma tendência auto-afirmativa da nossa sociedade que fez com que a competição passasse a ser vista como a força propulsora da economia. Nesse contexto, a abordagem agressiva tornou-se um ideal no mundo capitalista, combinando-se a exploração dos recursos naturais com o objetivo de criar padrões de consumo competitivos.

Aliado a este conceito, supõe-se que os seres humanos direcionaram suas atividades à satisfação das suas necessidades básicas. Segundo JACOBI (1997), a complexidade dessa questão vem à tona quando nos defrontamos com a atuação de dois atores: de um lado, os consumidores, que mantêm seus hábitos de consumo e desperdício e, de outro, os produtores que os estimulam, garantindo assim, a rápida obsolescência dos materiais.

Segundo esse modelo clássico, a ação cíclica desses atores tem como mola propulsora a industrialização, que baseada na competitividade e aliada ao crescimento econômico, reforçou um modelo de desenvolvimento do descartável, da concentração de riqueza, do alto dinamismo econômico acompanhado de uma elevada desigualdade social, dos conflitos sociais e, principalmente, da imperícia ambiental.

Desta forma, o modelo de produção e consumo predominante nas sociedades industrializadas ocidentais caracteriza-se, primordialmente, pela sua irracionalidade quanto ao conceito de desenvolvimento sustentável, com grande rapidez na troca de matéria e energia, com uso ilimitado de recursos naturais e, conseqüentemente, altos índices de degradação ambiental.

Infelizmente, suas conseqüências não são sentidas apenas pela perda significativa de espécies animais e vegetais (biodiversidade), causando, certamente, distúrbios e desequilíbrios em todo o sistema. A degradação ambiental também interfere na degradação social do indivíduo, que por sua vez causa o aumento da pobreza e das desigualdades influenciando diretamente na diminuição da qualidade ambiental, fechando um ciclo

vicioso e negativo, onde todas as espécies, sejam elas vegetais ou animais, incluindo o homem, sofrem consequências negativas diretas.

Além disso, muitas vezes os problemas ambientais não se restringem apenas aos locais onde são gerados, mas podem eventualmente serem exportados para outras cidades – como no caso dos recursos hídricos –, outros estados – como por exemplo, as chuvas ácidas – e até outros países – considerando o efeito estufa -, representando um ônus global. Exemplos como estes podem ser facilmente identificados pela irresponsabilidade dos países mais industrializados frente aos distúrbios causados pelas suas ações. Esse descaso pode ser visto também quando da migração de indústrias para países onde a legislação ambiental é menos rígida e severa (CARVALHO e TELLA 1997).

Desta maneira, GUIMARÃES (1999) traduz de forma brilhante o pensamento capitalista atual:

Se há uma síntese possível para este final de século ela pode ser caracterizada pelo esgotamento de um estilo de desenvolvimento que se mostrou ecologicamente predatório (no uso de recursos naturais), socialmente perverso (na geração de pobreza e desigualdade), politicamente injusto (na concentração do poder), culturalmente alienado (em relação à natureza) e eticamente censurável (no respeito aos direitos humanos e aos das demais espécies). (p. 1)*

Portanto, a questão ambiental deve ser tratada de forma multidisciplinar onde todos os fatores, não só ambientais, mas socio-econômicos, culturais, políticos e de saúde pública façam parte de uma rede ampla e complexa de discussões sobre causas e efeitos, na tentativa de buscar soluções conjuntas e integradas.

Enquanto sustentabilidade pode significar a prerrogativa de manutenção, ou de reprodução, de uma dinâmica qualquer em um tempo e espaço definido (FIGUEIREDO

* Esse pensamento ainda é extremamente atual e deve ser considerado, infelizmente, para esse novo século.

2001), constatamos que a dinâmica imposta pelo homem no planeta não se sustenta a longo prazo, havendo a necessidade urgente de se buscar modelos compatíveis com os limites ambientais (DIEGUES 1992).

Segundo LEAL *et al* (1992), “um novo modelo de desenvolvimento não pressupõe a ausência de crescimento econômico, mas o seu direcionamento para atender às necessidades das pessoas em termos de qualidade de vida”.

Sendo assim, a partir das décadas de 60-70, as revisões das idéias, até então nunca discutidas, de progresso e desenvolvimento sustentável começaram a surgir e o conceito de sustentabilidade tornou-se mais forte e discutido em todos os âmbitos da sociedade humana e em todas as partes do mundo, principalmente na Europa.

Embora o termo “desenvolvimento sustentável” tenha surgido em 1980 e ter sido consagrado apenas em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente (conhecido como Comissão Brundtland), os diferentes interesses econômicos das nações ainda perpetuam e o desejado êxito nessa questão ainda está longe de ser atingido. Entretanto, segundo PELICIONI (1998), embora não esteja alcançado, o consenso do que se tornou *insustentável* atinge igualmente países ricos e pobres, desenvolvidos e subdesenvolvidos.

A exploração predatória dos recursos naturais, a perda de fauna e flora numa rapidez nunca vista anteriormente, o lançamento de esgotos e dejetos em quantidades alarmantes, a crescente produção de resíduos, o aumento progressivo da população mundial, dos níveis de pobreza e exclusão e as grandes catástrofes ambientais são faces de uma mesma crise que tem como base em comum um desenvolvimento a qualquer custo.

No caso dos resíduos sólidos, por exemplo, a sociedade moderna rompeu com os ciclos naturais de transformação e decomposição dos materiais que se reintegravam de forma natural pela ação de microorganismos decompositores. Além disso, não só a quantidade exerce influência direta na quebra desse ciclo, mas principalmente a atual composição dos resíduos que são formados, muitas vezes, por materiais que não são absorvidos naturalmente pelo meio.

Entretanto, CAVALCANTI (1996) sugere que

são visíveis os sinais de que o processo econômico global tende a esbarrar em restrições ambientais”. Em outras palavras, “a escassez ambiental termina por se fazer sentir com intensidade ascendente, seja porque o meio ambiente limita a atividade econômica como fornecedor de recursos (matéria e energia), seja porque sua capacidade de absorção de lixo é ultrapassada em muitas direções” (p. 320).

Na Figura 1 é demonstrado sucintamente o modelo de desenvolvimento utilizado pelo homem moderno e conseqüentemente algumas implicações ambientais. Esse modelo é determinado pela entrada de matéria e energia e a saída de resíduos – geralmente acompanhados de impactos ambientais –, caracterizando assim, um sistema aberto, com fluxo unidirecional, com uso de recursos e geração de resíduos ilimitados.

Figura 1. Modelo de desenvolvimento atual e suas implicações.

Adaptado de BRAGA et al (2002)

Da maneira como é apresentado, segundo BRAGA *et al* (2002), esse modelo, para garantir a sobrevivência das espécies como um todo, deveria partir das seguintes premissas: 1) um suprimento inesgotável de energia; 2) um suprimento inesgotável de matéria e 3) capacidade infinita do meio de reciclar matéria e absorver os resíduos. Segundo estes autores, considerando o primeiro ponto, podemos admitir que o Sol, como fornecedor de energia é uma fonte inesgotável mas, quanto a matéria, a premissa não se verifica, já que sua quantidade é finita e limitada. Nesse mesmo patamar podemos considerar a limitação do meio ambiente na capacidade de absorver e reciclar a matéria e os resíduos, causando um grave problema ambiental (poluição do ar, da água e do solo) e, conseqüentemente, a deterioração da qualidade de vida.

Esse tipo de modelo de desenvolvimento é seguido, na sua grande maioria, por países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, que acompanham àqueles que detêm o poder, representados pelo alto nível econômico. Desta forma, o controle econômico global concentrado nos países desenvolvidos e de certa forma intransigentes quanto a questão ambiental, dificultam as discussões que permeiam o tema.

Entretanto, segundo dados recentes, por motivos estritamente ligados à política externa assumida pelo atual governo americano, cresce no mundo uma onda de antiamericanismo, cercada por consumidores que assumem posições políticas, sociais e ambientais. Ou seja, segundo John Quelch, reitor da Escola de Administração de Empresas de Harvard, há o “...surgimento de um estilo de vida para os consumidores que tem grande apelo internacional e se baseia na rejeição do capitalismo americano, da política externa dos EUA e, conseqüentemente, das marcas americanas”. De acordo com o autor significa que é a primeira vez que se nota um queda vertiginosa no poder de marca dos produtos e serviços americanos (USBORNE 2003), demonstrando uma mudança de pensamento ante ao imperialismo americano exercido de modo agressivo principalmente em países em desenvolvimento como no caso do Brasil.

Na tentativa de se modificar o estado atual do planeta, surge uma mudança de valores ainda que tímida mas de extrema importância, que considera a reformulação de al-

guns hábitos de consumo, um exercício maior da cidadania e a busca por um desenvolvimento mais sustentável. Este papel é exercido brilhantemente pela Educação Ambiental, mesmo que a “passos lentos” – já que a educação deve ser contínua com resultados a médio e longo prazos – mas que começa a surtir efeito em algumas sociedades.

A Educação Ambiental propõe tratar o homem como parte integrante do seu meio, exercendo de modo contínuo sua cidadania, com mudanças radicais no seu estilo de vida, buscando cada vez mais e efetivamente uma melhor qualidade de vida, garantindo-a também às gerações futuras.

Além disso, diversos autores sugerem que a Educação Ambiental deve incorporar todas as dimensões, não só ambientais, mas sociais, econômicas, culturais, ecológicas e éticas para transformar-se em ação, com comportamentos ambientalmente adequados visando a melhoria do sistema atual de vida não só da população como um todo assim também como do planeta (DIAS 1994; REIGOTA 1994; PELICIONI 1998; PHILIPPI JUNIOR e PELICIONI 2000). Considerada ainda por muitos uma utopia, a introdução da Educação Ambiental no ensino Médio e Fundamental por meio dos temas transversais tem transformado essa atividade em um importante instrumento de educação de crianças, jovens e adultos.

Portanto, consideramos hoje a Educação Ambiental um forte aliado e um instrumento indispensável para a mudança de valores e atitudes em relação ao meio ambiente e as desigualdades sociais, e em relação aos resíduos sólidos seu papel é extremamente importante, na tentativa de inserir o homem no ambiente em que vive, fornecendo-lhe base e diretrizes para a discussão e intervenção, dando-lhe direitos e cobrando deveres no cuidado com o planeta.

Sendo assim, as práticas de coleta seletiva, compostagem caseira, oficinas e feiras com sucatas, reciclagem de papel, palestras e discussões educativas, permeiam o trabalho de educação ambiental na temática dos resíduos, onde são colocadas as responsabilidades de cada indivíduo como parte integrante de uma sociedade que necessita re- ver, urgentemente, seus padrões de consumo e suas relações com o meio ambiente e com outros seres, sejam eles humanos ou não.

Entendemos, portanto, que os problemas debatidos na nossa atualidade poderão encontrar alternativas e/ou soluções à luz dos conceitos de educação ambiental, por ser esse um dos melhores caminhos de contribuir para a melhoria das condições socioambientais, políticas e culturais da sociedade como um todo.

Contudo, para que essa melhoria seja efetiva, não só a educação basta, mas deve ser acompanhada pela tomada de decisão política, visando o interesse comum, com ações concretas e mais responsáveis.

Entretanto, a política e seus instrumentos que deveriam servir como base e diretrizes para as práticas de gestão, gerenciamento e educação da população, em geral, ainda encontram-se muito escassos no Brasil, prejudicando sobremaneira as práticas de melhoria da questão ambiental e qualidade de vida dos cidadãos (JACOBI e TEIXEIRA 1998).

Quanto aos resíduos, além da falta de uma política específica (a Política Nacional de Resíduos Sólidos encontra-se em fase de ante-projeto), existe ainda a necessidade de investimentos emergenciais que incentivem formas de tratamento alternativas que gerem menos impactos possíveis e sejam eficientes e ambientalmente seguros. Além disso, a sociedade como um todo deveria arcar com a responsabilidade sobre a geração e o tratamento dos resíduos, repensando suas atitudes e modificando hábitos nocivos a sua própria qualidade de vida.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos visa definir, entre outros temas, a responsabilidade dos diferentes setores da sociedade e mesmo dos indivíduos quanto à geração de resíduos com a aplicação de programas que visem estimular a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos. Além disso, a Política, por meio de diretrizes e normas, destaca a adoção de sistemas de gestão ambiental, a universalização do acesso e a auto-sustentabilidade dos serviços de limpeza urbana. Entre os fundamentos da Política Nacional estão: a descentralização político e administrativa; a integração das ações nas áreas de saneamento, meio ambiente, saúde pública e ação social; a participação da sociedade; a responsabilidade dos geradores no gerenciamento dos resíduos sólidos além da

responsabilização pós-consumo do fabricante e/ou importador pelos produtos e respectivas embalagens ofertados ao consumidor final (HAMADA 2004).

Desta forma, cabe a nós, cidadãos, cooperarmos para a melhoria da situação dos resíduos sólidos no nosso país, cobrando das autoridades públicas o seu papel e exercendo com mais cidadania o nosso.

1.1.2 Evolução na Geração de Resíduos e a Problemática Ambiental e de Saúde Pública

O homem atual modifica seu ambiente nas mais variadas formas de vida. Inicialmente, quando as comunidades eram menores, essas mudanças eram pouco significativas, o ser humano vivia em pequenas comunidades, retiravam insumos somente para sua sobrevivência e os resíduos produzidos eram praticamente orgânicos, o que não causavam o desgaste do solo e a poluição das águas e da atmosfera. Além disso, os resíduos eram devolvidos à natureza de forma lenta e em pequenas quantidades (GONÇALVES 1997).

Do ponto de vista histórico, os problemas relacionados aos resíduos surgiram a partir do momento em que o homem passou a viver em grupos, fixando-se em determinados lugares, abandonando, assim, seu hábito nômade (SCHALCH e MORAES 1988).

A solução adotada antigamente para o descarte de resíduos era o transporte para os locais mais afastados das aglomerações humanas, o enterramento e até o uso do fogo como método de destruição de restos inaproveitáveis. Até hoje, após séculos de “evolução” humana, esses métodos ainda são utilizados, com a diferença primordial que o primitivo cedeu lugar ao tecnológico e a natureza, que antes era protegida, hoje é ameaçada.

Um exemplo simples encontrado na literatura sobre a disposição de resíduos, foi durante a existência da civilização Minoan, em Creta (3000 a 1000 a.C.), onde os resíduos sólidos na capital de Knossos eram depositados em grandes covas com intervalos de cobertura de terra. Em contrapartida, os romanos não possuíam um sistema organizado de remoção de resíduos, sendo a sua disposição em ruas e ao redor de cidades e vilas, prática esta persistindo até o século XIX (WILSON 1976).

Segundo WILSON (1976), as mudanças mais expressivas que ocorreram em relação aos resíduos sólidos foram em torno de suas características físicas, sendo que estas não foram acompanhadas da evolução nos métodos de tratamento e gerenciamento. Além disso, os problemas de disposição de resíduos tornaram-se cada vez mais difíceis com o aumento da densidade populacional. Semelhantemente aos dias de hoje, há maior geração de resíduos por unidade de área e a diminuição proporcional dos locais disponíveis para sua deposição. Portanto, segundo o autor, a história do gerenciamento dos resíduos sólidos é amplamente conectada ao desenvolvimento das grandes cidades.

Analisando esse fato nos últimos três séculos (principalmente desde os meados do séc. XVIII até os dias atuais), nota-se a concomitância de causas e efeitos entre o aumento populacional e as questões ambientais mais relevantes, principalmente após o início da Revolução Industrial.

Historicamente, a Revolução Industrial tornou-se uma era sem precedentes para os meios de produção, influenciando de forma definitiva a geração de capital, afetando diretamente os modelos econômicos e sociais. Três fatores foram essenciais para sua sustentação: a existência de mão-de-obra disponível, o acúmulo de capital e o fácil acesso aos recursos naturais (BENIGNO 2003; GALVÊAS, 2003). Aliado a esses fatores, e sem menos importância, temos o conhecimento científico e a descoberta de novos materiais, que proporcionou o início do fenômeno da industrialização mundial.

Segundo DIAS (2000), é justamente com a Revolução Industrial que os problemas com a produção de resíduos intensificaram-se, além da geração de subprodutos tóxicos dos processos de produção. Nessa época, a falta de conhecimento sobre o potencial poluidor dos resíduos sólidos urbanos e industriais geraram os primeiros casos de poluição e degradação ambiental.

Além disso, a Revolução Industrial e sua conseqüente “era do consumo”, caracterizado principalmente pelos tempos atuais, privilegiou a produção em massa de produtos com grande rapidez de troca, aumentando exageradamente a produção de resíduos.

Notadamente, os métodos de tratamento de resíduos não evoluíram na mesma intensidade e os pequenos avanços ocorreram apenas no século passado.

GOLUEKE e DIAZ (1996), por meio de uma revisão histórica identificaram três períodos básicos sobre o gerenciamento de resíduos urbanos, dividindo-os entre os anos 1930-40, 1950-60 e 1970 até os dias atuais.

Segundo esses autores, no período de 1930-40, destacou-se a pequena prioridade dada ao processo de disposição e gerenciamento de resíduos sólidos. Muitos fatores contribuíram para essa situação, dentre eles encontram-se três principais: 1) a percepção dos impactos negativos da sua disposição era altamente localizada (pontual), ou seja, sentida apenas por uma pequena parcela da população; 2) embora os resíduos aparentassem um aspecto repulsivo, o nível de exigência da população era muito menor do que nos tempos atuais e 3) os recursos naturais renováveis eram considerados abundantes, moderadamente acessíveis e praticamente inesgotáveis.

Nesse período, apesar de algumas oposições, o método de disposição a céu aberto era comumente empregado. Embora apresentasse uma tecnologia primitiva, o custo dessa disposição convencional estava bem abaixo daquela apresentada pela compostagem, que já era utilizada por poucos, principalmente àqueles preocupados com a qualidade do meio ambiente e a conservação e proteção dos recursos. Uma característica do manejo dos RSU, que poderia ter sido benéfica a compostagem, era a separação do “lixo úmido” do “lixo seco”, uma prática tanto quanto comum naquele tempo. O principal motivo, segundo GOLUEKE e DIAZ (1996), era econômica já que o “lixo úmido” era vendido aos criadores de porcos como fonte de alimentos a esses animais.

Entre as décadas de 40 e 50, de acordo com CARVALHO e TELLA (1997), ocorreram mudanças profundas no comportamento consumista dos indivíduos devido a um rápido desenvolvimento capitalista no pós-guerra, principalmente nos países industrializados. Nessa época, os EUA internacionalizaram suas indústrias e juntamente seus padrões de consumo, incentivando a produção de descartáveis.

O período de 1950-60, apresentou significativos desenvolvimentos na indústria alimentícia nos EUA ocasionando conseqüências no gerenciamento dos resíduos sólidos. A rápida mudança da chamada “comida enlatada” para a congelada tornou-se um meio mais eficiente de preservação e distribuição dos alimentos, reduzindo bruscamente a produção dos resíduos orgânicos. Outros motivos que levaram a diminuição da produção dos resíduos orgânicos foram, primeiramente, a expansão no número dos moedores de lixo instalados logo abaixo da pia e a proibição pelas agências regulatórias do uso de materiais crus como fonte de alimentos para animais, contribuindo para o desaparecimento da separação dos resíduos iniciada na década passada (GOLUEKE e DIAZ 1996).

Quanto aos avanços na tecnologia do manejo dos RSU nesse período introduziu-se o veículo de coleta com compartimento fechado, substituindo o caminhão aberto. Em contrapartida, a disposição a céu aberto continuou sendo o método mais usual de deposição dos resíduos, embora tivesse havido um aumento da consciência do impacto perigoso tanto na saúde pública, quanto na qualidade do meio ambiente e conservação dos recursos. Apesar da principal razão dessa atividade ser econômica, o reconhecimento que a questão monetária era somente ilusória teve como repercussão algumas medidas – ao menos paliativas –, que proibiam a queima a céu aberto, além da imposição de alguns locais que restringiam a disposição dos resíduos (GOLUEKE e DIAZ 1996).

O terceiro período apresentado pelos autores GOLUEKE e DIAZ (1996) considera a década de 1970 até os dias atuais. Esse intervalo de tempo foi marcado por avanços significativos quanto ao manejo dos resíduos sólidos municipais. Dentre as mudanças apresentadas, a principal foi a apreciação dos inerentes perigos impostos pelos resíduos sólidos municipais, levando-se em conta a qualidade do meio, o bem estar público e a proteção da água, do ar, do solo e dos recursos naturais. Essas mudanças foram tão significativas que a chamada “engenharia sanitária” cedeu lugar ao que denominamos hoje de “engenharia ambiental”, um modo mais completo e holístico de interpretar os impactos advindos da atividade humana. Desta maneira, percebeu-se o real custo dos impactos da explosiva expansão urbana e os efeitos a longo prazo da poluição do ar, da água e do solo.

A disposição a céu aberto cedeu lugar aos aterros sanitários e nesse período houve um drástico aumento na produção de biosólidos, que por sua vez, contribuiu para uma expansão na prática da compostagem (GOLUEKE e DIAZ 1996).

Embora a mudança para os aterros sanitários tenha se tornado algo extremamente positivo no gerenciamento dos resíduos sólidos, medidas de precaução deveriam ser tomadas para evitar as contaminações, principalmente das águas subterrâneas (GOLUEKE e DIAZ 1996). Desde então, as medidas de manutenção e monitoramento dos aterros sanitários servem como uma barreira para regularizar legalmente a sua utilização e evitar que possíveis danos ao ambiente sejam efetivados.

Outro fator de importância no gerenciamento dos resíduos durante esse período foi a crise energética que assolou o mundo. Como consequência, os resíduos sólidos começaram ser vistos, por muitos especialistas, como uma fonte em potencial de energia, principalmente nos Estados Unidos, culminando em quantidades expressivas de pesquisas ao redor desse tema. A incineração, a pirólise e a produção de combustível a partir do resíduo (RDF) eram considerados sistemas em potencial para serem estudados (DIAZ *et al.* 1982, GOLUEKE e DIAZ 1996).

Nos dias atuais, os resíduos são produzidos em grandes quantidades, com composição variada e a introdução de moléculas produzidas sinteticamente pelo homem, por um lado provocando uma evolução sem precedentes nos padrões de consumo, por outro, provocando um efeito avassalador no seu tratamento e disposição, demonstra o grau de complexidade do tema.

Considerando que a grande quantidade de resíduos está intimamente associada a uma enorme variabilidade da sua composição, em nenhuma fase do desenvolvimento humano produziu-se tanto material a ser disposto e que não deve mais ser abandonado ou enterrado sem tratamento.

Portanto, os resíduos sólidos são um complexo emaranhado de tipos, composições e fontes de geração como pode ser analisado na tabela 1, necessitando de disposições e/ou tratamentos diferenciados. Além disso, existem outros tipos de classificação dos re-

síduos que podem ser divididos por sua natureza física, química e pelos riscos potenciais ao meio ambiente (D'ALMEIDA e VILHENA 2000):

- **Por sua natureza física:** seco e molhado
- **Por sua composição química:** matéria orgânica e matéria inorgânica
- **Pelos riscos potenciais ao meio ambiente:** perigosos, não inertes e inertes (ABNT 1987).

Tabela 1. Resíduos sólidos urbanos divididos por tipo, composições e fontes.

Tipo	Componente	Fontes Primárias
Resíduos Orgânicos	Resíduos de alimentos, de supermercados, de estoques	Domicílios, mercearias, supermercados, restaurantes, feiras livres
Resíduos de Jardinagem	Resíduos de poda e de jardinagem	Parques, jardins, domicílios
Resíduos Industriais	Resíduos tóxicos, altamente inflamáveis, materiais radioativos e explosivos, efluentes, cinzas	Indústrias e fábricas em geral, incineradores
Resíduos de Serviços de Saúde	Resíduos patogênicos, radioativos, químicos, quimioterápicos, infectantes, equipamentos médicos descartados, restos de animais	Hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análises clínicas, farmácias, postos de saúde
Animais Mortos	Cães, gatos, cavalos e outros	Ruas, clínicas veterinárias
Resíduos de Limpezas de Ruas	Resíduos de varredura, pó, folhas, conteúdos de lixeiras	Ruas e calçadas dos municípios
Resíduos de Construção e Demolição	Sobras de madeiras, canos de plásticos, tubos, blocos de concreto e argamassas	Locais de demolição, reformas e construções em geral
Entulho	Móveis, madeiras, restos de construção, materiais plásticos	Domicílios, centros comerciais e indústrias

Fonte: Modificado DIAZ, L. F. et al., 1993.

SCHALCH *et al.* (nd) apresentam um outro tipo de classificação segundo o grau de biodegradabilidade dos resíduos:

- **Facilmente Degradáveis:** matéria orgânica
- **Moderadamente Degradáveis:** papel, papelão e outros produtos celulósicos
- **Difícilmente Degradáveis:** trapo, couro, borracha e madeira
- **Não-Degradáveis:** vidro, metal, plástico, pedras, terra e outros.

Além da composição, a complexidade dos diferentes tipos de resíduos que necessitam ser tratados diariamente, deve-se ainda levar em conta os graus de periculosidade e toxicidade. No caso dos resíduos sólidos urbanos, mesmo sendo definidos como classe II* pela NBR 10004 (ABNT 1987), podem eventualmente produzir percolados potencialmente perigosos trazendo prejuízos ambientais.

Segundo FERREIRA (2000), até poucos anos atrás, os resíduos sólidos domiciliares (RSD) eram considerados como de pequeno risco para o ambiente, pois continham basicamente resíduos orgânicos e outros materiais pouco impactantes. Entretanto, a introdução de novos produtos de composição variada em quantidade crescente no mercado e o desconhecimento dos impactos decorrentes de sua disposição, pode-se considerar que os RSD representam, atualmente, um potencial poluidor já que apresentam itens classificados como perigosos, como por exemplo, os citados na tabela 2.

O que torna esses materiais potencialmente perigosos é a presença de quantidades significativas de substâncias químicas nocivas ao meio ambiente e aos seres vivos, substâncias essas que podem se acumular nos tecidos vivos, atingindo níveis perigosos para a saúde. Alguns exemplos são o mercúrio, encontrado em produtos farmacêuticos e lâmpadas fluorescentes, o cádmio em pilhas e baterias e o chumbo em inseticidas e tintas. Esses metais, como são denominados, podem surtir efeitos deletérios como lesões neu-

*Classe II (Não inertes): podem apresentar propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém não se enquadram como resíduos classe I ou III.

Tabela 2. Resíduos domésticos potencialmente perigosos.

Tipos	Produtos
Material para Pintura	Tintas, Solventes, Pigmentos e Vernizes
Materiais para Jardinagem e Animais	Pesticidas, Inseticidas, Repelentes, Herbicidas
Materiais Automotivos	Óleos Lubrificantes, Fluidos de Freio, Baterias
Outros Itens	Pilhas, Frascos de Aerossóis e Lâmpadas Fluorescentes, Produtos de Limpeza, Medicamentos Vencidos

Fonte: Modificado GOMES E OGURA (1993).

rológicas, deficiências nos órgãos sensoriais, distúrbios, perda de memória e até efeitos mutagênicos (MMA/IDEC 2002).

No entanto, por décadas e décadas o processo de industrialização foi considerado o principal gerador de resíduos perigosos juntamente com resíduos de serviços de saúde. Atualmente, sabe-se que os resíduos sólidos, qualquer que seja sua natureza (domésticos, industriais, infectantes, outros), atingem diretamente a saúde da população e do meio ambiente, principalmente quando não são dispostos e tratados com medidas sanitárias adequadas.

Segundo dados do DIARIO OFICIAL (2004), o Brasil concentra 3% da população mundial, sendo responsável por cerca de 6,5% da produção de resíduos no mundo.

De acordo com GÜNTHER e RIBEIRO (2003), o aumento na geração de resíduos sólidos urbanos no país tem como causas o crescimento da população urbana, a melhoria do poder aquisitivo e a maior oferta e diversificação de bens e serviços com a incorporação do uso de materiais descartáveis.

Dados fornecidos do IBGE (2002) sobre a destinação final dos resíduos no Brasil demonstram ainda uma situação alarmante, apesar dos pequenos avanços nos últimos anos. Do total de resíduos coletados diariamente no país, 40,5% possuem um destino adequado contra 59,5% que ainda são dispostos inadequadamente.

Tabela 3. Quantidade de resíduos coletados diariamente no Brasil e suas unidades de destino final.

Destinação Final dos Resíduos Coletados	Quantidade de Resíduos Coletados (t/dia)	%
Vazadouro a céu aberto (lixão)	48.321,7	21,1
Vazadouro em áreas alagadas	232,6	0,10
Aterro controlado	84.575,5	37,0
Aterro sanitário	82.640,3	36,2
Estação de Compostagem	6.549,0	2,80
Estação de triagem	2.265,0	0,99
Incineração	1.031,8	0,45
Locais não fixos	1.230,2	0,53
Outra	1.566,2	0,68
TOTAL	228.413,0	100

Fonte: IBGE (2002).

Segundo os Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IBGE 2002), do total coletado no país, cerca de 228.413 toneladas/dia de resíduos, seguem as principais vias de disposição e/ou tratamento apresentadas na tabela.3.

Analisando os dados, nota-se que é praticamente inexpressiva a quantidade de resíduos pós-uso que são reaproveitados por meio da reciclagem, devido a pequena quantidade coletada seletivamente. O processo de compostagem como forma de tratamento dos resíduos, por exemplo, compreende apenas 2,8% do total coletado no país. Os dados apresentados apontam uma situação preocupante: apesar dos pequenos avanços* a falta de tratamento e/ou disposição inadequada de resíduos é um dos grandes causadores de poluição ambiental tendo consequências diretas e indiretas na saúde da população em geral.

* Em 1991, a mesma pesquisa realizada pelo IBGE apontava que 76% dos resíduos eram depositados a céu aberto, 13% em aterros controlados, 10% em aterros sanitários, 0,9% tratados em usinas de compostagem e apenas 0,1% incinerados (IBGE 1991).

Além disso, a disposição a céu aberto, caracterizadamente em lixões ou vazadouros e mesmo em aterros controlados, sempre foi considerada a maneira menos custosa de deposição dos resíduos sólidos em detrimento aos custos ambientais dessa atividade.

Alguns efeitos adversos dessa prática são apresentadas a seguir:

Impactos Negativos na Saúde da População

Existe uma total inter-relação entre as alterações do meio ambiente e a qualidade de vida dos indivíduos. Dentre as várias manifestações que essas alterações podem causar, as mais freqüentes e de fácil percepção são os agravos à saúde das pessoas (PELICIONI *et al.*, 2000) e isso pode ser percebido claramente quando tratamos dos resíduos sólidos urbanos.

Segundo AZEVEDO *et al.* (2001), apesar de amplamente reconhecida, tanto no meio técnico quanto no científico, a importância dos efeitos e a associação entre os fatores da disposição dos resíduos sólidos sobre a saúde pública não tem sido objeto de muitos estudos e pesquisas além de ficar relegada a níveis secundários pelas políticas públicas.

Como causas diretas de doenças, a importância epidemiológica dos resíduos sólidos não está conclusivamente comprovada (OLIVEIRA 1982) ao passo que, como fator indireto, vários autores como FORATTINI (1969), OLIVEIRA (1978), ROCHA e LINDENBERGER (1990), HELLER (1995), CATAPRETA (1997) e MORAES (1998) reconhecem sua importância na transmissão de doenças (AZEVEDO *et al.* 2001) (FIGURA 2).

Figura 2. Vias de acesso de agentes patogênicos para o homem através dos resíduos “in natura”.

Fonte: Adaptado de ROCHA (1980).

A transmissão de doenças via resíduos sólidos se dá pelo fato de que, quando dispostos e/ou tratados inadequadamente, os locais que servem para disposição de resíduos (lixões e vazadouros) podem abrigar ou tornarem-se criadouros de muitos vetores de importância epidemiológica que se tornam veiculadores ou reservatórios (mecânico ou biológico) de moléstias (GÜNTHER e RIBEIRO 2003), pois transmitem ao homem di-

Tabela 4. Principais doenças transmitidas por vetores presentes em locais de disposição inadequada de resíduos.

Vetores	Formas de Transmissão	Principais Doenças
Ratos	Através da mordida, urina e fezes. Através da pulga que vive no corpo do rato	<ul style="list-style-type: none"> • Peste bubônica • Tifo Murino • Leptospirose
Moscas	Por via mecânica (através das asas, patas e corpo) Através das fezes e saliva	<ul style="list-style-type: none"> • Febre Tifóide • Salmonelose • Cólera • Amebíase • Desintéria • Giardíase
Mosquitos	Através da picada da fêmea	<ul style="list-style-type: none"> • Malária • Leishmaniose • Febre Amarela • Dengue • Filariose
Baratas	Por via mecânica (através das asas, patas e corpo) e pelas fezes	<ul style="list-style-type: none"> • Febre Tifóide • Cólera • Giardíase
Suínos	Pela ingestão de carne contaminada	<ul style="list-style-type: none"> • Cisticercose • Toxoplasmose • Teníase • Triquinelose • Diarréia
Aves	Através das fezes	<ul style="list-style-type: none"> • Toxoplasmose • Histoplasmose

Fonte: Funasa (1999), Azevedo *et al.* (2001).

versas enfermidades que podem causar até a morte, conforme apresentadas na tabela 4. Além disso, segundo ROCHA (1980), quando os resíduos encontram-se disponíveis, servem como fonte de alimento pelo seu alto conteúdo energético oferecendo condições adequadas à proliferação.

Conforme apresentado são muitas as doenças que podem atingir a população exposta aos resíduos. Um estudo realizado por AZEVEDO *et al.* (2001) estabeleceu uma detalhada associação entre a disposição dos resíduos sólidos e seus efeitos sobre a saúde da população, demonstrando a alta complexidade dessa relação e os altos riscos aos quais a população está sujeita quando os resíduos não são tratados de maneira sanitariamente adequada.

Antigamente, a prática de dispor os resíduos em locais a céu aberto, como ruas, praças e próximos a habitações levou as autoridades sanitárias a correlacionar os surtos epidêmicos com a disposição inadequada de resíduos, passando esse tema ser objeto de maior atenção (SISINNO 2000), mas que, segundo AZEVEDO *et al.* (2001), ainda não permitem a adoção de práticas de gestão mais efetivas que considerem os aspectos epidemiológicos voltados a melhoria da saúde nos municípios brasileiros.

Impactos Negativos no Meio Ambiente

Assim como a saúde da população, o meio ambiente sofre conseqüências diretas com a falta de medidas sanitárias adequadas em relação aos resíduos.

O solo sempre foi considerado um receptáculo natural para disposição final de resíduos sólidos produzidos pelas atividades humanas (RODRIGUES 1996). O problema está na sua quantidade que aumenta consideravelmente a cada década e que solo não consegue absorver na mesma velocidade de recepção. Outro grave problema é a composição gravimétrica desses resíduos que são constituídos de materiais que não são absorvidos de forma natural pelo ambiente, seja pela sua composição química, pela mistura de diferentes materiais em um mesmo produto, ou ambos. Exemplos são facilmente identificados nos RSU como plásticos, vidros e embalagens tipo Tetrapak®.

A necessidade sanitária de dispor os resíduos em algum local de forma rápida e com menor investimento fez com que houvesse a disseminação dos chamados aterros e lixões que, como dito anteriormente, afetam de maneira agressiva o solo, a água e ao ar. No Brasil, há ainda um fator importante que não deve ser desconsiderado: a grande disponibilidade de áreas passíveis para despejo de resíduos disponíveis na grande maioria dos municípios brasileiros. Em contrapartida, as metrópoles brasileiras já sofrem com a falta de locais para serem transformados em depósitos de resíduos, o que eleva sobremaneira os custos para sua disposição em locais mais afastados das aglomerações urbanas.

Quando consideramos os efeitos negativos no solo e na água da atividade de dispor os resíduos inadequadamente, a produção de chorume se mostra como um dos grandes responsáveis pelo impacto nesses dois meios.

O chorume é gerado pelo processo de decomposição natural da massa orgânica dos resíduos e pelo líquido lixiviado originado das chuvas que percolam através do solo e atingem as águas superficiais e subterrâneas. É considerado potencialmente tóxico pela presença de metais pesados, possui coloração negra e odor característico, sendo extremamente concentrado com DBO acima de 20.000 mg/L (SCHALCH e MORAES 1988) devido a sua alta carga orgânica.

A geração do chorume em locais de disposição de resíduos, segundo SCHALCH e MORAES (1988) e OLIVEIRA e PASQUAL (2000), varia conforme as condições peculiares de cada caso e depende de uma série de fatores, por exemplo: as condições meteorológicas do local, como umidade e regime e intensidade de chuvas; geologia e geomorfologia, que incluem escoamento, grau de compactação e capacidade de retenção de umidade do solo; topografia e, principalmente, a natureza dos resíduos.

Quando há o tratamento do chorume, este é realizado, quase sempre, em lagoas de estabilização ou com filtros biológicos que diminuem seu potencial poluidor, sendo possível seu retorno em cursos d'água. A preocupação, no entanto, se refere quando esse subproduto da decomposição dos resíduos não sofre nenhum tipo de tratamento.

Em muitos casos é utilizado a recirculação de chorume e segundo HAMADA e ABEICHE (2001), essa atividade praticamente elimina o sistema de tratamento de chorume, uma vez que reduz o seu volume de forma drástica. Esse tipo de constatação é feita para tratamento dos resíduos em aterros sanitários.

A água também pode ser afetada pela poluição física, que inclui o aumento de turbidez, a formação de bancos de lodo e alteração da temperatura. No caso da poluição química incluem mudanças da coloração das águas e acidificação. Biologicamente, a contaminação pode ocorrer pela presença de bactérias, vírus, protozoários e helmintos (AZEVEDO *et al.* 2001).

Outro tipo de contaminante ambiental, mas que traz prejuízos consideráveis ao ar, são os gases expelidos pela fermentação da massa orgânica dos resíduos. A produção de gases, principalmente gás metano (CH_4), também denominado biogás, e o dióxido de carbono (CO_2) ocorre pela decomposição anaeróbia dos resíduos e pode durar até alguns anos após sua deposição, dependendo das características do material (SCHALCH e MORAES 1988).

Esses gases são produzidos por microorganismos dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez em um ambiente livre de oxigênio (SCHALCH e MORAES 1988). O metano é também altamente inflamável em concentrações de 5 a 15%, e, por esse motivo, há ocorrências de explosões em habitações que foram construídas sob antigos locais de disposição de resíduos. Contudo, esse gás pode ter utilização energética e muitos estudos estão sendo realizados no Brasil com essa finalidade.

Um importante fator que não deve ser desconsiderado é que quando não utilizados de forma eficiente, esses gases contribuem para o efeito estufa e a prática de dispor os resíduos inadequadamente colabora com esse fato.

Finalizando, existem outras conseqüências adversas da disposição inadequada de resíduos que podem ser destacadas pela desvalorização espacial em torno dos locais de disposição, incluindo o comprometimento da área e da afluência turística; a poluição visual causada pelo acúmulo de resíduos; o odor característico gerado pela massa residu-

al e o conseqüente custo para a recuperação ambiental da área degradada (BARREIRA 2000; AZEVEDO *et al.* 2001).

Desta forma, nota-se a gama de problemas que envolvem os resíduos, não só em termos ambientais, mas também sociais e de saúde pública. A questão merece ainda maior atenção quando consideramos a falta de preparo do Poder Público para lidar com o problema de forma integrada, a carência de profissionais especializados no tratamento dos resíduos contribuindo para minimizar as fontes de poluição, além do desconhecimento por parte da população quanto aos riscos potenciais que os resíduos podem eventualmente causar.

1.1.3 Formas de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos

Urbanos

Dentre tantos problemas ambientais, a produção exacerbada de resíduos é só mais um que aflige a humanidade no século XXI. Embora a última década tenha sido decisiva em relação à gestão ambiental no Brasil (PHILIPPI JUNIOR 1999), muito ainda falta a ser feito na área de resíduos, principalmente porque de acordo com FERREIRA (2000), sua disposição inadequada é o principal fator responsável pelos impactos no ambiente e na saúde pública, principalmente nos países da América Latina e Caribe.

Todavia, as conseqüências ambientais advindas do acelerado processo de transformação da sociedade contemporânea - incluindo a produção de resíduos, contaminação ambiental e exaustão dos recursos naturais - foram sentidas recentemente, sobretudo a partir dos anos 70 e, somente a partir desse período, é que começaram a ser objeto de maior atenção por parte dos governos e das organizações comunitárias (CALDERONI 1997).

Portanto, segundo SCHALCH *et al* (1995),

O gerenciamento de resíduos sólidos é uma necessidade premente, que cada vez mais se coloca na ordem do dia, constituindo uma questão polêmica e controvertida, representando uma séria preocupação para as diferentes nações em distintos momentos da sua história (p.311).

De qualquer modo, o gerenciamento dos resíduos sólidos é uma necessidade visível. Dentre as opções de um gerenciamento adequado e ideal estão a redução na fonte, a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a combustão com geração de energia e a disposição em aterros. Um manejo integrado desses resíduos deve basicamente utilizar essas alternativas de modo conjunto, e não individualmente, como é muito comum nos municípios brasileiros. Como consequência dessa interação pode-se resultar em uma diminuição do problema de disposição dos resíduos urbanos, além da reciclagem possibilitar a produção de um material de mais alto valor econômico do que simplesmente a queima ou aterragem (LEÃO 1997).

Contudo, esse gerenciamento não é simples e deve ser elaborado articuladamente com ações normativas, operacionais e de planejamento levando-se em conta critérios sanitários, ambientais e econômicos (D'ALMEIDA E VILHENA 2000). Segundo HAMADA (2004), não se deve focalizar ou comparar alternativas individuais mas sim, sintetizar os sistemas de manejo de resíduos atuando sobre todo o fluxo, comparando os tratamentos do ponto de vista ambiental e econômico.

Entretanto, todas as opções oferecidas para um adequado gerenciamento dos resíduos possuem tantos pontos positivos quanto negativos e devem ser analisados considerando a potencialidade de cada região. GONÇALVES (1997), SCHALCH et al. (nd) e BARREIRA (2000), apontam as principais vantagens e desvantagens em relação aos tipos de tratamento adotados pela maioria dos municípios brasileiros:

Lixão

Conceito: Local onde o lixo urbano ou industrial é acumulado de forma rústica, a céu aberto, sem qualquer tratamento, sendo na maioria, clandestinos.

Vantagens: a curto prazo apresenta os custos mais baixos para a disposição dos resíduos, pois não há tratamento dos materiais nem ao menos controle da área.

Desvantagens: contamina a água, o ar e o solo e traz inúmeros prejuízos para a saúde pública, como já discutido anteriormente.

Aterro sanitário

Conceito: segundo a norma NBR 8419 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1984), aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos consiste na técnica de disposição no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método consiste na utilização de princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível. Ao final de cada jornada de trabalho ou em intervalos menores, os resíduos são cobertos com uma camada de terra. GONÇALVES (1997) aponta que o aterro sanitário deve ter o solo impermeabilizado e contar com sistema de drenagem e coleta de chorume.

Vantagens: solução econômica, podendo ocupar áreas já degradadas como antigas mineradoras; aceita qualquer tipo de resíduo sólido; na cobertura dos resíduos usa-se equipamentos normalmente utilizados em serviços de terraplanagem; controla a proliferação de vetores; diminui a ação dos catadores e é indispensável, mesmo adotando-se outras formas de tratamento.

Desvantagens: tem vida útil curta; se não houver controle, pode receber resíduos de serviço de saúde e industriais; não há recuperação de materiais recicláveis; disponibilidade de terra para cobertura em quantidade limitada; se mal gerenciado pode acarretar os mesmos danos apresentados pelos lixões.

Usinas de compostagem

Conceito: local onde os materiais orgânicos (restos de preparo de alimentos e jardinagem) provenientes do lixo doméstico são separados dos materiais inertes (vidro, plástico, alumínio) e levados a locais apropriados (pátios de compostagem, silos, tambores rotativos) para sofrerem processo de degradação controlada para produção do composto.

Vantagens: transforma os resíduos orgânicos de origem vegetal e animal – que em seu estado natural não têm praticamente nenhum valor – em adubo; se o tratamento for adequado (separação de materiais biodegradáveis, tempo de retenção da matéria orgâ-

nica, aeração), o composto torna-se um excelente adubo orgânico e pode ser utilizado na agricultura ou atividades correlatas; reduz a quantidade de resíduos a serem dispostos no aterro sanitário e facilita a ação de compra/venda entre sucateiros e indústrias recicladoras.

Desvantagens: as usinas de compostagem, quando gerenciadas de forma incorreta e dentro dos limites urbanos, podem causar transtornos às áreas vizinhas, como mau cheiro e proliferação de insetos e roedores (como por exemplo, a Usina de Compostagem da Vila Leopoldina, interditada em setembro de 2004 em decorrência de reclamações da vizinhança do entorno da usina); segundo diversos autores, a compostagem depende integralmente da coleta seletiva e o composto só será de boa qualidade se for livre de impurezas e metais pesados tão presentes em nossos resíduos; quando o processo de compostagem não é bem praticado, ou seja, sem separação de resíduos inertes, sem revolvimentos periódicos e sem o tempo necessário para total degradação da matéria orgânica, o composto produzido se torna de baixa qualidade causando queda no seu preço, não pagando pelos custos da sua produção.

Incineração

Conceito: local onde é feita a queima controlada do lixo inerte. A utilização do calor dos incineradores na produção de energia é uma prática comum na Europa, Japão e EUA, que paralelamente à solução do problema direto dos resíduos em geral (urbanos, de serviços de saúde, industriais e outros) resolvem em parte a crise de energia nesses países (LEÃO 1997).

Vantagens: reduz consideravelmente o volume de resíduos, transformando esse material em escória e cinzas de fácil destinação final; não há necessidade de áreas muito extensas podendo o incinerador se localizar em áreas próximas aos centros urbanos; possibilidade de recuperação de energia e elimina satisfatoriamente sob o ponto de vista sanitário, os resíduos considerados potencialmente perigosos como os RSS e os industriais.

Desvantagens: necessidade de investimento elevado; altos custos na operação e manutenção; possibilidade de danos atmosféricos por meio do lançamento de gases poluentes (dioxinas e furanos); exigência de mão-de-obra especializada na sua operação e, no caso do Brasil, a incineração é particularmente dificultada em função da elevada umidade presente nos resíduos sólidos urbanos.

Reciclagem

Conceito: a reciclagem consiste no reaproveitamento de materiais, seja no mesmo processo que os originou ou num outro que resultará em um produto com características diferentes do material de origem, apresentando uma ou mais possibilidades de utilização (LEÃO 1997).

Vantagens: o reaproveitamento de materiais evita que os recursos renováveis e não-renováveis sejam utilizados para manufatura de novos produtos; enorme economia de água e energia em comparação à produção com matéria-prima virgem; geração de empregos e possibilidade de lucro.

Desvantagens: o processo de reciclagem possui um custo muito elevado, além da necessidade de uma logística extremamente cuidadosa; a distância entre as fontes geradora e recicladora é um fator decisivo na viabilidade econômica da reciclagem dos materiais; a falta da coleta seletiva inviabiliza os processos de reaproveitamento e isso está diretamente interligado com uma educação ambiental freqüente, contínua e realmente efetiva; sem a colaboração e investimentos dos munícipes é quase impossível a viabilidade do processo.

No caso da reciclagem, deve ser salientado, no entanto, que a lógica mercantilista não leva em consideração os ganhos em termos ambientais do reaproveitamento de matérias-primas. A longo prazo, como já indicado na Agenda 21 a reciclagem é uma das estratégias fundamentais para alcançarmos o objetivo de uma sociedade verdadeiramente sustentável (UNCED 1992).

A hierarquia imposta pela Política Nacional de Resíduos Sólidos quanto ao seu manejo, tem a minimização de resíduos em primeiro plano, seguido pelo reuso, reciclagem

de materiais (incluindo a compostagem), a recuperação de energia, incineração e, por último, os aterros sanitários (HAMADA 2004).

Enquanto nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento as discussões ainda permeiam o tema com poucas ações concretas no setor, a tendência atual dos países desenvolvidos é direcionar-se cada vez mais para uma diminuição na produção de resíduos que possui pontos positivos em diversas esferas, determinando a inter-relação entre os fatores econômicos, ambientais e sociais, não podendo mais ser tratados isoladamente, mas sim de uma forma sistêmica e interligada.

Considerando em primeiro plano a questão econômica, a diminuição na quantidade de resíduos gerados pressupõe um menor custo de produção de materiais de consumo, com menor retirada de matérias-primas para sua constituição. Além disso, com menor quantidade de resíduos há também grande economia destinada ao seu tratamento e destinação final.

Pode-se considerar, nesse caso, que não há praticamente diferenciação entre as questões econômicas e ambientais, visto que, evitando-se a geração de resíduos, conseqüentemente, evita-se os custos de tratamento e aterramento que indiscutivelmente são processos extremamente custosos e, quando mal gerenciados, têm conseqüências diversas sobre as saúdes pública e ambiental.

O não tratamento ou disposição inadequada de resíduos concentra inúmeros fatores negativos que prejudicam todo o equilíbrio do sistema que funcionaria numa ordem natural se o fator decompositor suportasse a capacidade natural de produção e consumo.

Segundo BIDONE (2001), o equacionamento do problema estaria na melhor aplicação e desenvolvimento sobre a fase da decomposição com sistemas mais eficientes de recuperação, reciclagem e reutilização de resíduos. Entretanto, esse autor ressalta a importância de garantir primeiramente o chamado 1º R, ou seja, redução ou minimização, atuando fortemente na fase inicial da geração.

Infelizmente não é ainda o que ocorre, pois a quantidade de resíduos gerada diariamente pela população ultrapassa em muitas vezes a capacidade de absorção do ambiente (OLIVEIRA 1997). Como agravante dessa situação, a falta de gerenciamento,

controle, fiscalização e políticas públicas de proteção ambiental visando adequar o desenvolvimento econômico à preservação dos recursos naturais têm contribuído para uma situação extremamente alarmante.

É necessário que os consumidores mudem sua postura em relação à geração de resíduos, diminuindo-a em quantidade e que exerçam uma pressão efetiva para uma mudança no sistema produtivo, escolhendo produtos com certificação, selos verdes e que sejam ambientalmente seguros.

Entretanto, de acordo com JACOBI (1997), ainda são muitos recentes e incipientes as práticas de alguns consumidores mais conscientes sob o ponto de vista ecológico. Segundo este autor, as mudanças só serão garantidas por meio de ações sócio-políticas que fortaleçam a participação dos cidadãos em processo de engajamento de interesse público, apoiado em processos educacionais, garantindo as condições de acesso dos diversos atores sociais envolvidos às informações em torno do impacto provocado pelos problemas ambientais.

1.2 Compostagem como Método de Tratamento dos Resíduos Sólidos

Urbanos

A matéria orgânica tem sido considerada, há milênios, como principal fator de fertilidade do solo e o seu processo de acumulação em leiras visando sua decomposição para posterior uso em solo agrícola é utilizado através dos séculos por agricultores das mais diferentes culturas (RODRIGUES 1996). Os mais variados exemplos são encontrados na literatura, demonstrando a eficiência e importância desse processo no valor das terras cultivadas e no retorno de nutrientes para o solo.

Até meados da década passada, qualidade do solo era definida como sendo um atributo inerente a ele, que poderia ser justificado por suas características como compactabilidade, erodibilidade e fertilidade (SSSA 1984). Qualidade do solo era, até então, diretamente relacionada à produtividade, que é a sua capacidade de produção agrícola sob determinado manejo, definida pela relação insumo/produção em um período de tempo determinado (USDA 1957).

Uma conceituação mais recente define qualidade do solo como sendo sua capacidade de produzir colheitas sãs e nutritivas, de uma maneira sustentável num longo espaço de tempo e de melhorar a saúde humana e animal, sem prejuízo aos recursos naturais básicos ou danos ao ambiente (PARR e HORNICK 1992). A compostagem, que tem como função devolver ao solo a matéria orgânica dele retirada, desempenha um importante papel na sua qualidade e consequentemente nas suas colheitas.

Na China, a compostagem de resíduos vegetais misturados com detritos humanos e animais, vem sendo realizada há mais de 4000 anos (ALLISON 1973, GRAY *et al.* 1973, STENTIFORD 1986; LOPEZ-REAL 1990).

Na Europa, o uso de composto de resíduos orgânicos para melhorar a fertilidade do solo data do Império Romano e era muito popular entre agricultores da Idade Média (PARR e HORNICK 1992, BLUM 1992). Entre os antigos romanos, vários escritores deixaram documentos que mencionavam as classificações dos solos, descrevendo os meios para obter melhores colheitas, misturando a camada arável, cinza de madeiras e esterco de animais (LEPSCH 1993).

Os antigos processos de transformação de resíduos orgânicos em adubo consistiam basicamente na formação de montes que eram revirados periodicamente para uma maior oxigenação da leira. Até os dias atuais, esse método de compostagem caseira é utilizada em pequenas propriedades (SCHALCH *et al.* nd).

No Brasil, as primeiras experiências com a produção do composto datam de 1888 pela iniciativa do primeiro diretor do Instituto Agrônomo de Campinas que incentivou os agricultores na época a produzirem um fertilizante natural com materiais oriundos das próprias propriedades. Esse incentivo também foi seguido pelos demais diretores até que, a partir de 1950, a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” iniciou os estudos sobre o processo (KIEHL 1985).

Após algumas quedas de popularidade do composto em todo o mundo, como por exemplo após a Revolução Industrial e a II Guerra Mundial, foi somente no início dos anos 20, que os estudos sobre a compostagem foram intensificados. O trabalho de

Albert Howard, em Indore, na Índia, foi responsável pelo renascimento da compostagem como um método de reciclagem de resíduos na Europa (RODRIGUES 1996). Os resíduos utilizados eram esterco animal, lodo de esgoto, resíduos sólidos e outros materiais putrecíveis e as experiências consistiam em estocar esse material em pilhas de 1,5 m de altura ou em buracos com profundidade de 0,6 a 0,9 m, para serem decompostos. Esses materiais eram revirados apenas duas vezes, durante os seis meses de decomposição e nas pilhas mais secas o chorume era recirculado (GOTAAS 1956, LINDENBERG 1977).

Esse sistema foi modificado dois anos depois por Giovanni Beccari, na Itália e nos anos seguintes presenciou-se o surgimento de diferentes métodos de compostagem que visavam a introdução de novas técnicas para acelerar ou otimizar o processo: Dumfries, Windrow, Dano, Frazer-Ewerson, Triga, Fairfield-Hardy, Varro, Beltsville, entre outros (RODRIGUES 1996).

Nos anos seguintes, as principais mudanças ocorridas no método Indore, foram no sentido de alcançar a maior decomposição dos materiais, com sistemas de introdução de ar - denominada mais tarde de aeração forçada - e o uso de culturas de bactérias que auxiliavam no processo. As modificações nesse método conseguiram alterar e diminuir o tempo de decomposição (SCHALCH *et al.* nd).

Durante as décadas de 30 e 40, a compostagem de RSU foi, em muitos aspectos, tanto prática quanto científica e, além de seus fundamentos microbiológicos serem reconhecidos, estudos foram realizados na tentativa de explicá-los. Entre as principais áreas de controvérsia na pesquisa sobre a compostagem estavam o processo aeróbio x anaeróbio e a compostagem mesofílica x termofílica. Embora muitas discussões tenham permeado o tema, décadas mais tarde, o processo anaeróbio se distinguiria completamente da compostagem, principalmente devido a sua definição (GOLUEKE e DIAZ 1996).

Quanto à compostagem mesofílica e termofílica, a questão tornou-se indiscutível a partir do momento em que as curvas de temperatura na compostagem foram entendidas, de-

monstrando que as duas faixas de temperatura eram alcançadas, dependendo do grau de atividade microbiana (GOLUEKE e DIAZ 1996).

Durante o período de 1950-60 nos Estados Unidos, avanços substanciais tanto no entendimento do processo quanto na sua utilização, reforçaram a compostagem como uma opção no manejo dos RSU. Embora os métodos fossem pouco sofisticados, os estudos reconheceram alguns fatores importantes como, por exemplo, o fato de que a temperatura na massa de compostagem não deveria exceder 60 a 65°C (GOLUEKE e DIAZ 1996).

De acordo com GOLUEKE e DIAZ (1996), a microbiologia da compostagem também foi reconhecida com os estudos relacionados a sucessão dinâmica das populações de microorganismos, além da identificação de actinomicetos e fungos presentes na decomposição dos resíduos. Contudo, os verdadeiros avanços ocorreram quanto aos parâmetros determinantes na compostagem, como por exemplo, o conteúdo de umidade, relação C/N, e disponibilidade de nutrientes.

Durante esse período, embora houvesse algum envolvimento acadêmico nos estudos da compostagem, as agências do governo e laboratórios eram os principais centros de pesquisa e desenvolvimento, tendo a U.S. Public Health Service (PHS) como a mais importante delas. Anos mais tarde essa entidade se tornaria a U.S.E.P.A., a mais importante agência regulatória do país (GOLUEKE e DIAZ 1996).

Embora excelentes artigos tivessem sido publicados por essas agências de pesquisa, a comunidade acadêmica continuava, mesmo que timidamente, a se envolver com estudos referentes ao processo de compostagem e artigos técnico-científicos e “papers” com o assunto eram quase sempre presentes. No ano de 1960 presenciou-se um grande avanço nas publicações envolvendo a compostagem por meio da introdução do *Compost Science*, um periódico totalmente voltado para o processo e a utilização do composto no solo. Atualmente, o *Compost Science* foi renomeado para *Biocycle* (GOLUEKE e DIAZ 1996).

É importante ressaltar que a compostagem era reconhecida como um sistema eficiente para redução do volume de resíduos, mas o produto final, o composto, perderia seu

apelo, principalmente, nos países ocidentais. Uma das razões para isso, como sugere BLUM (1992), é que o composto produzido deveria ser comercializado como fertilizante para pagar pelos custos de sua produção e, que os agricultores não viam-se interessados em comprar o produto que lhes era oferecido ao preço estabelecido. No entanto, a falta de popularidade do produto não reduziu a pressão do setor de manejo e disposição de resíduos, que visava o seu tratamento através de sua aplicação no solo agrícola (PURVES e MACKENZIE 1973).

LOPEZ-REAL (1994) aponta que as razões para o insucesso da comercialização do composto não se ancoram nas limitações do processo de compostagem em si, nem na falta de conhecimento científico sobre as bases do processo, ou na natureza do mercado, mas sim na falta de compreensão de que a qualidade do composto – e seu consequente apelo mercadológico – é absolutamente dependente da qualidade da matéria-prima básica, portanto, do resíduo utilizado, seja ele de origem agrícola, urbana ou industrial.

De qualquer forma, a compostagem é considerada um dos mais antigos e eficientes processos biológicos de tratamento e reciclagem da matéria orgânica. Além disso, o uso do composto na agricultura como condicionador do solo, traduz de forma brilhante a sustentabilidade do sistema, pois retorna ao solo os nutrientes retirados nas colheitas, utilizados pelo homem como alimento e que, sem o processo, simplesmente são considerados lixo ou restos inaproveitáveis, tornando-se eventuais poluentes e contaminantes do meio.

1.2.1 Fatores que Regem o Processo

Na compostagem existem muitos fatores que interferem ou influenciam a decomposição, a maturação e a qualidade do produto final. Esse processo ocorre também espontaneamente na natureza, sendo similar ao fracionamento, decomposição e estabilização de resíduos orgânicos (DE BERTOLDI *et al.* 1983; WITTER e LOPEZ-REAL 1987), com a diferença primordial que essa decomposição no solo é por tempo indeterminado, variando de acordo com as condições apresentadas (KIEHL 1998).

A definição mais correta para a compostagem é uma decomposição controlada, exotérmica e bio-oxidativa de materiais de origem orgânica por microorganismos autóctones, num ambiente úmido, aquecido e aeróbio, com produção de dióxido de carbono, água, minerais e uma matéria orgânica estabilizada, definida como composto (HUTCHINSON e RICHARDS 1922; GRAY *et al.* 1971; DE BERTOLDI *et al.* 1983; ZUCCONI e DE BERTOLDI 1986; SENESI 1989; LOPEZ-REAL 1990; PARR e HORNICK 1992; DIAZ *et al.* 1993; KIEHL 1998).

Segundo KIEHL (1998), as fases pelas quais a matéria-prima passa até ser decomposta totalmente podem ser resumidas em três, a saber:

A primeira fase, também chamada fitotóxica, é marcada pelo início da decomposição da matéria orgânica que se caracteriza pelo desprendimento de calor, vapor d'água e CO_2 e corresponde de 10 a 20 dias. Os materiais orgânicos crus possuem reação ácida, assim como dejeções sólidas e líquidas dos animais e humanas e, portanto, no início da decomposição biológica desenvolvem-se traços de diversos ácidos minerais e ácidos orgânicos, principalmente ácido acético e outras toxinas danosas às plantas.

Na segunda fase, também chamada de semicura, a decomposição pouco progride e o material entra no estágio de bioestabilização não danoso às plantas, porém, ainda não apresenta as características e propriedades ideais. E, finalmente, a terceira fase, denominada de maturação ou humificação é o estágio final da degradação quando ocorre a mineralização de determinados componentes da matéria orgânica e é quando o composto adquire as desejáveis propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas (ZUCCONI e DE BERTOLDI 1986, KIEHL 1998).

Para que haja a transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas estabilizadas, diversos fatores são indispensáveis e atuam como variáveis de processo:

Resíduos Orgânicos

Os microorganismos que decompõem a matéria orgânica requerem uma fonte de carbono, nitrogênio, macronutrientes e microelementos para seu crescimento. A compo-

sição do material destinado à compostagem irá, portanto, determinar a velocidade do processo de decomposição, sendo que a relação entre carbono e nitrogênio disponíveis é a variável mais importante (LOPEZ-REAL 1990; NAKASAKI *et al.* 1992). O intervalo de valores para C/N entre 25:1 e 50:1 é definido como ótimo para início do processo de compostagem. Valores mais elevados reduzirão a velocidade de decomposição; por outro lado, baixo C/N induz perdas de nitrogênio na forma de amônia, em particular a altas temperaturas e condições de aeração forçada (GRAY *et al.* 1971; DE BERTOLDI *et al.* 1983; ZUCCONI e DE BERTOLDI 1986; LOPEZ-REAL 1990).

Seguindo uma hierarquia básica, os compostos de carbono mais simples e com menor peso molecular, como açúcares solúveis e ácidos orgânicos, serão atacados na fase inicial de decomposição, gerando energia e sendo transformados em polímeros maiores e mais complexos. A seguir, nessa seqüência, estão as hemiceluloses, celulose e lignina. Lignina é extremamente resistente ao ataque de microorganismos e é, assim, o último material a ser degradado na compostagem (LOPEZ-REAL 1990).

Nos resíduos sólidos urbanos, o material orgânico mais adequado para o processo de compostagem e comumente encontrado são restos de frutas, verduras, de processamento de alimentos em geral e restos da atividade de jardinagem, ou seja, excelentes matérias-primas para o processo. A preocupação no caso da compostagem desses materiais é que eles não são coletados seletivamente e acabam chegando às usinas de forma misturada juntamente com materiais inertes ou mesmo contaminantes, como pilhas e baterias. A qualidade da matéria-prima e do composto resultante serão debatidos mais profundamente no capítulo qualidade do composto.

Umidade

O conteúdo de umidade ótimo na compostagem varia conforme o estado físico do resíduo, tamanho das partículas e o sistema de compostagem usado, sendo imprescindível para as necessidades fisiológicas dos organismos. Ainda que esse parâmetro varie muito com a natureza do material a ser compostado, a literatura sugere que o conteúdo de umi-

dade para otimização dos resultados deva estar entre 50% e 70%, não excedendo 75% (RODRIGUES *et al.* 1995). Em geral, os autores sugerem que a umidade não exceda 75%, pois acima desse valor os poros no interior da matriz sólida começam a ser preenchidos com água livre, impedindo a difusão de oxigênio o que permite que condições anaeróbias se desenvolvam (GRAY *et al.* 1973; DE BERTOLDI *et al.* 1983; KIEHL 1985; LOPEZ-REAL 1990). Entretanto, teores de umidade abaixo de 40% retardam o processo por inibir a atividade microbológica, sendo o valor 55% de umidade considerado ótimo para o processo de compostagem (LOPEZ-REAL 1990, KIEHL 1998). Os valores, em porcentagem, no processo de compostagem e no produto acabado são apresentados na figura 3.

O excesso de umidade em uma leira de compostagem pode ser facilmente percebido pela exalação de odores característicos de condições anaeróbias, como por exemplo, pela formação de gás sulfídrico (H_2S). Para controlar o excesso de umidade é imprescindível que se realize revolvimentos periódicos para injeção de ar ou aeração forçada, além da formação de leiras menores para que não haja compactação das camadas inferiores que impeçam sua entrada (KIEHL 1998).

Figura 3. A umidade no processo de compostagem e no produto acabado.

Fonte: D'ALMEIDA E VILHENA (2000).

Aeração

No que diz respeito à aeração, a compostagem é definida como sendo um processo predominantemente aeróbio (LOPEZ-REAL 1990), embora alguns autores utilizam o termo “composto” referindo-se ao produto final gerado por ambas: decomposição aeróbia e anaeróbia de resíduos orgânicos. No entanto, a escola prevalecente propõe que compostagem refere-se unicamente ao processo aeróbio (STENTIFORD 1986).

Um ambiente aeróbio proporciona uma decomposição mais rápida da matéria orgânica, sem cheiro e sem proliferação de insetos, além de ser um fator limitante para a eficiência do processo. O consumo de oxigênio durante a compostagem é diretamente proporcional à atividade microbiológica, portanto há uma direta relação entre o consumo de oxigênio e a temperatura. A aeração também depende da umidade e da granulometria bem como da intensidade dos revolvimentos.

Segundo KIEHL (1985), os revolvimentos devem ser feitos quando a temperatura estiver muito elevada (acima de 70°C), quando a umidade estiver acima de 55 ou 60%, quando há presença de moscas e maus odores, ou em intervalos pré-fixados. O revolvimento do composto no pátio, ao mesmo tempo que introduz ar novo, rico em oxigênio, libera o ar contido na leira, saturado de gás carbônico gerado pela respiração dos organismos.

O teor de gás carbônico existente no interior da leira pode chegar a concentrações cem vezes maiores que seu conteúdo normal no ar atmosférico, o que levará a formação e acúmulo de dióxido de carbono e metano, componentes característicos da fermentação anaeróbia (KIEHL 1998).

Temperatura

Quanto à temperatura, a compostagem caracteriza-se por ser um processo exotérmico de degradação de resíduos orgânicos, porque gera calor e aumenta a temperatura da leira, devido principalmente a multiplicação bacteriana. Os organismos que decompõem a matéria-prima têm uma faixa de temperatura ótima de desenvolvimento, a qual é estimulada pela atividade metabólica e conseqüente aumento da população (LIMA 1981).

As faixas de temperatura que definem a predominância de determinados grupos de organismos podem ser classificadas em: criófilas (temperatura ambiente), mesófilas (até 55°C) e termófilas (acima de 55°C). Acima de 70°C a atividade dos microorganismos torna-se reduzida, resultando na paralisação do processo e, conseqüentemente, no declínio da temperatura (KIEHL 1998).

A temperatura é também um fator muito importante quando se tem o intuito de eliminar patógenos. Todavia, níveis de temperaturas em torno de 80°C, no início do processo de decomposição, contribuem para a ilusão do “quanto mais quente melhor”. O que ocorre é que altas temperaturas iniciais causam a debilitação da microfauna que tem como consequência uma decomposição mais demorada, resultando numa estabilização incompleta do material (LOPEZ-REAL 1990).

Da observação desse fenômeno, pode-se concluir que o controle da temperatura é fator de extrema importância para a maximização da decomposição, eliminação de patógenos prejudiciais à saúde humana e para todo o processo de compostagem (RAMEH 1981). No sub-capítulo sobre qualidade dos compostos, as exigências dos órgãos de controle ambiental em relação a temperatura serão analisadas mais profundamente.

Para o melhor entendimento do que ocorre no processo, tem-se a seqüência dos estádios da temperatura na leira de compostagem que, inicialmente, parte de um material na temperatura ambiente. Com o aumento da atividade microbiana e conseqüente aumento de temperatura, inicia-se a fase mesófila, com atuação de microorganismos mesófilos que utilizam os componentes solúveis e rapidamente degradáveis da matéria orgânica. Com esse aumento, a temperatura se eleva e os organismos mesófilos tornam-se menos competitivos, sendo substituídos pelos termófilos, atingindo assim, a fase termófila (RODRIGUES 2004). No final da degradação da matéria orgânica, quando a temperatura se iguala a do ambiente, a fase é criófila. O tempo para atingir essas fases e sua duração varia de acordo com fatores como composição química da matéria-prima a ser tratada, granulometria, dimensões da leira, teor de umidade reinante e outros (KIEHL 1998). A mudança de temperatura nas diversas fases de maturação do composto é apresentada na figura 4.

Figura 4. Mudanças na temperatura até a cura total do composto.

Fonte: D'ALMEIDA E VILHENA (2000).

Relação C/N

A relação carbono/nitrogênio serve como indicador de fases. Assim, no início da compostagem, a relação C/N é da ordem de 30:1 e no final do processo de 10:1. Isto significa que, no início, os microorganismos absorvem os elementos carbono e nitrogênio em uma proporção de trinta partes de C para cada parte de N. O carbono é utilizado como fonte de energia, sendo que dez partes do carbono assimilado são imobilizadas (convertidas da forma mineral para orgânica) e incorporadas ao protoplasma celular do organismo e vinte partes eliminadas na atmosfera como gás carbônico (LIMA 1981).

O tempo de compostagem será condicionado, entre outros fatores citados anteriormente, à relação C/N, sendo que, quanto mais elevada essa relação, maior o tempo necessário para se atingir a humificação da matéria orgânica (KIEHL 1998).

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 próximo a uma média de 10/1. No entanto, demais parâmetros devem ser consi-

derados para confirmação da fase final, como por exemplo, o índice de pH e ausência de nitrogênio amoniacal, determinados por testes específicos.

Granulometria

A granulometria é considerada um importante fator para o processo de compostagem. De acordo com KIEHL (1985), quanto menor o tamanho das partículas, maior é a superfície que pode ser atacada e digerida pelos microorganismos sendo os materiais mais facilmente degradados.

Entretanto, a granulometria muito fina pode trazer alguns problemas para o processo como a compactação das leiras causando anaerobiose. Nas usinas de compostagem, os resíduos, geralmente, são pré-tratados em peneiras, moinhos e/ou trituradores que têm o objetivo de diminuir o tamanho das partículas aumentando a área de exposição para o ataque dos microorganismos.

O tamanho das partículas também pode ser diminuída durante o processo de compostagem nas leiras devido aos revolvimentos por máquinas. Portanto, percebe-se a importância dos revolvimentos durante o processo contribuindo para melhor aeração das leiras, evitando a compactação do material e diminuindo sua granulometria.

Desta maneira, conclui-se que são muitas as variáveis interdependentes que influenciam na decomposição da matéria orgânica com o intuito de produção do composto e, embora a compostagem seja um processo biológico e aparentemente de ocorrência simples, o monitoramento desses fatores é de extrema importância para o processo.

1.3 Composto como Produto do Processo de Compostagem

Como resultado do processo de compostagem, tem-se um material húmico (composto) que, em razão de suas propriedades coloidais, tem grande importância na agregação do solo, sendo fonte de nutrientes para a vegetação, favorecendo sua estrutura e a retenção de água e estabilizando os nutrientes com o tempo (DICK e McCOY 1993, PICCOLO *et al.* 1992, ZUCCONI e DE BERTOLDI 1986, RODRIGUES *et al.* 1995).

O composto desempenha o papel de fornecedor de nutrientes para as plantas pois possui macronutrientes (absorvidos em maiores quantidades), tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, e micronutrientes (absorvidos em menores quantidades) como ferro, zinco, cobre, manganês, boro. Esses nutrientes, ao contrário do que ocorre com os adubos minerais, são liberados lentamente pelo composto exercendo a adubação de disponibilidade controlada, liberando os nutrientes de acordo com as necessidades das plantas. Além de neutralizar várias toxinas e imobilizar metais pesados, tais como cádmio e chumbo, diminuindo a absorção desses metais prejudiciais às plantas, o composto funciona também como uma solução tampão impedindo que o solo sofra mudanças bruscas de acidez ou alcalinidade (CEMPRE 1997).

1.3.1 Qualidade de Composto

Nos primórdios da agricultura, os resíduos orgânicos mais utilizados para a produção de composto eram basicamente dejeções humanas e de animais e restos de cultura. Mais recentemente, com o aumento populacional, a diversificação de indústrias e, portanto, a geração de resíduos constante, tem-se empregado como matéria-prima para produção de compostos outros meios, como por exemplo, os provenientes de resíduos sólidos urbanos, lodos de esgoto, restos de indústrias alimentícias, resíduos da fabricação de papel e de agroindústrias. Esses resíduos são considerados excelentes matérias-primas para a compostagem devido as suas composições químicas. Todavia, a preocupação quanto a utilização desses resíduos é que muitos desses materiais recebem tratamentos especiais na sua produção industrial nos quais são empregados produtos químicos considerados tóxicos, causando certa ressalva na recomendação de seu uso agrícola para fertilização (KIEHL 1998).

O composto de resíduos sólidos orgânicos para ser utilizado de maneira segura e eficiente deve ser corretamente estabilizado. Isto significa que a matéria orgânica original deve ser convertida para uma forma que seja mais resistente à degradação, contenha quantidades mínimas de componentes fitotóxicos e contaminantes, e seja livre de

patógenos de plantas e animais (PARR e PAPENDICK 1982; ZUCCONI e DE BERTOLDI 1986; SENESI 1989; LOPEZ-REAL 1990; DICK e McCOY 1993).

O composto, para ser considerado de qualidade, deve satisfazer tanto as agências regulatórias quanto as especificações do mercado (SAVAGE 1996). KIEHL (1998, 2004) sugere que a qualidade do composto pode ser analisada de acordo com as diferentes referências: a qualidade vista pelo produtor, a exigida pela legislação e a vista pelo agricultor.

Desta forma, a qualidade vista sob diferentes atores tem também diferentes significados, mas se interceptam no que diz respeito à umidade, à concentração de NPK e matéria orgânica e ao conteúdo de inertes. No caso da umidade, o composto não pode estar encharcado (com valores acima de 60%), pois o agricultor estaria comprando mais água do que propriamente o adubo (KIEHL 2004).

A concentração de NPK e de matéria orgânica é extremamente importante para o valor do composto, representando também uma forma de se avaliar sua qualidade e calcular seu valor de mercado comparando-se aos adubos químicos (KIEHL 1998, 2004).

O conteúdo de inertes proporciona a sensação de um composto de má qualidade, pois nele se apresentam materiais denominados também de contaminantes como cacos de vidro, de louça, de plástico e outros, provocando um impacto visual e, conseqüentemente, tornando um obstáculo para sua venda (KIEHL 1998, 2004). Outras qualidades do composto também são examinadas pelo agricultor como por exemplo, a inexistência de odor, a coloração preta intensa e o tamanho das partículas (partículas finas ou médias são mais atrativas).

Quando bem processado, o composto maduro é livre de odor, possui coloração e odor característicos e tem seu manuseio, estocagem e transporte muito facilitados. O composto cru não possui essas qualidades e pode se tornar tóxico para as plantas (tabela 5).

De acordo com a tabela apresentada, o composto cru ainda não possui as características necessárias de um composto de boa qualidade, demonstrando que, apesar de ter havido um início de decomposição, a matéria orgânica não pode ser considerada bioestabilizada. Entre as conseqüências de se utilizar compostos imaturos no cultivo de

Tabela 5. Diferenças entre composto maduro e o composto cru.

Composto Maduro	Composto Cru
Nitrogênio como íon nitrato	Nitrogênio como íon amônio
Enxofre como íon sulfato	Enxofre ainda em partes como íon sulfídrico
Baixa demanda de oxigênio	Alta demanda de oxigênio
Sem perigo de putrefação	Perigo de putrefação
Mineralização é cerca de 50%	Altas concentrações de substâncias orgânicas não mineralizadas
	Baixa capacidade de retenção de água
Alta capacidade de retenção de água	

Fonte: OBENG e WRIGHT (1987).

plantas estão a interferência na germinação das sementes e a possível toxicidade causada pelo excesso de amônia (KIEHL 1998).

Aspectos relacionados a maturação da matéria orgânica e eliminação de agentes patogênicos podem ser resolvidos com a aplicação correta do processo da compostagem, principalmente este último que tem como fator o correto controle da temperatura e o tempo de exposição. Programas de certificação de qualidade de compostos em alguns países europeus exigem que sejam alcançadas temperaturas específicas para garantir a “higiene” e a redução de patógenos. Exemplos como este podem ser citados os casos da Alemanha, Áustria e Dinamarca.

A Alemanha especifica que as temperaturas nas pilhas de compostos devam alcançar mais de 55°C por duas semanas ou mais de 65°C por uma semana para sistemas abertos e, no caso de sistemas fechados, a temperatura deve alcançar mais de 60°C por uma semana. Na Áustria, todos os compostos são obrigados a atingir mais de 60°C por seis dias ou mais de 65°C por três dias, enquanto que na Dinamarca, o padrão exigido para os compostos é mais de 55°C por duas semanas (BRINTON 2001). De acordo com PEREIRA NETO (2001, 2004), uma efetiva eliminação de patógenos só ocorre a partir de temperaturas de 60°C com tempo de exposição por mais de 20 dias.

A eliminação de patógenos presentes no material de origem para a produção de compostos é motivo de preocupação entre os estudiosos da área principalmente em relação à compostagem de lodos de esgoto, pois esse tipo de resíduo pode propagar microorganismos potencialmente patogênicos, como por exemplo, bactérias (*Salmonella*, *Listeria*), vírus (*Hepatitis*) e parasitas animais (*Ascaris*, *Protozoa*) (LOPEZ-REAL 1990).

LOPEZ-REAL (1990) afirma que resíduos provenientes de fazendas são tratados também com muita cautela devido a muitas bactérias e viroses zoonóticas tornarem-se transmissíveis entre homens e animais. Este problema foi, em grande parte, exacerbado no Reino Unido através da prática de alimentação de animais com materiais fecais, carcaças e vísceras. Atualmente, as agências regulatórias da Europa exigem que a *Salmonella* não seja detectada em 25 g de composto, enquanto para *E. coli* a sua presença não exceda a 1000 NMP/g (BRINTON 2001).

Resíduos agrícolas e de horticultura também incluem riscos potenciais da sua reciclagem devido a microorganismos patogênicos às plantas. Algumas estratégias, tanto para resíduos humanos como animais, têm mostrado que os critérios da EPA de 55°C por 72h são suficientes para eliminar os patógenos de plantas. Outros resíduos de fermentação e de indústrias de processamento de alimentos ou resíduos orgânicos naturais como algas, cascas de árvores e materiais florestais são geralmente livres de patógenos e podem ser usados com temperaturas adequadas apenas para maximizar a decomposição e retirar a umidade (LOPEZ-REAL 1990).

Outro parâmetro importante quando consideramos a qualidade de compostos são os componentes tóxicos e contaminantes e que, segundo LOPEZ-REAL (1994), suas presenças estão relacionadas com a matéria-prima base usada para a produção de um dado composto.

Complementando LOPEZ-REAL (1994), SAVAGE (1996) argumenta que a qualidade do composto produzido de resíduos sólidos urbanos é determinada não só pelas características da matéria-prima mas também pelos métodos de processamento. Segundo esse autor, esses dois parâmetros devem ser levados em conta quando há o intuito de produzir um

composto com determinadas especificações. Para tanto, as características dos resíduos a serem compostados podem ser manipulados no ponto de coleta, por exemplo, pela coleta separada de resíduos biodegradáveis e durante o processo subsequente.

Concordando com LOPEZ-REAL (1994) e SAVAGE (1996), MERILLOT (1996) afirma que a avaliação da compostagem de diferentes tipos de resíduos mostra que as características do composto são essencialmente herdadas dos resíduos-base, mesmo sofrendo influência dos parâmetros como conteúdo e qualidade dos componentes orgânicos, umidade, tamanho das partículas, concentração de N, pH, potencial patogênico e condutividade.

Segundo RODRIGUES (1996), resíduos urbanos altamente contaminados produzirão um composto com elevados teores de metais pesados não sendo verificada essa afirmativa quando os resíduos são provenientes de coleta seletiva. Embora inúmeros autores afirmem que os resíduos urbanos com origem na coleta seletiva produza um composto com menor carga de metais pesados que os resíduos misturados, EPSTEIN *et al.* (1992) argumentam que não existe evidência científica de que qualquer dos dois represente risco para a saúde humana ou para o meio ambiente, principalmente por razão da baixa fito-disponibilidade e mobilidade desses metais em condições de pH acima de 5. Essa visão é fortemente compartilhada por WOODBURY (1992) e CHANEY e RYAN (1993).

No entanto, para uma maioria de pesquisadores, a coleta e o processamento dos resíduos de forma separada de acordo com suas diferentes frações – orgânica, metais, vidro, papéis, alumínio, tecidos, madeira – é uma das melhores maneiras (se não a única) de obter um produto final de boa qualidade, que pode ser utilizado sem maiores preocupações e que possui potencial atrativo aos agricultores (KRAUSS *et al.* 1986; SCHALCH e REZENDE 1991; RICHARD e WOODBURY 1992; RICHARD *et al.* 1993; LOPEZ-REAL 1994).

É importante ressaltar que, no Brasil, a coleta separada dos materiais ainda é pouco executada pelas inúmeras dificuldades de ordem econômica e de logística. Contando com algumas usinas espalhadas pelo país e sabendo da dificuldade de gerenciar adequa-

mente os resíduos sólidos urbanos produzidos pela população brasileira, há a necessidade de investigar as reais situações das usinas visando uma interpretação diferenciada para a nossa realidade, com a tentativa de discutir a possibilidade de produção de compostos de boa qualidade com origem da matéria-prima de forma misturada.

Ao mesmo tempo que tenta-se provar essa prerrogativa não se pode deixar de lado a problemática dos metais pesados contidos nos compostos já que de todos os potenciais padrões de qualidade, suas presenças em grandes quantidades têm sido, muitas vezes, o foco de maior atenção.

A presença de metais pesados em muitos resíduos industriais e urbanos é de grande preocupação e objeto de estudo e interesse por parte de pesquisadores, por esses resíduos serem apontados como os mais prováveis portadores desses elementos. Nos resíduos sólidos domiciliares por exemplo, esses elementos potencialmente tóxicos podem ser facilmente encontrados nos materiais industrializados coloridos como em borrachas, tecidos, cerâmicas, vidros de cor, couros, papéis de propaganda e revistas, além de produtos de limpeza e sanitários e resíduos industriais, além de lâmpadas, baterias e outros materiais eletrônicos (KIEHL 1998).

A preocupação com o emprego, na agricultura, de certos compostos contendo elementos químicos considerados tóxicos é pelo fato das plantas além de assimilarem elementos essenciais à sua nutrição, absorverem também esses componentes, os quais se deslocam das raízes para as partes comestíveis do vegetal, tornando-se danosos tanto para as próprias plantas como para o homem e os animais que delas se alimentam, ou seja, fazendo parte da cadeia alimentar (KAPETANIOS *et al.* 1988; KAPETANIOS 1996, KIEHL 1998).

De acordo com RODRIGUES (1996), mesmo que compostos com alto conteúdo de metais pesados não sejam utilizados na produção de alimentos, o composto com uma carga elevada de contaminantes representa um risco potencial de contaminação do solo e da água, sendo recomendável o monitoramento desses fatores ambientais em áreas sujeitas à aplicação continuada desse tipo de composto.

É importante ressaltar que alguns metais, quando contidos em pequenas quantidades, são elementos traços de grande valor necessários para o crescimento das plantas, e que somente em grandes quantidades é que se tornam fitotóxicos e tóxicos para o homem (KAPETANIOS 1996).

Segundo KIEHL (1998), metais pesados são elementos químicos que ocorrem na solução do solo, em associação com moléculas orgânicas nas seguintes formas: como complexos organometálicos, como colóides em suspensão nas formas líquidas solúveis ou sólidas, como precipitado e em várias outras formas e cujas densidades são maiores que $5,0 \text{ g/cm}^3$. Somente quando a concentração desses elementos químicos existentes no solo se eleva até um ponto considerado crítico é que pode se tornar danoso para as plantas, homens e animais. Além disso, a disponibilidade desses metais tem relação inversa com o pH, aumentando em condições de solo com pH ácido e diminuindo com a elevação do pH (EPSTEIN *et al.* 1992; WOODBURY 1992; CHANEY e RYAN 1993; KIEHL 1998).

De acordo com KIEHL (1998), a terminologia “metais pesados” é usada erroneamente no meio científico já que outros metais, como por exemplo, metais leves (densidade menor que $5,0 \text{ g/cm}^3$) e elementos químicos não metálicos são igualmente tóxicos quando empregados em doses excessivas. O termo correto seria “elementos potencialmente tóxicos” (KIEHL 1998). Para justificar tal designação, a tabela 6 dá uma relação de metais que possuem densidade inferior e superior a $5,0 \text{ g/cm}^3$ que são igualmente tóxicos quando utilizados em doses elevadas.

Por meio da relação apresentada é importante notar que muitos dos elementos potencialmente perigosos são nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, como ferro, zinco, cálcio e magnésio e só se tornam realmente danosos às plantas quando absorvidos em grandes quantidades.

Os países europeus, por meio dos seus Certificados de Qualidade, impõem certos limites para metais pesados encontrados nos compostos, mas segundo BRINTON (2001), os valores apresentados para alguns metais são tão baixos que podem eventualmente

Tabela 6. Relação de alguns elementos potencialmente tóxicos.

Elementos Químicos Potencialmente Tóxicos com Densidade Inferior a 5,0 g/cm ³			Elementos Químicos Potencialmente Tóxicos com Densidade Superior 5,0 g/cm ³		
Elemento	Densidade	Símbolo	Elemento	Densidade	Símbolo
Alumínio	2,70	Al	Cádmio	8,65	Cd
Bário	3,50	Ba	Crômio	7,19	Cr
Berilo	1,86	Be	Cobre	8,96	Cu
Cálcio	1,55	Ca	Chumbo	11,40	Pb
Césio	1,99	Cs	Ferro	7,86	Fe
Sódio	0,97	Na	Manganês	7,43	Mn
Magnésio	1,74	Mg	Mercúrio	13,60	Hg
Potássio	0,86	K	Níquel	8,90	Ni
Titânio	4,51	Ti	Zinco	7,14	Zn

Fonte: Adaptado KIEHL (1998).

acarretar um impedimento na compostagem de alguns tipos de resíduos. A legislação em alguns países é tão severa, como no caso da Alemanha, que a aplicação de compostos ou biosólidos é controlado de acordo com os níveis de metais para cada tipo de solo, exigindo permissão para sua aplicação em cada caso. Na tabela 7 são apresentados os valores limites para metais pesados em compostos produzidos em alguns países europeus e também no Brasil e Estados Unidos.

De acordo com a tabela apresentada, a Holanda se caracteriza como sendo o país mais severo quanto aos limites impostos para metais pesados enquanto a Espanha possui valores mais altos para todos os elementos. A Dinamarca embora não apresente valores para todos os metais, impõe limites bem baixos para cádmio, chumbo, mercúrio e níquel, se aproximando dos valores impostos para os compostos produzidos na Holanda.

Os limites permissíveis para metais revelam uma significativa variação considerando os países da Europa mas, de acordo com BRINTON (2001), esses valores divergem dramaticamente com relação aos limites para cádmio e cromo nos EUA.

Tabela 7. Limites de metais pesados (mg/kg) para países da Europa com normas de certificação para composto.

Países	Elementos								
	As	Cd	Cr	Co	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
Áustria	–	4	150	–	400	500	4	100	1000
Bélgica ¹	–	5	150	10	100	600	5	50	1000
Bélgica ²	–	5	200	20	500	1000	5	100	1500
Suíça	–	3	150	25	150	150	3	50	500
Dinamarca	25	1,2	–	–	–	120	1,2	45	–
França	–	8	–	–	–	800	8	200	–
Alemanha	–	1,5	100	–	100	150	1,0	50	400
Itália	10	1,5	100	–	300	140	1,5	50	500
Holanda	25	2	200	–	300	200	2	50	900
Holanda	15	1	70	–	90	120	1,7	20	280
Espanha	–	40	750	–	1750	1200	25	400	4000
EUA	–	10	1000	–	500	500	5	100	1000
Brasil*	20	5	200	–	200	150	1	70	500

Fonte: BRINTON (2001) e SILVA *et al.* (2004).

* De acordo com a proposta de normatização.

As: arsênico; Cd: Cádmio; Cr: Crômio; Co: cobalto; Cu: cobre; Pb: Chumbo;

Hg: mercúrio; Ni: níquel; Zn: zinco.

¹ Uso na Agricultura e ² Uso na Horticultura.

Quanto ao Brasil, a proposta de normatização para os valores para metais pesados está na média apresentada pelos países europeus, com índices bem baixos para cobre, chumbo, mercúrio e zinco.

Apesar de ainda haver contradições por parte dos pesquisadores quanto ao uso de compostos contendo metais pesados, em geral, as culturas agrícolas respondem positivamente à aplicação de composto. Eventuais melhoras no desempenho de plantas cultivadas, decorrentes da aplicação de composto são resultado de mudanças nas características físicas do solo, as quais criam condições mais apropriadas ao crescimento vegetal além da liberação de macro e micro nutrientes (GALLARDO-LARA e NOGALES 1987; SANCHES *et al.* 1989; AVNIMELECH *et al.* 1994).

Recomendações de níveis de aplicação variam com o tipo de composto usado, solo, cultura e condições ambientais prevaletentes na área onde os estudos são efetuados. Em

geral, as taxas de aplicação variam de 25t/ha a 100t/ha, mas níveis mais elevados não são incomuns. TESTER (1990) sugere que uma adição anual de 100t/ha de composto é suficiente para produzir colheitas elevadas e induzir mudanças substanciais nas características físicas do solo. As limitações nesse caso, segundo o autor, podem ser de cunho econômico-financeiro.

Além da concentração de metais, outros parâmetros são considerados na certificação de qualidade internacional. Em alguns países europeus existem mais de um grau de qualidade instituído, como por exemplo, a Áustria que possui 3 classes e a Alemanha com 2 classes de qualidade (o Bundesgütegemeinschaft Quality Seal e Blue Angel Seal). Ambos são autorizados pelo German Institute for Quality Certification and Declaration (RAL), mas a maioria das usinas que solicitam a certificação na Alemanha, seguem o primeiro ao invés do Blue Angel Seal devido, principalmente, ao marketing mais agressivo do programa que inclui diversas reuniões e boletins informativos para as usinas. A Bélgica, Itália e Holanda também apresentam 2 sistemas de certificação para os compostos (BRINTON 2001).

Durante a “Vienna Conference” ocorrida em 1999, foi apresentado um resumo sobre os critérios de qualidades dos compostos em alguns países europeus (BRINTON 2001), sendo apresentado a seguir:

- *Alemanha*: certificação de garantia de qualidade completamente instituído e associações privadas mantêm os padrões;
- *Áustria*: certificação de garantia de qualidade completamente instituído;
- *Bélgica*: certificação de garantia de qualidade completamente instituído;
- *Dinamarca*: certificação de garantia de qualidade recentemente implementado com definições para os produtos e métodos de análises padronizados;
- *Espanha*: normas para composto instituídas e proposta de sistema de certificação de qualidade na região da Catalunha;
- *França*: critério de qualidade limitado;
- *Grécia*: normas básicas para resíduos sólidos não havendo padrões oficiais para o composto;

- *Hungria*: nova associação de qualidade para os compostos;
- *Luxemburgo*: algumas usinas de compostagem seguem a certificação de qualidade da Alemanha;
- *Noruega*: estudos de qualidade do composto em andamento e critérios propostos para 3 classes de qualidade;
- *Países Baixos*: certificação de garantia de qualidade completamente instituído;
- *Reino Unido*: padrões de qualidade propostos por associação privada;
- *Suécia*: padrões recentemente implementados;
- *Suíça*: padrões de qualidade propostos por associação privada.

Além da quantidade limite de patógenos e de metais exigidos no composto, os países europeus também apresentam restrições quanto a “matéria estranha”, ou seja, o conteúdo de inertes contido no produto final.

De acordo com BRINTON (2001), as quantidades aceitáveis para o conteúdo de inertes no composto têm sido objeto de muitos debates, mas geralmente há maior concordância sobre os valores para este parâmetro.

Como nota-se na tabela 8, pedras são distinguidas de outros materiais não decomponíveis como vidro, plástico e metais e os limites são relativos a porcentagem encontrada dependendo do tamanho das partículas. A amostragem de tamanho e frequência afeta as recomendações e, por isso, são examinadas regularmente por alguns países. A Alemanha recomenda que a amostragem seja feita 4 vezes ao ano para usinas que processam menos que 2.000 t/ano, enquanto que, para usinas que processam acima de 12.000 t/ano, a amostragem deve ser feita 12 vezes ao ano. Já a Holanda especifica que a amostragem seja realizada a cada 5.000 toneladas ou no mínimo 6 vezes ao ano. Na Áustria, no mínimo uma vez ao ano ou a cada 2.000 metros cúbicos. A França e a Dinamarca especificam uma vez a cada 6 meses enquanto a Itália e Espanha não há recomendações (BRINTON 2001).

Quanto aos compostos produzidos no Brasil, há uma certa dificuldade em se avaliar sua qualidade não só pela falta de aplicação da legislação existente, mas, principalmen-

Tabela 8. Valores máximos para conteúdo de inertes nos compostos.

Países com Padrões de Qualidade	Pedras (% em Peso Seco)	Limites para Conteúdo de Inertes (% em peso seco)
Áustria	Menos que 3% com tamanho maior que 11 mm	Menos que 2% para frações maiores que 2mm
Bélgica	Menos que 2%	Não permite contaminantes visíveis, máximo permitido: 0,5% para frações maiores que 2mm
França	_____	Permite 20% de contaminação com valores menores que 6% para frações maiores que 5 mm
Alemanha	Menos que 5% com tamanho maior que 5mm	Menos que 0,5% para frações maiores que 2mm
Itália	_____	Menos que 3% do total
Holanda	Menos que 3% com tamanho maior que 5mm	Menos que 0,5% para frações maiores que 2mm
Espanha	_____	Livre de Contaminantes
Suíça	Menos que 5% com tamanho maior que 5mm	Menos que 0,5% para frações maiores que 2mm e máximo de 0,1% de plásticos
Reino Unido	Menos que 5% com tamanho maior que 2 mm	Menos que 1% para frações maiores que 2mm e menos de 0,5% de plásticos

Fonte: BRINTON (2001).

te, pela carência de controle. Pela Legislação Brasileira, o composto produzido de resíduo urbano é denominado fertilizante orgânico e até 1982 não tinha nenhuma regulamentação quanto à sua produção, comércio e fiscalização (KIEHL 1985).

A Lei nº 6.894/80 por meio do Decreto nº 86.955/82, foi a primeira legislação específica que regulamentou a inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes e corretivos agrícolas destinados à agricultura. A Portaria nº 01 da Secretaria de Fis-

Tabela 9. Valores estabelecidos para o composto orgânico no Brasil.

Parâmetro	Valor	Tolerância
pH	Mínimo de 6,0	Ate 5,4
Umidade	Máximo de 40%	Ate 44%
Matéria Orgânica	Mínimo de 40%	Ate 36%
Nitrogênio Total	Mínimo de 1,0%	Ate 0,9%
Relação C/N	Máximo de 18/1	Ate 21/1

Fonte: KIEHL (1985); D'ALMEIDA E VILHENA (2000).

calização Agropecuária do Ministério da Agricultura estipula como especificações os parâmetros físicos, químicos e granulometria e as características dos compostos comercializados, devem obedecer essas especificações (KIEHL 1985; D'ALMEIDA E VILHENA 2000). Os valores estabelecidos para o composto no Brasil assim como a granulometria exigida são apresentados nas tabelas 9 e 10.

Na tentativa de estabelecer valores de qualidade para os compostos, KIEHL (1985) apresenta a seguinte escala para umidade, pH, relação C/N entre outros (tabela 11).

Com o intuito de regulamentar a Lei nº 6.894, de 1980, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, atribuiu o Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004, com

Tabela 10. Especificações para Granulometria segundo a Legislação Brasileira.

Granulometria	Exigência	Tolerância
Pó	95% em peneira 2 mm 50% em peneira 0,3 mm	Ate 90% em peneira 2 mm
Farelado	100% em peneira 4,8 mm 90% em peneira 2,8 mm	Ate 85% em peneira 4,8 mm
Farelado Grosso	100% em peneira 38 mm 90% em peneira 25 mm	Não há tolerância
Granulado	100% em peneira 4,0 mm 5% em peneira 0,5 mm	Ate 10% para menos

Fonte: KIEH (1985).

Tabela 11. Estimativa de valores para umidade, pH e relação C/N para composto.

Parâmetro		Nível
Umidade	Entre 15 a 25%	Ótimo
	Entre 25 a 35%	Bom
	Acima de 35%	Indesejável
Índice pH	Abaixo de 6,0	Indesejável
	Entre 6,0 e 7,5	Bom
	Acima de 7,5	Ótimo
Relação C/N	Entre 8 a 12/1	Ótimo
	Entre 12 a 18/1	Bom
	Acima de 18/1	Indesejável
Fósforo (P_2O_5)	Abaixo de 0,5%	Baixo
	Entre 0,5 e 1,5%	Médio
	Acima de 1,5%	Alto
Potássio (K_2O)	Abaixo de 0,5%	Baixo
	Entre 0,5 a 1,5%	Médio
	Acima de 1,5%	Alto
Cálcio (Ca)	Abaixo de 1,5%	Baixo
	Entre 1,5 e 3%	Médio
	Acima de ,0%	Alto
Magnésio (Mg)	Abaixo de 0,6%	Baixo
	Entre 0,6 e 1,2%	Médio
	Acima de 1,2%	Alto
Enxofre (S)	Abaixo de 0,2%	Baixo
	Entre 0,2 e 0,5%	Médio
	Acima de 0,5%	Alto

Fonte: Modificado KIEHL (1985).

instruções normativas estabelecendo limites no que se refere aos agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas (DIÁRIO OFICIAL 2004).

De acordo com o novo decreto, os estabelecimentos que produzem fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes deverão manter controle periódico das matérias-primas e dos produtos no que se refere aos contaminantes previstos na instru-

ção estabelecida. Os valores para metais estão expostos na tabela 7 e quanto aos valores permitidos para contaminantes biológicos, tem-se: coliformes fecais (1000 NMP/g), ovos viáveis de helmintos (1 em 4 gramas ST), *Salmonella sp* (3 NMP/g) e *E. coli* (100 NMP/g) (DIÁRIO OFICIAL 2004).

Quanto ao composto produzido no Brasil não é necessário, apenas, o país possuir uma legislação específica, mas sim, obter um maior controle sobre sua produção e comercialização. De qualquer maneira, deve ser levado em conta os benefícios socioambientais da prática de compostagem com maior investimentos no setor e considerar as melhorias nas produtividades agrícolas, colaborando com maior poder de marketing do produto. Em contrapartida, a falta de análises periódicas nos compostos e de controle sobre sua qualidade dificultam o mercado e não asseguram que os compostos produzidos sejam de bom nível. RODRIGUES (2004), sugere a adoção de um programa de monitoramento constante da qualidade dos resíduos e, conseqüentemente dos compostos produzidos na usinas de compostagem, garantindo a qualidade do produto e a saúde dos consumidores e do meio ambiente.

Com os problemas de qualidade dos compostos apresentados normalmente no país, um grupo de pesquisadores brasileiros, ligados a diversas instituições entre elas a Embrapa, a USP, a UNICAMP e o IAC, estabeleceu um sistema de análise de compostos que, além de servir para uma futura normatização do produto, indica quais substâncias são presentes em cada amostra e fornece indicações sobre seu uso na agricultura. O “software” que tem como sigla SIRCLUA – Sistema Inteligente para Recomendação ao Uso de Composto de Lixo Urbano na Agricultura, é utilizado, ainda, no âmbito das universidades, mas atualmente passa por uma adaptação para o uso nas usinas de compostagem do país. De acordo com VASCONCELOS (2003), o SIRCLUA proporcionará um maior controle sobre a qualidade do material produzido nas usinas de compostagem e auxiliará os produtores rurais no emprego adequado desses produtos com segurança ambiental.

A qualidade do composto será analisada segundo os padrões mínimos aceitáveis para o cultivo de cada produto agrícola e as recomendações já são feitas em dez diferentes

culturas como por exemplo, para o arroz, cana-de-açúcar, cereais, milho, mandioca, aveia entre outras (VASCONCELOS 2003). O objetivo da pesquisa realizada por esse grupo é equilibrar a capacidade do composto de fornecer nutrientes para o solo onde a cultura se desenvolverá, considerando as necessidades de nutrição das plantas e a qualidade dos produtos que serão produzidos (SILVA *et al.* 2004).

A intenção dos pesquisadores que idealizaram o “software” é oferecer o programa, gratuitamente, para que ele possa ser acessado via internet pelas usinas de compostagem e pelos agricultores em geral, significando um grande avanço e um instrumento valioso para a melhoria do composto produzido no país.

1.3.2 Mercado para o Composto

Segundo EGGERTH (1996), são identificados seis principais segmentos de mercado para o composto nos EUA:

- Agricultura: produção de alimento, não alimentos e pastagens;
- Paisagismo: propriedades industriais e comerciais; manutenção do solo (campos de golfe, cemitérios etc);
- Viveiros de plantas: plantas em vasos, plantio de raízes aéreas, produção de sementes florestais;
- Agências públicas: manutenção e paisagismo das estradas, parques, áreas de recreação e outras propriedades públicas;
- Residenciais: paisagismo de casas e jardinagem; e
- Outros: projetos de reflorestamento, cobertura de solo.

Segundo EGGERTH (1996), existem fatores que prejudicam a demanda do composto e de acordo com RODRIGUES (2004) esses fatores podem ser expandidos também para o Brasil:

- **Qualidade do Produto:** estudos de marketing realizados nos EUA identificaram que os elementos chaves para a utilização e marketing dos compostos são primeiramente a qualidade e a consistência do produto. As características que consideram

o produto de alta qualidade incluem: composto maduro com coloração escura, tamanho das partículas uniformes e odor agradável; inexistência de contaminantes visualmente identificáveis (vidros, metal e plásticos); quantidades mínimas de metais pesados (cádmio, chumbo, mercúrio), herbicidas, pesticidas e outros componentes potencialmente tóxicos; alta concentração de matéria orgânica; alto conteúdo de nutrientes; e livre de patógenos.

- **Política/Regulamentação:** a falta de políticas e regulamentações, incluindo padrões de qualidade e requisitos de processos, afetam diretamente o mercado para o composto. Adicionalmente, políticas de controle de fluxo também possuem efeitos na execução de projetos das usinas que requerem um custo e planejamento efetivos para sua implantação.
- **Competição e Produtos Complementares:** dentre os fatores que afetam a demanda, além da qualidade, estão a disponibilidade e o custo do composto no mercado comparado a outros produtos complementares. Muitos destes produtos, como por exemplo, o silte, camadas de solo, esterco e turfa têm uma longa história de disponibilidade, confiabilidade, aceitabilidade e uso na agricultura, horticultura, projetos de paisagismo, etc.
- **Transporte:** a distância também é um fator que afeta a demanda. Uma das razões é que a proximidade das usinas que fabricam o composto do mercado que irá supri-lo promovem a melhor aceitação e o reconhecimento do produto. Outro importante fator é que, em longas distâncias, o custo do transporte é caro, particularmente pelo volume do produto que tem um valor relativamente baixo. Estratégias que podem ser empregadas para abrandar os altos custos do transporte incluem o local de processamento perto do mercado, desenvolvimento de mercados locais para o composto e estabelecimento de uma rede de distribuição.
- **Falta de Popularidade do Produto:** o verdadeiro valor do composto para agricultores e horticultores é uma questão extremamente difícil de responder. Embora a compostagem tenha obtido popularidade em todo o mundo como um meio de tra-

tamento de resíduos, os reais valores do composto nunca foram completamente apreciados. Isto é, em grande parte, devido à dificuldade de se atribuir valor às melhorias nas propriedades estruturais do solo, conduzindo a uma melhor aeração, retenção de umidade e drenagem e consequentemente, melhor crescimento das plantas. No Brasil, o composto produzido nas usinas de compostagem é utilizado, na maioria das vezes, por agricultores locais, mas a popularidade dos benefícios de sua utilização ainda é muito pequena.

Nos últimos anos houve um aumento significativo na demanda por fertilizantes orgânicos por grande parcela da população mundial principalmente aqueles pertencentes ao movimento naturalista, que exigem produtos mais saudáveis e produzidos naturalmente sem a adição de fertilizantes químicos. Esta mudança nos hábitos e costumes provocou certos estímulos na agricultura, o que tornou o composto produzido a partir de resíduos orgânicos mais uma alternativa viável e conciliatória de grandes problemas mundiais como a produção exagerada de resíduos, poluição ambiental e crescente uso de fertilizantes químicos prejudiciais a saúde humana (KIEHL 1985).

Felizmente, a união de uma nova geração de sanitaristas com os proponentes da agricultura sustentável é um novo passo à frente para o setor de compostagem. A crescente preocupação com as implicações ambientais dos processos tradicionais de tratamento de resíduos, somada à demanda por insumos orgânicos “limpos” para o setor agrícola, são os principais catalisadores para o interesse na produção e uso de composto (DUGGAN e WITES 1976; BLUM 1992; LOPEZ-REAL 1994).

Os aspectos econômicos dessa equação estão, no entanto, por serem resolvidos. De acordo com a racionalidade capitalista, a compostagem de resíduos orgânicos deve gerar ganho monetário. Os benefícios ambientais e ecológicos do processo de compostagem devem pagar tributo ao seu valor econômico (BLUM 1992). A solução talvez esteja na assunção que a produção de lixo é uma externalidade das atividades do homem – assim como a poluição é uma externalidade das produções industrial e agrícola – e, portanto, a sociedade como um todo deve subsidiar seu tratamento, o qual inclui a compostagem

da fração orgânica. A comercialização do composto geraria, assim, um benefício extra ao processo. Ou, como sugere BLUM (1992), quando atingirmos o estágio de uma sociedade sustentável, “a racionalidade econômica cederá seu lugar e uma nova racionalidade ecológica será estabelecida”.

1.4 Usinas de Compostagem: Panoramas Mundial e Brasileiro

1.4.1 Panorama Mundial

A situação atual do processo de compostagem em nível mundial concentra-se mais especificamente, na Europa e nos Estados Unidos, principalmente por serem países que possuem uma tradição nesse processo com inúmeros trabalhos publicados no tema. Algumas experiências são relatadas a seguir:

Europa

Segundo DE BERTOLDI (1998), o surgimento das primeiras usinas de compostagem de resíduos sólidos municipais na União Européia, deu-se a partir dos anos 70 e incluíam os seguintes procedimentos: 1) separação mecânica da matéria orgânica biodegradável; 2) compostagem da matéria orgânica e reciclagem, principalmente, de materiais ferrosos e plásticos e 3) produção de RDF (combustível derivado de refugo).

Embora nos anos 80 muitos países europeus, incluindo Alemanha, Holanda, França, Itália, Dinamarca, Bélgica, Espanha e Portugal, terem construído suas usinas de compostagem baseadas nos procedimentos acima citados, com o objetivo de compostar cerca de 35% de resíduos sólidos urbanos, muitas usinas fecharam e novos planejamentos foram adiados. Isso ocorreu devido a diversos fatores, mas o principal foi a péssima qualidade dos compostos e dos materiais recicláveis, dificultando assim, o mercado para esses produtos (DE BERTOLDI 1988).

Dentre os fatores mencionados por DE BERTOLDI (1998) que contribuíram para o fechamento das usinas, estão os altos conteúdos de metais pesados, a presença de materiais inertes nos compostos e problemas na sua produção que, devido aos pe-

quenos espaços de tempo – 1 ou 2 semanas de compostagem –, resultavam em um material não estabilizado biologicamente. Estes fatores podem ser externalizados para os casos existentes no Brasil, pois os problemas com a qualidade dos compostos são exatamente os encontrados também na literatura brasileira, como reportado por PEREIRA NETO (1996).

Segundo DE BERTOLDI (1998), uma das principais causas dos problemas apresentados pelas usinas de compostagem na Europa era o processamento dos resíduos sólidos urbanos sem coleta seletiva, que resultava no comprometimento da qualidade dos produtos finais tanto dos materiais recicláveis quanto dos compostos.

Muitas usinas que tratavam seus resíduos de forma misturada, atualmente estão modificando esse processo, principalmente no que diz respeito a origem dos materiais compostados denominados, agora, de materiais orgânicos “limpos”, ou seja, sem inertes e com baixos conteúdos de metais pesados. Incluem nesse contexto, materiais de origem agrícola, de processamento de alimentos, jardinagem, biosólidos e de fontes separadas de RSU, apesar deste último contribuir com um pouco mais de 10% do total devido, principalmente, ao estágio inicial em que se encontra a coleta seletiva (DE BERTOLDI 1998).

Embora o gerenciamento dos resíduos orgânicos, nos últimos anos, ter se tornado um importante aspecto da política ambiental na União Européia, alguns países como Espanha, Portugal, Grécia, Irlanda e Bélgica ainda não implementaram nenhuma legislação nacional para controlar a coleta separada e posterior tratamento biológico. Na França e no Reino Unido, por exemplo, a coleta separada contribui com menos de 5%, enquanto na Itália, embora apresente legislação específica, a coleta separada atinge apenas o índice de 1% (KRANERT e BEHNSEN 2001).

Em contrapartida, atualmente existem muitos países europeus bem avançados quando se trata de separação na fonte, como por exemplo, a Áustria, Alemanha, Luxemburgo e Holanda (KRANERT e BEHNSEN 2001). Em muitas regiões da Europa, como por exemplo Helsinki, na Finlândia, a coleta separada é tão eficaz, que a fração orgânica

dos resíduos é armazenada em sacolas biodegradáveis e compostadas juntamente com os resíduos orgânicos. Em outras regiões, a coleta separada alcança cerca de 30% do total de RSU produzidos, sendo esse material utilizado para produção de composto de alta qualidade (DE BERTOLDI 1998).

Segundo DE BERTOLDI (1998), a Alemanha possui mais de 400 novas usinas de compostagem, a França em torno de 200 e a Espanha, 30. As fontes separadas de resíduos orgânicos nesses países incluem vegetais, frutas, flores, resíduos de restaurantes e de jardinagem. A coleta separada da fração orgânica biodegradável, de casa em casa, especialmente em grandes cidades, apresenta alguns inconvenientes quanto ao gerenciamento e logística da coleta. Portanto, a compostagem de resíduos misturados é ainda praticada na Europa e o composto é utilizado como fertilizante na agricultura.

Como já discutido anteriormente, a influência da qualidade da matéria-prima sobre a qualidade do composto foi no passado, e ainda é, palco de muitas discussões. Embora inúmeros autores em todo o mundo concordem sobre a necessidade da coleta seletiva, a dificuldade nesse tipo de processo, principalmente em cidades de grande porte, tornou-se um desafio a ser enfrentado. Portanto, são encontradas muitas literaturas que tratam do assunto de forma mais realista, considerando o tratamento dos resíduos de forma “misturada”, com posterior triagem, separação dos materiais recicláveis e material orgânico para a compostagem.

Espanha

A Catalunha, uma comunidade autônoma no nordeste da Espanha, tem uma população estimada em 6,3 milhões de habitantes com uma produção de cerca de 3,7 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos por ano. Desta quantidade, aproximadamente 45% consiste de resíduos sólidos orgânicos passíveis de compostagem. Anterior a década de 90, o destino para esse tipo de resíduo era o aterro sanitário e até a incineração. Seguindo as diretrizes da União Européia, o governo da Catalunha tem promovido a compostagem como processo para tratamento da fração orgânica dos RSU. Atual-

mente existem cerca de 25 usinas de compostagem operantes e 5 em construção (BARRIOS *et al.* 2004).

Segundo BARRIOS *et al.* (2004), anteriormente ao ano de 1997, período em que o governo da Catalunha iniciou o incentivo do processo de compostagem como tratamento dos RSU, apenas uma usina era operante no país. A partir de então, novas usinas surgiram e, paralelamente, pontos de coleta seletiva da fração orgânica dos RSU, aumentaram. Este feito foi também consequência da legislação da Catalunha que obriga a coleta separada da fração orgânica dos RSU em cidades com mais de 5000 habitantes.

Embora a coleta seletiva da fração orgânica tenha aumentando a cada ano, segundo os autores, o total potencial dessa atividade não foi alcançado. De acordo com dados apresentados, a coleta separada é ainda muito limitada e não há material suficiente para as usinas processarem. Em 2002, a capacidade total das usinas era em torno de 212 t/ano enquanto somente 105 t/ano de resíduos orgânicos foram seletivamente coletados (BARRIOS *et al.* 2004).

A fração orgânica dos RSU é a maior matéria-prima utilizada nas usinas da Catalunha, atingindo o índice de 61%, seguido pelos resíduos agro-industriais, embora existam usinas que processam os dois resíduos de forma conjunta. Os processos utilizados nas usinas de compostagem do país tem a seguinte porcentagem: 67% utilizam o método de pilhas estáticas, enquanto 33% em tambores rotativos com aeração forçada para o primeiro estágio, seguido de pilhas estáticas para o término da decomposição (BARRIOS *et al.* 2004). Segundo os autores, o método de pilhas estáticas é o utilizado devido ao seu baixo custo de implantação e manutenção, enquanto os tambores rotativos são usados quando não há disponibilidade de espaço e para o maior controle de odores característicos do processo.

Itália

Na Itália, existem cerca de 200 usinas de compostagem que processam diversos tipos de matérias-primas, como por exemplo, resíduos sólidos urbanos, resíduos prove-

nientes de coleta seletiva, resíduos verdes (de poda, de jardins), resíduos de indústria alimentícia e biosólidos (NEWMAN 2003).

Uma das maiores usinas existentes na Itália é também uma das maiores da Europa, e processa cerca de 190.000 t/ano de resíduos orgânicos misturados, enquanto as usinas menores que processam em torno de 10.000 t/ano, tratam, basicamente, resíduos verdes de jardinagem (NEWMAN 2003).

As usinas foram primeiramente implantadas no norte da Itália, mas nos últimos cinco anos tem-se expandido rapidamente por todo o país. Cerca de 600.000 toneladas de composto são produzidos por ano na Itália e são vendidos, na sua maioria, para agricultura, horticultura e jardinagem. A qualidade dos compostos é controlada por análises regulares e somente os produtos que alcançam os padrões estabelecidos são vendidos livremente (NEWMAN 2003).

Segundo NEWMAN (2003), as usinas existentes possuem variados graus de complexidade, variando dos mais simples sistemas de pilhas estáticas até os mais complexos sistemas de reatores para tratamento de biosólidos. A maioria das usinas encontram-se fora dos centros urbanos, mas em Milão tem-se usinas operando dentro da cidade com tecnologia muito avançada para tratamento de odores.

América do Norte

Estados Unidos

As primeiras usinas de compostagem do país iniciaram sua operação na década de 50, complementando os aterros sanitários, mas somente na década de 80, é que essa forma de tratamento emergiu acompanhando outras formas de gerenciamento dos resíduos. A maioria das tecnologias utilizadas durante este período foram importadas da Europa e no fim da década de 80 projetos de usinas no próprio país foram desenvolvidos (SATKOFSKY 2001).

Em 2001, o levantamento realizado pela *BioCycle* identificou 16 usinas em operação e 7 projetos em vários estágios de desenvolvimento. Das 16 usinas operantes, 9 usam a

Tabela 12. Resumo das usinas de compostagem operantes no Estados Unidos.

Estados	Matérias-Primas	Qq processada (t/dia)	Métodos
Arizona	RSU misturados	10	Tambores rotativos/PEA
Califórnia	Fontes separadas	300	Pilha estática aerada (PEA)
Florida	RSU misturados	75	Tambores rotativos
Geórgia	RSU misturados	300	Tambores rotativos
Iowa	RSU misturados	16	Revolvimento mecânico
Massachusetts a	RSU misturados	120	Tambores rotativos
Massachusetts b	RSU misturados	125	Tambores rotativos
Michigan	Fontes separadas	5	Pilha estática aerada (PEA)
Minnesota a	Fontes separadas	14	PEA containerizada
Minnesota b	Fontes separadas	4	Revolvimento mecânico
Minnesota c	RSU misturados	2.000 por ano	Revolvimento mecânico
Minnesota d	Fontes separadas	5	Revolvimento mecânico
Minnesota e	RSU misturados	65	Encapsulado
Ohio	RSU misturados	sem dados	Revolvimento mecânico
Tennessee	RSU misturados	150	Tambores rotativos
Wisconsin	RSU misturados	62	Tambores rotativos

Fonte: Modificado SATKOFKY (2001).

tecnologia encapsulada, com tambores rotativos e “containers” aerados. Mesmo com a aplicação desses sistemas, algumas usinas utilizam as pilhas de compostagem como segunda fase do processo. Existem ainda aquelas que compostam conjuntamente RSU e biosólidos (SATKOFKY 2001). Os estados que possuem usinas de compostagem, os tipos de matérias-primas, os métodos utilizados e as quantidades processadas são apresentados na tabela 12.

O pré processamento dos resíduos orgânicos independente do método utilizado por cada usina é o peneiramento, a trituração e a triagem manual ou mecânica. Segundo SATKOFKY (2001), embora a matéria-prima passe por um pré tratamento, plásticos e vidros são os contaminantes mais comuns encontrados no produto final. No beneficiamento do composto são utilizadas peneiras para retirada de inertes que aumentam a qualidade do produto final.

Ásia

Indonésia

Na Indonésia, os métodos de compostagem utilizados dependem das condições locais e da composição dos resíduos sólidos gerados.

Assim como no Brasil, a fração orgânica dos RSU é extremamente elevada, alcançando índices de 72% no ano de 1995. Desta forma, a disposição final desses materiais se torna muito crítica em função dos problemas de contaminação que potencialmente podem ocorrer. Em contrapartida, toda essa quantidade de matéria orgânica possui um forte potencial para ser compostada (WAHYONO e SAHWAN 1998).

Segundo os autores, há no país um custo extra para a eliminação de contaminantes que prejudicam a qualidade do produto final. Na tentativa de se evitar gastos muito elevados, esforços foram feitos para iniciar a separação dos resíduos na fonte. Infelizmente, não houve progresso nessa iniciativa por dois motivos principais: a atitude não cooperativa da população e a capacidade limitada dos veículos para transportar esses materiais (WAHYONO e SAHWAN 1998).

Além da fração orgânica presente nos RSU, a Indonésia possui abundante quantidade de resíduos agro-industriais passíveis de sofrerem o processo de compostagem. Como exemplo tem-se o óleo de palmeira, bagaço, palha de arroz, serragem entre outros. Desta maneira, os processos de compostagem no país são utilizados conforme as características dos resíduos. Os sistemas mais usados são as de pilhas estáticas (muito similares aos processos utilizados no Brasil), caixas receptoras (quando os resíduos são produzidos em pequenas quantidades), método Caspari (para a compostagem de RSU) e a vermicompostagem (WAHYONO e SAHWAN 1998).

O sistema Caspari, implantado no município de Bandung e na capital Jakarta, consiste em introduzir a fração orgânica em caixas feitas de madeira com aproximadamente 2 metros de comprimento x 2 metros de largura x 1,5 de altura. A matéria orgânica permanece nessas caixas por cerca de 36 a 41 dias com revolvimento e adição de água quando necessário. A aeração natural é suficiente, não havendo necessidade de aeração

forçada e as temperaturas podem alcançar 70°C nas primeiras semanas, assim como em outros sistemas. O composto chega à maturação dentro de 7 a 8 semanas e em algumas usinas Caspari são utilizados inoculantes de microorganismos para acelerar o processo (WAHYONO e SAHWAN 1998).

Segundo WAHYONO e SAHWAN (1998), os sistemas de compostagem utilizados na Indonésia foram implantados devido as seguintes razões:

- 1) esses sistemas não necessitam de procedimentos e equipamentos complexos sendo aplicáveis tanto para as comunidades rurais quanto para as urbanas;
- 2) o capital e os custos de operação e manutenção são relativamente menores do que em outros sistemas existentes e,
- 3) o processo de compostagem empregado é favorecido pelo clima tropical onde a temperatura atmosférica é estável e quente (25° a 30°C).

De acordo com a literatura estudada, nota-se o avanço dos países desenvolvidos em relação ao Brasil, não somente pela legislação específica que fiscaliza e controla a produção e comercialização do composto, mas também pela quantidade de usinas presentes principalmente na Europa, demonstrando que o processo é parte integrante da política de gerenciamento dos resíduos sólidos nesses países.

1.4.2 Panorama Brasileiro

A utilização do processo de compostagem por meio das usinas para tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é relativamente nova no Brasil. As primeiras usinas instaladas no país datam da década de 70 (VASCONCELOS 2003), e são acompanhadas por inúmeros problemas de processos e qualidade dos compostos que contribuem para o seu atual descrédito. A falta de aplicação da legislação específica, que estabelece normas e padrões de níveis aceitáveis para a utilização de dado composto, e a falta de controle sobre sua qualidade também prejudicam uma maior aceitação do processo de compostagem.

Não há na literatura a indicação de um número exato de usinas operantes no país, principalmente pela falta de estudos e pesquisas nessa área e a inexistência de um órgão

centralizador de dados, dificultando o acesso a esse tipo de informação. Alguns autores sugerem cerca de 70 a 75 usinas (GALVÃO JUNIOR 1994, PEREIRA NETO 1996), um número quase inexpressivo pelo tamanho do país e sua produção de resíduos cada vez mais crescente.

Dentre os estados do país, Minas Gerais se destaca pelos inúmeros estudos no tema e pelo suporte técnico oferecido por pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa para a implantação de usinas de compostagem, principalmente, em cidades de pequeno porte. A tecnologia empregada nestes municípios é de baixo custo, com aeração forçada e controle de vetores e de chorume (PEREIRA NETO 2001).

O Rio Grande do Sul também é um estado que possui algumas experiências bastante satisfatórias quanto ao reaproveitamento dos resíduos orgânicos. De acordo com SCHEREN (2000), 7 municípios da região noroeste do estado, por meio de um consórcio intermunicipal, produzem em torno de 56% de resíduos orgânicos que são encaminhados para a unidade de tratamento e retornam a esses municípios integrantes na forma de composto para a adubação em horticultura e jardinagem.

Segundo LELIS e PEREIRA NETO (2001), os termos ‘usinas de compostagem’ e ‘usinas de reciclagem de lixo’ são usados erroneamente pois não há nesses locais fabricação de qualquer tipo de substância ou produto e sim, a transformação de matéria orgânica em composto. O termo ‘reciclagem’ também não é adequado pois nestes sistemas é feita apenas a triagem de materiais recicláveis e posterior encaminhamento para as indústrias. Os autores sugerem, portanto, que seja adotada uma terminologia mais coerente com os objetivos dessas usinas e propõem o termo ‘Unidades de Triagem e Compostagem’ ou simplesmente UTC para designar tais sistemas.

Segundo PEREIRA NETO (1996), o Brasil é considerado um país ideal para o uso do processo de compostagem pela quantidade de matéria orgânica presente nos resíduos, eventuais problemas quando da sua disposição inadequada pela formação de chorume e gases tóxicos e pela necessidade freqüente de matéria orgânica nos solos. A pequena quantidade de matéria orgânica nos solos tropicais também é reportado por ZECH *et al.* (1990).

As pesquisas em relação a compostagem no país se restringem à avaliação do aumento de produtividade em culturas específicas; a análise de qualidade de compostos produzidos em experimentos em pequena escala e de fontes diferentes de matérias-primas (resíduos); a concentração de metais pesados nas culturas com aplicação de compostos e mistura de diversas matérias-primas na sua fabricação. No entanto, pesquisas de caráter mais prático ainda são pouco desenvolvidas, o que facilita o fechamento de muitas usinas por falta de conhecimento do processo pelos seus gestores. O descrédito em relação ao processo de compostagem é também consequência da pouca divulgação sobre sua importância e dos poucos investimentos no setor.

A compostagem pode ser classificada em processos lentos e acelerados. Os processos lentos são também denominados de compostagem natural, no qual a matéria orgânica, após separação dos materiais inertes, é disposta em montes nos pátios de compostagem e recebem revolvimentos periódicos para melhorar a aeração. No caso dos processos acelerados há a injeção de ar nas leiras com a intenção de diminuir o tempo de decomposição. Os processos que utilizam biodigestores também são considerados acelerados pois diminuem o tempo de decomposição no pátio, já que a degradação da matéria orgânica é iniciada no interior desses equipamentos.

Existem diferentes tecnologias de usinas implantadas no Brasil, que diferem, principalmente, quanto ao grau de mecanização e capacidade de processamento. Os principais sistemas são: Dano, Triga, Sanecom, Maqbrit, Yok, Simplificado, Cetesb, Beccari, Stollmeier e Fairfield-Hardy (GROSSI 1993; GALVÃO JUNIOR 1994; SCHALCH *et al.* nd).

Dentre as tecnologias citadas, os sistemas Dano, Triga e Fairfield-Hardy são os mais diferenciados pois são dotadas de sistemas de insuflamento de ar em unidades fechadas, denominadas bioestabilizador (Dano), higienizador (Triga) e tanque de concreto circular (Fairfield-Hardy) (GROSSI 1993; GALVÃO JUNIOR 1994). As demais se caracterizam por serem muito semelhantes entre si quanto ao processo empregado.

Muitas das usinas implantadas no país atualmente encontram-se desativadas ou paralisadas. Como dito anteriormente, a falta de um órgão centralizador de informações dificulta o acesso às informações referentes as atividades atuais dessa usinas.

De maneira geral, a grande maioria das usinas de compostagem no país se caracteriza pela existência também de um centro de triagem que separa os materiais recicláveis com algum valor econômico. Após a separação muitas usinas enfardam esses materiais – papéis, papelão, latas de alumínio e aço, plásticos de diferentes composições – no próprio local e encaminham para posterior venda. A presença desse centro é muito importante, pois, para que ocorra o processo de compostagem, a matéria orgânica presente nos resíduos deve ser separada dos outros materiais. Esse tipo de atividade é muito comum já que a coleta seletiva é inexpressiva na grande maioria dos municípios brasileiros. Quando ocorre, o objetivo maior é agregar valor aos materiais recicláveis e não separar a parte orgânica dos resíduos com a finalidade de compostar esse material.

Segundo D'ALMEIDA E VILHENA (2000), a utilização do centro de triagem sem a compostagem da fração orgânica pode se tornar um processo oneroso e sem grande retorno do ponto de vista ambiental. Contudo, quando bem gerenciadas, as usinas de triagem e compostagem podem diminuir cerca de 50% ou mais a quantidade destinada aos aterros ou afins. Desta maneira, tornam-se grandes aliados no gerenciamento dos resíduos de um município, já que diminui a quantidade de material enviado aos aterros, aumentando sua vida útil. Outros pontos positivos podem se citados: aproveitamento agrícola da matéria orgânica sob forma de adubo; reciclagem de nutrientes para o solo; é considerado um processo ambientalmente seguro além da economia no tratamento de efluentes. SCHALCH *et al.* (nd) salientam também outros pontos, como por exemplo, a instalação e utilização das usinas não causam problemas de poluição atmosférica ou hídrica e comparativamente à incineração, os custos de operação são bem menores.

Os pontos negativos incluem a necessidade de um investimento inicial; equipamentos compatíveis com a quantidade de resíduos gerados no município e os processos utilizados na transformação do adubo; operação da usina por técnicos capacitados e conhe-

cedores do processo e, finalmente, a qualidade do composto produzido (D'ALMEIDA E VILHENA 2000). SCHALCH *et al.* (nd) enumera também as seguintes desvantagens: é um método de tratamento parcial, havendo necessidade de outras formas de disposição; garantia de existência de mercado para o composto e os cuidados com o processo de compostagem em si.

De qualquer maneira, a taxa de desvio dos resíduos aos processos comumente utilizados (aterros ou lixões) é uma medição que deve ser levada em conta como um benefício extremamente importante de uma usina de triagem e compostagem sendo o melhor indicador da eficácia desse empreendimento. Esse cálculo, proposto pelo D'ALMEIDA E VILHENA (2000) pode ser realizado considerando os seguintes pontos: 1) material que será compostado; 2) material separado para a reciclagem e 3) material que será enviado ao aterro como rejeito, e pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$\frac{A + B}{C} \times 100 = \% \text{ de material destinado ao aterro}$$

Onde:

A: tonelada de resíduos destinado à compostagem

B: tonelada de resíduo segregado para a reciclagem

C: tonelada de resíduos processado pela por mês

Na usinas estudadas esse cálculo é complicado de ser realizado, uma vez que há uma certa dificuldade em se estimar a quantidade de material para cada destino (compostagem, reciclagem e aterro) pela falta de equipamentos básicos, como por exemplo, uma balança.

Uma usina de triagem e compostagem no Brasil tem seus processos operacionais divididos em duas fases básicas: a mecânica, que faz o pré tratamento dos resíduos, e a biológica, caracterizada pela produção do composto (PEREIRA NETO 2004), sendo composta pelas seguintes etapas: pátio de recepção de resíduos; triagem em uma esteira móvel com número variável de funcionários dependendo do porte da usina; equipamentos específicos como bioestabilizadores; diferentes equipamentos de separação do rejei-

Figura 5. Fluxo de materiais em uma usina de triagem e compostagem.

Fonte: D'ALMEIDA E VILHENA (2000).

to da matéria orgânica (peneiras rotativas e/ou moinhos com facas); pátio de compostagem; aterros para rejeitos, sistema de tratamento de chorume (lagoas de estabilização) e maquinário para o beneficiamento do composto (peneiras). Embora esses setores sejam de extrema importância, cada um a seu modo, muitas usinas não apresentam todas essas etapas. No caso das usinas de compostagem estudadas, a presença ou ausência de algum componente é analisada como forma comparativa na influência da qualidade do produto final. O fluxo de materiais no interior de uma usina de triagem e compostagem é apresentado na figura 5.

O pátio de recepção compreende as instalações e os equipamentos de controle do fluxo de entrada de resíduos antes de serem destinados a esteira de triagem ou catação. É simplesmente o local onde os resíduos são descarregados pelos caminhões (figura 6). Pode haver a presença de balança que contabiliza a quantidade de resíduos que dão entrada na usina. Outros equipamentos podem fazer parte do pátio de recepção, como por exemplo: moega ou tremonha e fosso com chão movediço, constituído de uma esteira de chapas metálicas, denominadas taliscas, que ao se movimentarem, ar-

rastam os resíduos. Algumas usinas não apresentam esses equipamentos, e após os resíduos serem descarregados no pátio de recepção, um funcionário fica responsável por alimentar a esteira de triagem, conforme figura 7. Com o intuito de exemplificar os setores relacionados com as usinas de compostagem, serão utilizadas figuras das próprias usinas estudadas.

A esteira de triagem é o local onde se faz a separação dos resíduos nos seu diversos componentes (figura 8). Os resíduos são movimentados de uma extremidade a outra e o grau de separação depende da quantidade de funcionários e a sua respectiva eficiência e da velocidade da esteira, ou seja, quanto menor, mais eficiente será a triagem dos materiais. Esse fator depende também da quantidade de resíduos tratados na usina. Geralmente na extremidade inicial da esteira encontram-se dois funcionários - um de cada lado - que rasgam os sacos para que os outros funcionários subsequentes façam a separação nos diversos componentes.

Figura 6. Pátio de descarga de resíduos sólidos urbanos (Município de Tarumã).

Figura 7. Pátio de descarga de resíduos com funcionário alimentando manualmente a esteira (Município de Uru).

Figura 8. Esteira de triagem dos materiais recicláveis (Município de São José do Rio Preto).

Foto cedida pela Constroeste Ambiental (Município de S. José do Rio Preto).

Figura 9. Peneira rotatória para beneficiamento do composto (Município de Tarumã).

Figura 10. Bioestabilizador do processo Dano (Município de São Paulo).

Após a esteira de catação, localizam-se os equipamentos que separam a matéria orgânica dos rejeitos que não foram retirados na esteira de triagem e que são denominadas peneiras rotatórias (figura 9). Essas peneiras possuem malhas diferenciadas dependendo dos equipamentos utilizados nas usinas e tem influência direta na compostagem do material. Outros equipamentos, como por exemplo, moinhos com facas ou martelos e triturador têm a função de reduzir as partículas grosseiras do material que será compostado. No caso dos municípios de São Paulo e São José dos Campos, após a esteira de catação localizam-se os chamados bioestabilizadores (figura 10) que possuem outras funções que serão discutidas mais profundamente.

Entretanto, existem usinas de compostagem que não possuem esses equipamentos e a retirada dos rejeitos é feita pelos próprios funcionários na esteira de catação que possuem, portanto, dupla função: retirar os materiais recicláveis e os rejeitos.

Figura 11. Pátio de compostagem com leiras piramidais (Município de Garça).

De acordo com o D'ALMEIDA E VILHENA (2000), os moinhos e trituradores foram desativados em muitas usinas no país devido a uma série de inconvenientes no seu uso, a saber: necessidade de manutenções periódicas causando a paralisação da usina; altos consumos de energia; introdução de excesso de cacos de vidro e outros materiais inertes na compostagem e redução excessiva da granulometria do material, acarretando maior compactação das leiras com possibilidade de geração de chorume.

O pátio de compostagem é o local onde a matéria orgânica sofre o processo de decomposição que leva cerca de 3 a 4 meses, variando de usina para usina (figura 11).

O correto é que o pátio de compostagem seja impermeabilizado e dotado de captação e drenagem de efluentes que deverão ser destinados ao respectivo sistema de tratamento, as chamadas lagoas de estabilização (figura 12).

Mesmo em condições adequadas de processo, há alguma produção de chorume devido a característica úmida da matéria orgânica e em locais quando a precipitação de chuvas

Figura 12. Lagoas de tratamento de chorume (Município de Parapuã).

é muito elevada. Outro fator que está diretamente ligado a produção de chorume em pilhas de compostagem é a altura e a conseqüente compactação dessas pilhas. Nesses casos, há a diminuição de espaços preenchidos por oxigênio, levando a uma situação de anaerobiose e, conseqüentemente, a geração de chorume.

Em alguns casos, como vistos nas usinas de compostagem estudadas, há a recirculação do chorume nas pilhas de compostagem (figura 13) que, por sua vez, recebem novamente o próprio líquido produzido pela decomposição da matéria orgânica presente. Não foi encontrada na literatura nenhum tipo de imposição nessa prática e segundo SCHALCH e MORAES (1988) esse tipo de atividade traz alguns benefícios como a não contaminação dos solo e, conseqüentemente, da água e também por evitar os gastos com o seu tratamento.

No pátio de compostagem, a matéria orgânica pode ser disposta tanto em leiras cônicas quanto em leiras piramidais, não havendo influência direta na compostagem. A

Figura 13. Recirculação de chorume nas pilhas de compostagem (Município de Parapuã).

influência na qualidade do produto final está no revolvimento periódico dessas leiras até a cura total do composto. Existem algumas usinas que utilizam insuflamento de ar nas leiras por meio de compressores ou exaustores, sendo uma opção ao revolvimento.

O composto após o término do período de decomposição e cura, geralmente, sofre um processo de beneficiamento que consiste no seu peneiramento em peneira com malha menor do que a da matéria orgânica com o intuito de retirar materiais grosseiros que não foram decompostos ou mesmo inertes. O objetivo do peneiramento é melhorar a fineza do composto, diminuindo sua granulometria tornando-o mais atraente aos possíveis compradores.

Os materiais mais grosseiros, mas de origem orgânica, podem retornar para as pilhas de compostagem afim de serem decompostos. Os rejeitos, tanto do beneficiamento do composto quanto os resultantes do peneiramento após a esteira de catação, são enviados aos aterros de rejeitos (figura 14) que geralmente ficam no mesmo local onde se encontram as usinas de compostagem.

Figura 14. Aterro de rejeitos juntamente com depósito de outros materiais (Município de Itatinga).

Figura 15. Materiais recicláveis armazenados nas usinas de compostagem (Município de Adamantina).

Enquanto a matéria orgânica é enviada ao pátio de compostagem para sofrer o processo de decomposição e o rejeito ao aterro sanitário, os materiais recicláveis, separados na esteira de triagem, são enfardados e armazenados para posterior venda.

Portanto, com essa atividade é possível retirar esses materiais da rota tradicional de descarte, como aterros e lixões, retornando-os ao processo produtivo como matérias-primas para novos produtos, contribuindo para aumentar a sustentabilidade do sistema.

Embora, a compostagem seja considerada um tratamento eficiente da parcela orgânica dos resíduos, LELIS e PEREIRA NETO (2001), identificam diversos fatores que têm contribuído para prejudicar o processo no Brasil. Dentre eles, são citados:

- Falta de conhecimento e critério técnico na implantação das usinas;
- Falta de diagnóstico e planejamento em relação aos locais onde serão implantadas as usinas, incluindo a falta de dimensionamento da quantidade de resíduos a ser processada;

- Adoção de tecnologias importadas;
- Implantação de sistemas “incompletos”;
- Oferta de usinas sem levar em conta às diferentes realidades;
- Falta de participação da população e de qualificação de mão-de-obra;
- Falta de controle operacional do processo de compostagem;
- Falta de monitoramento da qualidade do composto.

Quanto à falta de controle operacional no processo de compostagem, PEREIRA NETO (1995), destaca alguns aspectos que contribuem para os problemas e, conseqüentemente, para o descrédito do processo:

- Ineficiência no processo de triagem dos resíduos;
- Pátios de compostagem mal dimensionados;
- Processos anaeróbios de decomposição devido a inexistência de revolvimentos;
- Processos desenvolvidos sem controle de fatores que regem a decomposição como umidade, temperatura e oxigenação;
- Fase de maturação não concluída;
- Falta de controle dos impactos ambientais do processo quando este não é bem operado, como por exemplo, produção de odores e chorume.

A implantação de uma usina de triagem e compostagem deve fazer parte de um gerenciamento integrado dos resíduos, no qual as outras formas de tratamento também são executadas. Seu projeto, portanto, deve ser implementado considerando-se as características socioeconômicas e culturais da população no município atendido assim como nas outras formas de tratamento.

De acordo com o D’ALMEIDA E VILHENA (2000) e NAUMOFF (2004), os principais fatores a serem considerados para a implantação de uma usina de compostagem são:

- Características dos resíduos processados;
- Mercado para o composto e materiais recicláveis na região;
- Regime de trabalho a ser executado;
- Dados sobre o crescimento populacional;

- Características do processo escolhido;
- Características dos equipamentos adquiridos;
- Licença de Instalação.

No caso de São Paulo, especificamente, a licença para implantação de usinas de compostagem é fornecida pela CETESB e é dividida em Licença Prévia, que analisa o planejamento preliminar de um empreendimento, Licença de Instalação, que permite a instalação do empreendimento em um local específico quando este atende às exigências ambientais e Licença de Operação, que deve ser requerida após a Licença de Instalação para que possa ser dado o início das atividades. As usinas de compostagem são sujeitas ao Licenciamento Ambiental da Cetesb por serem consideradas fontes de poluição (SCHIMIDT 2004).

Complementarmente, deve ser elaborado um Relatório Ambiental Preliminar (RPA) para análise do DAIA/SMA, que decidirá sobre a necessidade de EIA/RIMA para o caso (D'ALMEIDA E VILHENA 2000).

Considerando a parte econômica, um dos grandes entraves para a implantação das usinas de compostagem é que ela é encarada, muitas vezes, como um empreendimento industrial devendo, portanto, ser lucrativa sob o ponto de vista comercial. No entanto, as vantagens ambientais e sociais não são consideradas e segundo MONTEIRO (2001), as receitas diretas da venda desses materiais dificilmente cobrirão os custos de operação das usinas. Entretanto, segundo este autor, o quadro se mostra altamente favorável quando se ponderam as receitas indiretas, caracterizadas pelos benefícios ambientais e sociais dessa operação.

De acordo com BAPTISTA (nd), a maioria das usinas em operação normalmente contemplam apenas os resultados financeiros da comercialização do material reciclável e do composto orgânico, não sendo consideradas as receitas indiretas e a economia gerada pela recuperação e utilização dos resíduos orgânicos, acarretando uma defasagem entre a receita declarada e a que realmente é obtida.

Finalizando, um estudo de viabilidade econômica deve levar em conta alguns pressupostos, como por exemplo, a quantidade adequada de resíduo disponível para o trata-

mento, a existência de demanda para a comercialização do produto, os custos da separação, coleta, transporte, armazenamento e preparação dos resíduos, existência de tecnologia de baixo custo para a transformação dos resíduos, proximidade do local de geração ao local de recuperação, características e aplicabilidade do produto resultante e a economia gerada pela minimização do quantitativo de resíduos sólidos urbanos a serem dispostos adequadamente no solo. Considerando todos esses fatores, as usinas de compostagem tornam-se altamente viáveis, complementando outras formas de tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

2 OBJETIVOS

Os objetivos do estudo em questão dividem-se em geral e específicos, a saber:

2.1 Geral

Avaliar as usinas de compostagem do estado de São Paulo implantadas e em operação em relação à qualidade do composto e seus processos de produção.

2.2 Específicos

- a) Caracterizar e descrever os processos das usinas de compostagem estudadas;
- b) Caracterizar os resíduos sólidos urbanos destinados às usinas de compostagem estudadas, mediante análise gravimétrica;
- c) Avaliar a qualidade do material pré-tratado destinado ao pátio de compostagem das usinas;
- d) Avaliar a qualidade do composto resultante para posterior adição ao solo;
- e) Comparar a qualidade do composto entre os diferentes processos.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho teve os seguintes passos metodológicos, descritos a seguir:

3.1 Levantamento Bibliográfico

A pesquisa bibliográfica contida nesse estudo concentrou-se na problemática da geração e disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, nos fatores que regem o processo de compostagem, na qualidade e mercado para o composto e nas experiências reais do processo no Brasil e no mundo por meio das usinas de compostagem. Na parte introdutória, os conceitos de sustentabilidade e educação ambiental foram utilizados para estabelecer um paralelo das condições atuais de desenvolvimento que, por sua vez, trazem implicações concretas nas saúdes humana e ambiental.

Os materiais que serviram como embasamento teórico para a pesquisa em questão foram encontradas em diversas instituições públicas representadas pelas universidades públicas e federais que possuem uma excelente base de dados permitindo a troca de materiais entre instituições. Além disso, a biblioteca da CETESB e conversas informais com técnicos da LIMPURB e de demais órgãos ligados a área de resíduos sólidos foi de imprescindível colaboração para esse estudo.

3.2 Levantamento, Seleção e Contato com as Usinas em Estudo

Para o levantamento das usinas de compostagem existentes no estado de São Paulo partiu-se das informações publicadas no Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domésticos – IERSD (CETESB 2003) resultando em um total de 24 usinas dentre os 645 municípios que compõem o estado.

O IERSD é uma ferramenta extremamente importante para o acompanhamento da situação dos locais de destinação final de resíduos dos municípios componentes do estado de São Paulo e através desse relatório foi possível ter acesso às informações referentes aos municípios e os enquadramentos das usinas nos Índices de Qualidade das Usinas de Compostagem, representados pela sigla IQC.

Tabela 13. Municípios do estado de São Paulo, os índices de qualidade de suas usinas de compostagem (IQC) e a situação encontrada na época do levantamento e seleção da amostra.

MUNICIPIOS	IQC	MUNICIPIOS	IQC
Adamantina*	2,9	Martinópolis*	6,9
Araraquara ⁽¹⁾ (T)	7,1	Osvaldo Cruz*	3,3
Araras (T)	5,9	Parapuã ^{(2)*}	7,1
Arealva (T)	5,9	Presidente Bernardes*	8,7
Assis*	6,9	Promissão (T)	3,1
Bocaina*	6,6	São José dos Campos*	9,7
Cafelandia (T)	6,0	São José do Rio Preto*	8,3
Garça*	6,7	SP - São Mateus (F)	6,5
Guaira*	6,1	SP - Vila Leopoldina*	8,2
Iacanga (T)	5,1	Taiaçu ⁽³⁾ (T)	6,1
Itatinga*	7,4	Tarumã*	8,1
Lençóis Paulista (T)	5,9	Uru ^{(4)*}	7,4
Lins (T)	4,1		

⁽¹⁾ Recebe resíduos dos municípios de Américo Brasiliense e Santa Lucia.

⁽²⁾ Recebe resíduos dos municípios de Bastos, Iacri e Rinópolis.

⁽³⁾ Recebe resíduos do município de Taiuva.

⁽⁴⁾ Recebe resíduos do município de Pongáí.

(T) = Usina em operação somente com triagem de materiais recicláveis.

(F) = Usina fechada.

* = Faz compostagem.

Obs: Foram avaliadas apenas as unidades efetivamente em operação nos anos de 2003/2004, período de realização do estudo.

A partir do levantamento realizado junto à CETESB, os contatos foram realizados via telefone com o setor de limpeza urbana das prefeituras dos 24 municípios iniciando a seleção da amostra a ser estudada, uma vez que, por meio das informações obtidas, foram identificadas apenas 14 usinas que realizam o processo de compostagem. As demais apenas efetuavam a triagem dos materiais recicláveis na época do estudo e, portanto, foram excluídas desta pesquisa.

Após o primeiro contato, o próximo passo foi o envio de solicitação formal para a realização dos estudos. É importante ressaltar que em todos os casos a permissão não só foi concedida, como também o estudo foi recebido com uma grata surpresa e reconhecimento pelos gestores das usinas que, em alguns municípios, nunca tiveram a presença de um pesquisador dentro de suas instalações.

A tabela 13 apresenta os municípios encontrados no IERSD, os enquadramentos das usinas quanto ao IQC e a situação na época do levantamento.

3.3 Instrumento de Coleta de Dados

3.3.1 Elaboração e Aplicação do Questionário

A elaboração do questionário teve como objetivo a obtenção de informações estruturais e operacionais das usinas em estudo adicionando dados de extrema importância ao conjunto da pesquisa colaborando para a discussão dos objetivos. O questionário foi aplicado pela pesquisadora aos gestores das 14 usinas visitadas no período da primeira coleta de amostras realizada no inverno de 2003. O questionário encontra-se no ANEXO.

3.3.2 Coleta de Amostras

Neste estudo foram consideradas 3 tipos de amostras: dos resíduos sólidos urbanos gerados nos municípios, do material pré-tratado (material-base) enviado ao pátio de compostagem e, finalmente, do composto resultante do processo. A coleta de amostras foi realizada em dois períodos distintos: inverno (ano 2003) e verão (ano 2004), devido as características de sazonalidade na geração de resíduos.

3.3.2.1 Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos e do Material-Base

3.3.2.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos urbanos foram considerados, neste estudo, como matéria-prima já que representam os materiais produzidos nos municípios e destinados às usinas de compostagem. Para seu estudo foram coletadas amostras dos resíduos na chegada às usinas, através da adaptação do método de amostragem de resíduos sólidos, conforme ABNT NBR 10007 (1987) e método do quarteamento proposto por STECH (1982).

O objetivo da amostragem é a obtenção de uma amostra representativa, ou seja, a coleta de uma parcela do resíduo a ser estudada que, quando analisada, apresente as mesmas características e propriedades de sua massa total.

Para a execução das atividades de amostragem é necessária a utilização de equipamentos de segurança (luvas), sacos plásticos para acondicionamento das amostras, balanças etc.

No procedimento da amostragem, utilizou-se o método de quarteamento, que consiste num processo de separação pelo qual uma amostra bruta é dividida em quatro partes iguais (os quartis), sendo tomadas duas partes opostas entre si para consistir uma nova amostra, descartando-se as duas partes restantes. As duas partes não descartadas são misturadas totalmente e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha o volume desejado, tomando-se o cuidado de tomar quartis em posição oposta aos tomados anteriormente (STECH 1982).

De acordo com as condições encontradas devido a variação do porte das usinas, a técnica de amostragem foi adaptada às condições locais. De pequenas usinas que processam cerca de 5 toneladas/dia a usinas que processam 100 vezes mais, a falta de maquinaria para revolvimento dos resíduos, de funcionários na coleta da amostra e de outros fatores de ordem estrutural, como a falta de local apropriado para a amostragem, dificultaram o trabalho de caracterização. Mas é importante ressaltar que a amostragem e a caracterização foram padronizadas para todas as usinas em estudo.

No caso de Parapuã e Uru, que fazem consórcios com localidades vizinhas, a quantidade coletada para a amostragem foi de acordo com as quantidades produzidas, proporcionalmente, nos municípios.

As seguintes etapas foram executadas nos procedimentos de amostragem:

- 1) Descarregamento dos resíduos contidos no caminhão de coleta;
- 2) Coleta, na pilha resultante da descarga, quatro amostras de 100 L cada, utilizando tambores ou pá carregadeira (no caso de municípios com grande geração de resíduos, como por exemplo, São José do Rio Preto, São José dos Campos e São Paulo);
- 3) Disposição dos resíduos sobre uma lona;
- 4) Quarteamento dos resíduos;
- 5) Caracterização dos resíduos (figura 16).

Figura 16: Caracterização da matéria-prima destinada à usina de compostagem (Município de São José dos Campos).

Figura 17: Fração orgânica presente na caracterização dos resíduos.

A análise gravimétrica foi utilizada na amostragem dos resíduos e consiste na caracterização dos componentes que chegam às usinas servindo como primeira fonte de dados sobre os resíduos destinados à compostagem. A caracterização consiste em determinar as porcentagens de materiais presentes nos resíduos, como por exemplo, porcentagem de matéria orgânica (figura 17), de vidros, de metais, de plásticos rígidos e filme, outros componentes como trapos, caixinhas longa-vida e rejeitos. Os rejeito, nesse caso, são todos os materiais que não possuem valor de mercado e que não tem serventia tanto para a produção do composto quanto para o enfardamento para posterior venda. São considerados rejeitos, portanto, embalagens metalizadas, papel higiênico, absorventes, fraldas etc.

Os resíduos foram separados nos diversos componentes e pesados em sacos de ráfia com balança manual e descartados no próprio local. A utilização da balança manual foi necessária devido a ausência de balança em algumas usinas estudadas.

3.3.2.1.2 Material-base

O material-base é caracterizado nesse estudo como o material que, após a triagem realizada pelos operadores das usinas e o pré-tratamento por meio de peneiras rotatórias, moinhos e/ou trituradores, é encaminhado para o pátio.

Para que o material-base possa ser transformado em composto e utilizado como condicionador de solo é necessário que ele contenha apenas restos de alimentos, de jardinagem e de varrição. Assim, todo e qualquer material que não seja adequado para a produção do composto, quer esse material seja orgânico ou não, como papéis, papelão, tampas de refrigerantes (metálicas ou plásticas), garrafas PET, cliques, pilhas, absorventes higiênicos etc, é considerado como impureza. Vale ressaltar, uma vez mais, que o termo “impureza” tem um significado particular e específico neste trabalho.

Em relação a esse material, foram realizados os mesmos procedimentos de amostragem por meio do quarteamento e a caracterização dos resíduos, dividindo-os apenas em matéria orgânica e impurezas (figura 18).

Figura 18. Caracterização do material-base.

3.3.2.2 Coleta de Compostos

O composto de resíduos sólidos urbanos é produzido por inúmeros materiais orgânicos diferentes e, portanto, necessita de uma amostragem cuidadosa. As amostras de compostos foram coletadas em vários pontos diferentes nas pilhas, tanto de altura quanto em profundidade. No local retirou-se uma amostra de 5 kg, a qual foi acondicionada em sacos plásticos lacrados imediatamente após a coleta e encaminhada ao laboratório. No laboratório, após um novo quarteramento, foi retirada uma sub-amostra com 0,5 kg, mantida a temperaturas abaixo de 4°C para posterior encaminhamento para as análises químicas. O restante do material, cerca de 4,5 kg foi acondicionado em sacos plásticos e enviados para as análises físicas.

O esquema apresentado a seguir tem o objetivo de facilitar a compreensão sobre os procedimentos adotados nas coletas das amostras:

Sendo:

- 1) Amostragem dos resíduos (matéria-prima) que chegam às usinas;
- 2) Amostragem dos resíduos (material-base) após a triagem pelos operadores;
- 3) Amostragem dos compostos após o processo de compostagem.

3.3.3 Análises Físicas e Químicas nos Compostos

3.3.3.1 Análises Físicas

As análises físicas compreenderam testes de granulometria, densidade real e aparente e conteúdo total de plástico, vidro e outros contaminantes e foram realizadas no Laboratório de Processos Metalúrgicos do Departamento de Metalurgia e Materiais da Escola Politécnica/USP.

Análise Granulométrica

Para a determinação da granulometria dos compostos produzidos nas usinas de compostagem do estado de São Paulo foi utilizada a metodologia de análise de solo conforme EMBRAPA (1979), descrita a seguir:

- 1) Quarteamento das amostras levadas ao laboratório;
- 2) Estufa a 65°C por 24 horas;
- 3) Pesagens das amostras;
- 4) Agitador mecânico por 10 minutos com as seguintes peneiras (em cm): 22,2; 19,1; 12,7; 7,93; 4,8; 2,00 e menor que 2,00.
- 5) Pesagem do material retido em cada peneira.

Densidade Real

As análises de densidade real dos compostos foram determinadas de acordo com o método do balão volumétrico do manual de análise de solo da EMBRAPA (1979). Foram obtidas os pesos das amostras secas a 105°C e transferidas para um balão volumétrico de 100 mL. Adicionou-se álcool etílico com uma bureta de 50 mL, agitando bem o balão para a eliminação de bolhas. Na ausência de bolhas completou-se o volume do balão e anotou-se o volume de álcool gasto.

Cálculo

A densidade real dos compostos é dada pela seguinte formula:

$$DR = \frac{\text{peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C}}{(100 - \text{volume de álcool gasto})}$$

Densidade Aparente

As análises de densidade aparente dos compostos foram determinadas de acordo com o método do anel volumétrico do manual de análise de solo da EMBRAPA (1979). Foram obtidos os volumes dos recipientes de alumínio que continham as amostras e levados à estufa a 105°C por 48 horas. Após esse período, as amostras foram retiradas e pesadas.

Cálculo

A densidade aparente dos compostos é dada pela seguinte formula:

$$DA = \frac{\text{peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{volume do recipiente}}$$

Conteúdo Total de Contaminantes

Para o conteúdo total de contaminantes foi utilizada uma metodologia italiana conforme método proposto por TROMBETTA *et al.* (1992) descrita a seguir:

Materiais

- 1) 500g da amostra do composto são pesados e em seguida, descarta-se a fração inferior a 1mm e transfere-se o material para um recipiente de vidro no qual adiciona-se água oxigenada 130 volumes, em quantidade suficiente para se obter a oxidação total da substância orgânica.
- 2) A oxidação completa da substância orgânica é evidenciada pela ausência de efervescência e normalmente leva o tempo aproximado de 2 horas.
- 3) O resíduo é transferido para uma peneira de malha quadrada de 1x1 mm, onde é lavado várias vezes com água. O material que não passar pela peneira é descrito como areia grossa, vidro, plástico e outros materiais inertes : este material é seco em estufa a 105° C até a constância da massa.
- 4) O material seco é então distribuído sobre uma superfície lisa e plana e com pinças adequadas são separados manualmente os fragmentos de vidro e plástico.

- 5) As frações de vidro e plástico são finalmente pesadas e suas massas são relacionadas à massa da amostra inicial seca.

Cálculos

Para os cálculos utiliza-se a seguinte expressão:

- Conteúdo total de vidro:

$$VT (\%) = \frac{PV}{PS} \cdot 1000$$

Onde:

VT= conteúdo de vidro na amostra (% sobre o seco)

PV = peso do vidro recolhido

PS = peso seco do componente inicial

- Conteúdo total de plástico:

$$PIT (\%) = \frac{PPI}{PS} \cdot 1000$$

Onde:

PIT= conteúdo de plástico na amostra (% sobre o seco)

PPI = peso do plástico recolhido.

PS= peso seco do componente inicial

3.3.3.2 Análises Químicas

Pela dificuldade de alguns laboratórios realizarem todas as análises químicas solicitadas devido a falta de equipamentos específicos, os compostos das usinas foram encaminhados para três laboratórios distintos, a saber: Laboratório de Química Ambiental do Instituto de Química da Escola de Engenharia de São Carlos/USP, Laboratório de Análises Químicas (CAQI) da Escola de Engenharia de São Carlos/USP e Laboratório de Análise Química de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu/UNESP. As análises químicas compreendem os parâmetros de controle de qualidade dos compostos e estão

foram analisados o pH, matéria orgânica, N total, C total, NH_4^+ , NO_3^- , P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, S, Cd, Cr, Ni, Pb, CTC e a relação C/N dos compostos e condutividade.

Para as determinações dos parâmetros foram utilizados os métodos descritos por ALLISON (1965), CLAESSEN (1997), KIEHL (1985), JACKSON (1967), SILVA (1999), SOLID SAMPLE MODULE (2001), VAN RAIJ *et al.* (1987).

3.4 Análises Estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância e posterior separação das médias pela aplicação de Teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$) com o intuito de comparar as usinas e processos entre si. Para esse fim, foi utilizado o software MINITAB 13.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características Locacionais e Socioambientais dos Municípios

Estudados

É extremamente importante conhecer as características dos locais estudados, não só em relação a qualidade ambiental, mas também os aspectos sociais das regiões, como IDH – Índice de Desenvolvimento Humano e IPRS – Índice Paulista de Responsabilidade Social (tabela 14).

Os dados apresentados na tabela 14 indicam em quais Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) os municípios estudados se enquadram, além do total de população rural e urbana de cada região, dados estes fornecidos pela Secretaria de Meio Ambiente (2002).

Tabela 14. Características locacionais e socioambientais dos municípios estudados.

Características Socioambientais						
Municípios	UGRHI	População			Indicadores Sociais	
		Total	Urbana	Rural	IDH	IPRS
Adamantina	Peixe	33.470	30.342	3.128	0,876	3
Assis	M.P	87.144	83.281	3.863	0,875	3
Bocaina	Tietê/Jacaré	9.387	8.494	893	0,871	3
Garça	Aguapei	43.163	36.391	6.772	0,816	4
Itatinga	M.P	15.438	13.525	1.913	0,688	4
Martinópolis	Peixe	22.344	17.973	4.371	0,838	3
Osvaldo Cruz	Peixe	29.635	26.136	3.499	0,868	3
Parapuã	Peixe	11.113	8.502	2.611	0,792	3
P. Bernardes	P.P	14.640	10.152	4.488	0,813	3
S.J. dos Campos	Paraíba do Sul	538.909	532.403	6.506	0,869	1
S.J. do Rio Preto	Turvo/Grande	357.862	336.998	20.864	0,874	1
São Paulo	Alto Tietê	10.406.166	9.785.640	620.526	0,866	1
Tarumã	M.P	10.747	9.650	1.097	0,834	1
Uru	Tietê/Batalha	1.401	986	415	0,759	3

Siglas: M.P: Médio Paranapanema; P.P: Pontal do Paranapanema.

Fonte: SMA (2002).

O IDH – Índice de Desenvolvimento Humano, criado pela Nações Unidas, mede, por meio de indicadores, as condições de vida da população. Essas condições incluem alimentação, saúde, oportunidade de educação, trabalho e renda e é fornecida segundo o índice de longevidade (indicado pela esperança de vida ao nascer), índice de educação (taxa de alfabetização de adultos e de matrículas no ensino fundamental, médio e superior) e índice de renda per capita. Os valores são expressos na escala de zero a um, enquadrando os municípios em 3 categorias (SMA 2002), a saber:

$0,0 < \text{IDH} < 0,5$: Baixo Desenvolvimento Humano

$0,5 < \text{IDH} < 0,8$: Médio Desenvolvimento Humano

$0,8 < \text{IDH} < 1,0$: Alto Desenvolvimento Humano

Segundo os dados apresentados, apenas os municípios de Itatinga, Parapuã e Uru se enquadram no Índice Médio de Desenvolvimento Humano, enquanto os municípios remanescentes apresentam Alto Índice de Desenvolvimento Humano. Esse tipo de informação é importante quando a geração de resíduos *per capita* e sua composição são estudadas. Por meio da composição gravimétrica dos resíduos gerados é possível conhecer a realidade da população atendida, sendo representada nos percentuais de cada material encontrado.

O IPRS – Índice Paulista de Responsabilidade Social, embora criado em virtude do IDH, incorpora um maior índice de variáveis nas dimensões consideradas e tem como objetivo medir o progresso social e orientar as políticas públicas municipais (SMA 2002).

O IPRS é dividido em 4 categorias, a saber: 1 - Pólos, 2 - Economicamente Dinâmicos e de Baixo Desenvolvimento Social, 3 - Saudáveis e de Baixo Desenvolvimento Econômico e 4 - Baixo Desenvolvimento Econômico e em Transição Social. Dentre os municípios estudados, tem-se a seguinte classificação: 1 - São José dos Campos, São José do Rio Preto, São Paulo e Tarumã; 3 - Adamantina, Assis, Bocaina, Martinópolis, Osvaldo Cruz, Parapuã, Presidente Bernardes e Uru e, finalmente, 4 - Garça e Itatinga, não havendo nenhum município integrante da classificação 2. O interessante de se notar nestes dados é a presença de um município de pequeno porte entre os considerados nível 1, como é o caso de Tarumã. A presença de indústrias na região colabora com esse alto índice.

4.2 Características e Processos Utilizados nas Usinas de Compostagem Estudadas

As usinas de compostagem do estado de São Paulo são enquadradas, como dito anteriormente, em índices calculados pela CETESB. Os Índices de Qualidade das Usinas de Compostagem (IQC) são adquiridos por meio de uma avaliação composta de um questionário o qual abrange, principalmente, características locacionais, estruturais e operacionais de cada instalação, ficando a cargo do observador enquadrar cada item a um valor que varia de 0 a 10, obtendo uma média e chegando-se a um resultado final.

Apesar da complexidade deste tipo de avaliação pela subjetividade e pela falta de consideração da qualidade da matéria-prima destinada ao processo de compostagem além da qualidade do produto final, de nenhuma maneira tem sua importância diminuída, já que no Brasil são muito escassas as informações sobre as condições atuais da disposição e/ou tratamento de resíduos. A crítica em relação a esse tipo de avaliação encontra-se nos aspectos levantados que configuram muito mais uma pesquisa de licenciamento do que propriamente de avaliação.

Figura 19: Condições das usinas de compostagem do estado de São Paulo, de acordo com os enquadramentos da pesquisa realizada pela CETESB.

Fonte: CETESB (2003).

Tabela 15. Evolução dos IQCs das usinas de compostagem do estado de São Paulo - Período de 1997 a 2002.

MUNICÍPIOS	IQC					
	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Adamantina	5,8	5,8	4,6	4,6	2,8	2,9
Assis	6,7	7,2	7,6	—	7,6	6,9
Bocaina	—	—	—	—	—	6,6
Garça	6,2	7,1	5,7	5,6	6,5	6,7
Itatinga	—	4,6	6,7	7,4	—	7,4
Martinópolis	—	—	—	—	—	6,9
Osvaldo Cruz	3,7	3,0	3,6	3,6	1,9	3,3
Parapuã	—	7,0	—	6,7	6,5	7,1
Presidente Bernardes	—	—	—	7,2	8,7	8,7
São José dos Campos	9,9	9,7	9,6	8,9	8,9	9,7
São José do Rio Preto	8,4	8,4	8,4	8,6	8,1	8,3
SP - Vila Leopoldina	4,5	6,7	—	7,5	—	8,2
Tarumã	8,1	8,1	7,9	8,1	8,1	8,1
Uru	—	—	—	8,4	8,2	7,4

Fonte: CETESB (2003).

Entretanto, de acordo com o IERSD (CETESB 2003) as usinas operantes no estado de São Paulo enquadram-se nas seguintes condições apresentadas na figura 19.

Os dados da figura 19 demonstram que mais da metade das usinas encontradas no estado apresentam condições aceitáveis e adequadas e comparativamente aos anos subsequentes a 1997 (tabela 15), verifica-se uma melhora significativa nas condições de algumas usinas, embora outras tenham decaído no valor do índice.

Analisando os valores do IQCs para as usinas de compostagem do estado de São Paulo, desde o ano de 1997, percebemos a evolução dos municípios de Garça, Itatinga, Osvaldo Cruz, Parapuã, Presidente Bernardes, São José dos Campos, São José do Rio Preto, São Paulo e Tarumã.

A queda de índice mais significativa dentre as usinas estudadas foi o valor apresentado para Adamantina que, em 1997 obteve o IQC 5,8 e em 2002, 2,9. Os municípios de Assis e Uru tiveram um queda mais branda, enquanto Bocaina e Martinópolis não tiveram seus valores divulgados antes de 2002.

Os processos utilizados nas usinas de compostagem do estado de São Paulo diferem principalmente quanto aos equipamentos, mão-de-obra e capacidade de processamento e são descritos a seguir. Os detalhes de funcionamento das usinas serão discutidos a diante.

1) Processo DANO

O processo DANO é de origem européia e é o mais diferenciado dos processos estudados, pois utiliza um bioestabilizador como uma etapa de aceleração da fermentação da matéria orgânica. Os resíduos nesse processo após descarregamento no pátio, passam pela triagem, onde se retiram os materiais passíveis de reciclagem (metais, vidros, plásticos, papéis). O restante do material é enviado ao chamado bioestabilizador, um tubo cilíndrico com aproximadamente 3,50 metros de diâmetro por 28,0 metros de extensão. É também chamado biodigestor ou, simplesmente, bio (figura 20).

A função do bioestabilizador é, enquanto gira, encaminhar o material de uma extremidade a outra. O tempo de duração desse trajeto varia de acordo com a usina, mas a recomendação é que esse tempo seja de 72 horas. Durante esse trajeto, os resíduos são tombados sucessivamente e sofrem a ação dos microorganismos que iniciam a degradação do material, com temperaturas atingindo marcas superiores a 55°C.

Figura 20. Esquema de uma usina do processo Dano.

Fonte: D'ALMEIDA E VILHENA (2000).

Este processo é aplicado nos municípios de São Paulo (Vila Leopoldina) e São José dos Campos. Apesar de semelhantes, cada usina possui suas particularidades em relação ao processo e serão discutidos mais profundamente adiante.

2) Processo GAVAZZI

O processo Gavazzi é um modelo simplificado para processamento dos resíduos em cidades de pequeno e médio portes. Também apresenta algumas diferenças entre usinas, mas a maioria é composta por pátio de descarregamento dos resíduos, moega, esteira de catação com variação no número de funcionários de acordo com o volume processado e peneira giratória com variação no tamanho das malhas (figura 21).

A peneira separa os materiais orgânicos dos rejeitos que serão enviados para o pátio de compostagem e para o aterro, respectivamente. O composto, após terminada a cura no pátio, é peneirado com o intuito de se retirar o máximo possível de contaminantes (inertes) e diminuir as partículas do composto, melhorando assim, seu aspecto (fineza).

As cidades estudadas que apresentam o Processo Gavazzi como estrutura das usinas de compostagem são: Adamantina, Garça, Parapuã, São José do Rio Preto e Uru.

Figura 21. Modelo de usina Gavazzi.

Fonte: Fluxograma doado pela Prefeitura de Adamantina.

3) Processo LIXOK

O processo do fabricante Lixok, atualmente fora do mercado, se assemelha aos processos apresentados pela empresa Gavazzi. O município que tem esse método de compostagem é Itatinga.

4) Processo MAQBRIT

O processo Maqbrit também se enquadra em um sistema simplificado de tratamento de resíduos pois é composto de um fosso de recepção onde os resíduos são transferidos para a esteira de catação para a retirada dos materiais recicláveis. Após a triagem, os materiais são triturados em um moinho ou sofrem o processo de peneiramento onde são levados para o pátio de compostagem para a decomposição do material orgânico (figura 22).

Os municípios que apresentam este sistema para o processamento dos resíduos são Martinópolis e Tarumã. Em Martinópolis, após a triagem realizada pelos funcionários, os resíduos são encaminhados para uma peneira giratória, enquanto que, em Tarumã, o processo é de trituração dos resíduos. Em ambos os casos são utilizadas peneiras para o beneficiamento do composto.

Figura 22. Modelo de usina MAQBRIT.

Fonte: GALVÃO JR (1994).

5) Processo STOLLMEIER

O processo Stollmeier é extremamente simplificado com um sistema de recepção de resíduos tipo moega com ou sem esteira de elevação onde o material é captado e depois transferido para a esteira de catação para a retirada dos materiais recicláveis. Após a separação, o material pode seguir dois caminhos distintos, dependendo do modelo da usina: 1) saindo da esteira, o material é enviado diretamente para o pátio de compostagem (figura 23) ou 2) o material é triturado antes de sofrer o processo de decomposição no pátio (figura 24).

Figura 23. Modelo de usina Stollmeier sem trituração de resíduos.

Fonte: Catálogo Usinas Stollmeier Ltda.

Figura 24. Modelo de usina Stollmeier com trituração de resíduos.

Fonte: Catálogo Usinas Stollmeier Ltda.

O único município, dentre todos os estudados, que não possui tratamento dos resíduos após a triagem é Osvaldo Cruz. Após a separação realizada pelos funcionários, o material orgânico é enviado ao pátio de compostagem. Desta maneira, os operadores possuem dupla função: retirar os materiais recicláveis e o rejeito.

Os municípios de Bocaina e de Presidente Bernardes também têm como fabricante o processo Stollmeier mas utilizam, respectivamente, a trituração e o peneiramento após a triagem como tratamento da matéria orgânica.

6) Processo IGUAÇUMEC

O processo Iguaçumec é utilizado pelo município de Assis e é idêntico ao processo Maqbrit. Os resíduos são depositados no pátio de descarregamento e encaminhados para a esteira de catação com a ajuda de uma tremonha. Os resíduos, após a triagem sofrem a trituração para a diminuição das partículas e o material é enviado ao pátio de compostagem.

As principais características das usinas estudadas, juntamente com o número de habitantes e produção de resíduos nos municípios são apresentados na tabela 16.

Existe uma variação no número de habitantes que compõem os municípios estudados e, conseqüentemente, na quantidade de resíduos gerados. Essa diferença também é expressa na geração de resíduos *per capita*.

Dentre os municípios estudados existem dois (Parapuã e Uru) que fazem consórcio com municípios vizinhos, contribuindo para que esses locais manejem seus resíduos de forma conjunta, então, a geração de resíduos, por habitante, é relacionada de uma maneira geral, não considerando os municípios independentemente.

A geração de resíduos *per capita* tem maiores índices nos municípios de São Paulo e São José do Rio Preto, com 1,40 e 1,05 respectivamente, enquanto que nos demais municípios a média de produção gira em torno de 0,63 kg/hab. Os altos índices expressos por São Paulo e São José do Rio Preto demonstram que são cidades de grande porte

Tabela 16. Características das usinas de compostagem estudadas.

Municípios	Características						
	Número de Habitantes	Produção Resíduos (t)	Quantidade Processada (t)	Geração/ hab. (kg)	Processo	Nº de Funcionários	Preço/ Tonelada (R\$)
Adamantina	33.000	20	20	0,60	Gavazzi	27	20,00
Assis	90.000	70	70	0,77	Iguacumec	126	Doação
Bocaina	10.000	7	7	0,70	Stolmeier	14	220,00
Garça	43.000	25	25	0,58	Gavazzi	23	30,00
Itatinga	16.000	9,5	9,5	0,59	Lixok	18	Doação
Martinópolis	22.000	15	15	0,68	Maqbrit	10	30,00
Oswaldo Cruz	30.000	25	25	0,83	Stolmeier	22	25,00
Parapuã	48.200 ¹	23	23	0,48	Gavazzi	20	10,00
Presidente Bernardes	15.000	6	6	0,40	Stolmeier	15	—
S.J. dos Campos	539.000	500	160	0,93	Dano	20	20,00
S.J. do Rio Preto	360.000	380	380	1,05	Gavazzi	85	40,00
São Paulo	10.000.000	14.000	800	1,40	Dano	150	Variável
Tarumã	11.000	5,5	5,5	0,50	Maqbrit	18	35,00
Uru	5.000 ²	2,5	2,5	0,50	Gavazzi	8	30,00

¹ Parapuã (11.000 hab.) faz consórcio com mais três municípios, a saber: Rinópolis (10.000 hab.), Bastos (20.500 hab.), Iacri (6.700 hab.).

² Uru (1.500 hab.) faz consórcio com o município de Pongai (3500 hab.).

Nota: Dados obtidos por meio do questionário aplicado aos gestores das usinas.

com características socioeconômicas e culturais diferenciadas em relação às demais em estudo. Embora o valor da geração *per capita* apresentado por São José dos Campos fique um pouco abaixo dos de São Paulo e São José do Rio Preto ela também caracteriza-se como uma cidade de grande porte.

O número de funcionários que operam as usinas em questão é dependente da quantidade tratada nesses locais. A menor usina, em termos de funcionários e quantidade de resíduos tratados é a do município de Uru, enquanto a maior é a da cidade de São Paulo (Vila Leopoldina). As demais usinas operam com um número compatível aos materiais produzidos no município, ressaltando, apenas, a cidade de Assis, que por trabalhar em sistema de cooperativa, apresenta um grande número de funcionários operando a usina, tanto na triagem, quanto no enfardamento dos materiais recicláveis.

O preço alcançado pelos compostos vendidos pelas usinas de compostagem varia muito, com algumas exceções, como no caso dos compostos da Usina Vila Leopoldina (São Paulo) e Bocaina. O pré-composto produzido na Vila Leopoldina tem um valor muito abaixo do mercado, variando de R\$ 1,50/t o pré-composto B e R\$ 9,00/t o pré-composto A, que tem como diferencial, um peneiramento a mais. Em contrapartida, o composto de Bocaina apresenta um valor extremamente alto para os padrões encontrados alcançando R\$ 220,00/t. Os demais municípios têm uma variação do preço do composto em torno de R\$ 10,00 a 40,00/t. Alguns compostos são utilizados pela própria prefeitura ou doados para a população em geral (detalhado no item 4.6).

Existem algumas diferenças entre as usinas estudadas que devem ser consideradas para fins deste estudo. Essas diferenças são, tanto na quantidade de resíduos processados e número de funcionários que operam as usinas, quanto na estrutura, como tipo de maquinário e malhas das peneiras. Todos esses fatores exercem algum tipo de influência na qualidade do produto final.

A dificuldade de se enquadrar as usinas em tipos de processos se dá pelo fato de que, embora possuam mesmo fabricante (Stollmeier, Maqbrit e outros), o tipo de estru-

tura diferencia-se de usina para usina como comentado a seguir. Em alguns casos será apresentado um breve histórico de implantação, informações estas fornecidas pelos próprios gestores por meio do questionário. O questionário foi entregue a todos os administradores das usinas, mas somente alguns responderam a essa questão.

Os detalhes de funcionamento de cada usina são apresentados a seguir e servirão como discussão dos resultados obtidos das análises dos compostos.

Adamantina

Usina de Triagem e Compostagem de Lixo Urbano de Adamantina

A usina do município de Adamantina foi implantada no ano de 1989 por meio de recursos da própria prefeitura e do BNDES. A usina nunca esteve paralisada e, atualmente, está em construção um novo pátio de compostagem que possuirá 50 metros de comprimento x 60 metros de largura. Na área onde se localizará o pátio, com 10% de

Figura 25. Visão geral da usina de compostagem de Adamantina.

espessura de concreto e 2% de declive, encontra-se também o aterro de rejeitos e as lagoas para tratamento de chorume que armazenam tanto os líquidos percolados oriundos do pátio de compostagem quanto os provenientes do aterro sanitário. As figuras abaixo representam, respectivamente, a usina de compostagem (figura 25), o local onde se localizará o pátio já com algum material em leiras (figura 26) e a lagoa de tratamento (figura 27) que tem 50 metros de comprimento x 30 metros de largura x 4 metros de profundidade. compostagem de Adamantina é de fabricação Gavazzi, sendo composta pelas seguintes estruturas: pátio de descarregamento ou recepção, braço mecânico para o carregamento dos resíduos até a moega, esteira de triagem com 12 funcionários e peneira giratória com 3 cm de malha (figura 28). Após o material ter sido triado e pré-tratado por meio da peneira, os resíduos orgânicos são enviados ao pátio de compostagem para sofrerem o processo de decomposição. Os materiais recicláveis são enfardados no próprio local e vendidos a granel.

Figura 26. Novo pátio de compostagem do Município de Adamantina.

Figura 27. Lagoa de tratamento de chorume de Adamantina.

Figura 28. Peneira rotatória (Município de Adamantina).

Um dos grandes problemas da usina é a falta de peneira para o composto e, no momento do estudo, os resíduos orgânicos estavam apenas sendo amontoados sem que houvesse o seu beneficiamento para melhoria do aspecto e fineza. Entretanto, quando há o interesse na compra deste material, o beneficiamento se faz por peneiras manuais e, como o objetivo deste estudo é coletar o produto pronto para a venda, a amostra coletada para as análises físicas e químicas foi peneirada manualmente para a retirada de materiais grosseiros.

Assis

Parque de Reciclagem e Compostagem de Lixo de Assis

A implantação da usina se deu no ano de 1988 por iniciativa da prefeitura. É única, dentre as estudadas, que trabalha em sistema de cooperativa, sendo que essa terceirização ocorreu em agosto de 2003. Anteriormente à cooperativa, os compostos produzidos eram doados ou utilizados pela própria prefeitura. Atualmente, a venda dos materiais recicláveis e do composto é de responsabilidade dos cooperados, que recebem todos os recursos oriundos da venda destes materiais. Para a prefeitura, o maior ganho é o socioambiental, já que diminui a quantidade de resíduos enviados ao aterro sanitário e oferece emprego para mais de 100 pessoas. A prefeitura ainda colabora com os EPI's e o transporte dos funcionários.

A usina de compostagem de Assis é de fabricação Iguaçumec e é composta pelas seguintes estruturas: pátio de descarregamento, garra ou braço mecânico para o despejo dos resíduos no fosso de depósito, esteira de triagem com aproximadamente 30 funcionários da cooperativa (figura 29) e moinho composto de 20 martelos. O material cru moído é enviado ao pátio de compostagem (figura 30) por cerca de 120 dias e revirado duas vezes por semana. Além disso, as leiras são “penteadas” com rastelo para retirada do plástico filme. Após esse período, o composto sofre o processo de beneficiamento em peneira giratória com malha de 2 cm (figura 31 e 32).

Figura 29. Visão geral da usina de Assis.

Figura 30. Visão geral do pátio de compostagem (Município de Assis).

Figura 31. Peneira para beneficiamento do composto (Município de Assis).

Figura 32. Composto pronto para o uso (Município de Assis).

O problema da usina de Assis é que os funcionários que fazem a triagem, por trabalharem em sistema de cooperativa, se preocupam apenas com a retirada dos materiais com maior valor econômico. Com isso, o material enviado ao pátio de compostagem, após sofrer pequena trituração, possui alto conteúdo de contaminantes, principalmente, plástico filme. Deste modo, os valores encontrados na caracterização do material-base são muito elevados no que diz respeito as impurezas.

Bocaina

Usina de Reciclagem de Lixo Domiciliar de Bocaina

A usina do município de Bocaina foi executada com recursos da União e da própria prefeitura. É uma usina relativamente nova, pois sua inauguração data de 2001. Após uma pequena paralisação, a usina foi terceirizada e continua nessa situação atualmente.

Figura 33. Rejeitos retirados dos resíduos na triagem (Município de Bocaina).

Figura 34. Detalhe do triturador de resíduos (Município de Bocaina).

A usina de Bocaina é de fabricação Stollmeier e é composta pelas seguintes estruturas: pátio de descarregamento de resíduos que funciona também para a primeira retirada de rejeitos, esteira de triagem com oito funcionários que têm dupla função, retirar os materiais recicláveis e os rejeitos (figura 33) e, no final da esteira, encontra-se um triturador (figura 34) que diminui as partículas a serem compostadas.

Esse material é enviado ao pátio de compostagem, permanecendo nesse local por cerca de 4 meses. Eventualmente ocorrem medidas de temperaturas nas leiras e após esse período o composto é beneficiado em peneira de 8mm de malha.

O problema nesta usina está no baixo valor pago pela prefeitura por quilo de resíduo que é processado, dificultando a possibilidade de melhorias estruturais na usina de Bocaina.

Garça

Usina de Triagem e Compostagem de Garça

A usina de Garça foi implantada nos anos de 1992 e 1993 e encontra-se atualmente tercerizada.

A usina de Garça é de fabricação Gavazzi e é composta pelas seguintes estruturas: pátio de descarregamento, moega, esteira de triagem com 12 funcionários e peneira giratória com malha de 8 cm (figura 35). O resíduo orgânico separado é enviado ao pátio de compostagem por cerca de 3 a 4 meses e o rejeito (figura 36), para o aterro sanitário. Após esse período o composto é beneficiado em uma peneira de 1,0 cm de malha e vendido. A usina conta também com lagoas de tratamento de chorume (figura 37).

Figura 35. Peneira rotatória (Município de Garça).

Figura 36. Rejeito após a saída da peneira (Município de Garça).

Figura 37. Lagoas de tratamento de chorume (Município de Garça).

Itatinga

Usina de Reciclagem de Materiais Sólidos e Compostagem Orgânica de Lixo de Itatinga

A usina de Itatinga foi implantada no ano de 1996 com recursos da FEHIDRO e da própria prefeitura. No ano de 2000 foi reformulada com melhorias nas partes mecânicas e construção da lagoa de chorume, recebendo o licenciamento da CETESB.

O fabricante da usina de Itatinga é Lixok e apresenta as mesmas características das usinas de fabricação Gavazzi, a saber: pátio de descarregamento, fosso de recepção dos resíduos, esteira de triagem com 9 funcionários (figura 38) e peneira giratória com malha de 4 cm (figura 39). O material orgânico é enviado ao pátio de compostagem, enquanto os rejeitos são depositados em aterro sanitário no próprio local. A usina não conta atualmente com peneira para o beneficiamento do composto, embora quando há necessidade de uso do composto, esse peneiramento é realizado manualmente com malha de 2,5 cm. O composto sofre revolvimento uma vez por semana e permanece no pátio por cerca de 3 a 4 meses. A lagoa de tratamento de chorume recebe tanto os percolados do pátio quanto do aterro sanitário (figura 40).

Figura 38. Esteira de triagem (Município de Itatinga).

Figura 39. Detalhe da peneira (Município de Itatinga).

Figura 40. Lagoa de tratamento de chorume (Município de Itatinga).

Martinópolis

Usina de Compostagem e Reciclagem de Lixo Urbano de Martinópolis

A usina iniciou a sua implantação em novembro de 1998 com o término em agosto de 2001, com recursos financeiros do Governo do Estado (R\$ 88.317,00) e do Município (R\$ 58.602,00). Anteriormente à implantação da usina, os resíduos eram depositados em um lixão a céu aberto, causando sérios transtornos a população. Martinópolis é uma cidade que tem um caráter diferente dentre as estudadas, pois apresenta um forte potencial turístico, recebendo um grande número de turistas nos finais de semana, feriados e festas regionais e nacionais.

Embora a usina tenha como fabricante o processo Maqbrit, sua estrutura é semelhante ao processo Gavazzi e possui pátio de recepção de resíduos com fosso de recepção e moega dosadora, esteira de triagem com 5 funcionários e peneira giratória sextavada com malha de 7,5 cm (figura 41). Os materiais separados na peneira são

Figura 41. Detalhe da peneira com saída de rejeito (Município de Martinópolis).

Figura 42. Pátio de compostagem (Município de Martinópolis).

enviados ao aterro; os rejeitos vão para o pátio de compostagem (figura 42), e o material orgânico permanece nesse local por cerca de 6 meses.

Para o beneficiamento do composto ocorre a troca de malha na peneira original para uma peneira com menor abertura (1,6 cm). Nesse caso, a mesma peneira tem dois objetivos: passar o resíduo cru e passar o composto. Portanto, quando há o beneficiamento do composto, a usina tem suas atividades paralisadas podendo comprometer a triagem dos materiais.

Osvaldo Cruz

Usina de Reciclagem/Compostagem de Lixo do Município de Osvaldo Cruz

A usina foi implantada em 1992 com recursos da própria prefeitura e tem como fabricante o processo Stollmeier. A usina teve uma mudança na composição original com a esteira passando de 10 metros de comprimento por 0,60 de largura para 15 metros de comprimento por 1 metro de largura. Inicialmente, existiam apenas 2 prensas para latas e para

papelão. Atualmente a usina contém mais 2 prensas e barracão para armazenamento dos materiais recicláveis. As mudanças foram feitas pela própria prefeitura, já que a usina não estava suprimindo a demanda de resíduos produzidos no município.

Anteriormente à usina, os resíduos eram depositados em um lixão a céu aberto e a iniciativa da prefeitura acompanhou a implantação da usina do município de Adamantina, embora o processo de Martinópolis apresente características próprias, a saber: pátio de recepção de resíduos, esteira de triagem com 12 a 14 funcionários e descarga de material-base (figura 43). Nesse caso, os materiais, após a triagem, são enviados diretamente para o pátio de compostagem sem qualquer pré-tratamento adicional, onde permanecem por cerca de 6 meses. Os funcionários da triagem, nesse caso, possuem dupla função: retirar os materiais recicláveis e os rejeitos.

O beneficiamento do composto é realizado em peneira giratória com malha de abertura 5 cm (figura 44).

Figura 43. Saída de material-base após esteira de triagem (Município de Osvaldo Cruz).

Figura 44. Peneira para beneficiamento do composto (Município de Osvaldo Cruz).

Parapuã

Consórcio Intermunicipal para Tratamento e Disposição Final do Lixo de Parapuã

A usina iniciou seu funcionamento em 1998 a partir da iniciativa de 4 municípios vizinhos: Parapuã, Bastos, Iacri e Rinópolis, que repassam uma verba mensal para usina baseada na quantidade de habitantes de cada um. A usina também conta com recursos do FEHIDRO.

O fabricante da usina de Parapuã é Gavazzi sendo constituída da seguinte infra-estrutura: pátio de recepção de resíduos, moega, esteira de triagem com 6 funcionários e peneira com 7,0 cm de malha. A peneira tem a função de separar o rejeito da matéria orgânica que é enviada ao pátio de compostagem (figura 45) e, no final do processo, é beneficiada em peneira giratória com 1,5 cm de malha (figura 46).

Figura 45. Pátio de compostagem com recirculação de chorume (Município de Parapuã).

Figura 46. Peneira de pré e pós-tratamento (Município de Parapuã).

Presidente Bernardes

Usina de Reciclagem e Compostagem de Lixo Urbano de Presidente Bernardes

A usina foi construída no ano de 1999 com recursos federais e municipais, com início das atividades no ano de 2000. Inicialmente a usina era operada pelos próprios funcionários da prefeitura. No final de 2001 a prefeitura terceirizou a usina para uma empresa particular, o que resultou em uma péssima experiência para o município. Em 2003, a prefeitura retomou as atividades na usina e implantou um trabalho de coleta seletiva, que no início atingiu 80% da população decaindo com o tempo. Além disso, há um trabalho de educação ambiental incorporado no currículo das escolas.

A usina tem fabricação Stollmeier mas apresenta as mesmas características do processo de fabricação Gavazzi, a saber: pátio de descarregamento de resíduos, moega e esteira de triagem com 7 a 8 funcionários, peneira sextavada com 10 cm de malha para

Figura 47. Peneira para beneficiamento de composto não instalada (Município de Presidente Bernardes).

a separação dos materiais orgânicos do rejeito. O pátio de compostagem é cimentado e a usina possui duas lagoas de tratamento para chorume.

O problema da usina de compostagem de Presidente Bernardes está no beneficiamento do composto, que não possui peneira para melhorar seu aspecto e fineza. A peneira encontra-se no local mas não está instalada (figura 47).

São José dos Campos

Departamento de Tratamento de Resíduos Sólido de São José dos Campos

A usina de compostagem de São José dos Campos possui o processo Dano como método de tratamento dos resíduos orgânicos. A usina é composta pelas seguintes estruturas: pátio de descarregamento de resíduos com dois fossos de recepção, esteira de elevação com três funcionários que têm a função de rasgar os sacos e duas mesas com eletroímãs com dois funcionários cada para a separação dos materiais recicláveis. Após

Figura 48. Bioestabilizador (Município de São José dos Campos).

Figura 49. Captação de chorume no bioestabilizador (Município de São José dos Campos).

Figura 50. Separadores balísticos (Município de São José dos Campos).

essa primeira triagem, os resíduos são enviados a dois bioestabilizadores (figura 48) permanecendo por 72 horas. Embaixo dos bioestabilizadores está localizado um sistema de captação de chorume (figura 49). Após a saída dos resíduos dos bioestabilizadores, eles são transportados pelas esteiras a duas peneiras vibratórias, sendo triados mais uma vez e enviados pela esteira de carregamento ao separador balístico (figura 50), o qual separa os materiais inertes por gravidade. Nessa última etapa, ocorre a separação da matéria orgânica e do rejeito.

A matéria orgânica fica retida no pátio de compostagem por cerca de 3 a 4 meses. Após a finalização do processo, amostras do composto são enviados para a análise química, secagem ao ar livre e passam pelo beneficiamento em peneira de 10 mm, estando, assim, prontas para a venda.

A usina de São José dos Campos recebe 30 toneladas/dia de materiais de origem da coleta seletiva, mas que são constituídos apenas por materiais recicláveis. Embora a coleta seja feita por um caminhão compactador, esse material coletado não sofre a compactação para não destruir os resíduos.

São Paulo

Usina de Compostagem Vila Leopoldina de São Paulo

A usina de São Paulo, a maior e mais antiga do estado em operação no período do estudo, teve a sua inauguração em 1974 e recebia apenas resíduos originados da CEAGESP e feiras. Para o recebimento de resíduos sólidos domiciliares, a usina teve que ser reestruturada e, ultimamente, recebia os resíduos dos bairros de Pinheiros, Butantã e Lapa.

As usinas de Vila Leopoldina e São Mateus, operando conjuntamente, já representaram a segunda maior forma de destinação dos resíduos sólidos urbanos do município de São Paulo.

Atualmente, as duas usinas tiveram as suas atividades paralisadas. O encerramento da Usina de Leopoldina ocorreu em setembro de 2004, após diversas ações promovidas pelo Ministério Público devido a reclamações por causa do mau cheiro, que inco-

modava os moradores da região. A qualidade do pré-composto também era questionável de acordo com estudos realizados por GROSSI (1993).

Nos últimos anos, a usina tratava o dobro da sua capacidade com turno de 24 horas diárias. A usina operava com o processo Dano, descrito a seguir: pátio de recepção de resíduos, 6 fossos com chão movediço para encaminhamento dos resíduos às 6 esteiras de catação com 5 funcionários cada, eletroimã, 6 bioestabilizadores nos quais os resíduos eram mantidos de 16 a 24 horas e correias transportadoras, as quais carregavam o material para as peneiras rotativas com malhas de 22 mm. O material que ficava retido na peneira era triado novamente, sendo o rejeito enviado ao Aterro Bandeirantes e o material peneirado, denominado pré-composto, passado por separador balístico para remoção de partículas mais densas. Nesse caso, havia a produção de duas classes de compostos, o A, que passava por mais uma peneira de malha 8 mm (figura 51) e o B, que era armazenado logo após a saída do separador balístico.

Figura 51. Peneira de pré-composto A (Município de São Paulo).

O pré-composto, nesta fase, deveria ser encaminhado ao pátio de cura para finalizar sua decomposição iniciada nos bioestabilizadores, embora o período de retenção dos resíduos nesses equipamentos estivesse abaixo do recomendado, que é de 72 horas. Contudo, por falta de espaço no terreno da Vila Leopoldina, o pré-composto era encaminhado ao barracão de armazenamento e vendido. No momento da compra (figura 52), os agricultores recebiam instruções para terminar a cura do pré-composto, além de recomendações para seu uso, aplicação e dosagens mais recomendadas. Além disso, o Prof. Dr. Edmar José Kiehl encontrava-se toda semana na usina Vila Leopoldina oferecendo serviço técnico para atender o agricultor, fornecendo instruções para adubação de diversas culturas.

A Usina Vila Leopoldina, embora com as atividades paralisadas, conta ainda com um centro de triagem com sistema de cooperativa, que recebe os materiais recicláveis originados da coleta seletiva instalados em alguns bairros piloto do entorno, além do transbordo de inertes.

Figura 52. Venda de pré-composto (Município de São Paulo).

A coleta seletiva, implantada por iniciativa da prefeitura, conta com pontos de entrega voluntária nas ruas dos bairros próximos a usina. Contudo, pela ação de vândalos e catadores e pela falta de conhecimento da população em geral em como descartar corretamente os materiais recicláveis, houve uma mudança de local dos PEV's, que atualmente encontram-se instalados no interior dos prédios e condomínios. Desta forma, a coleta seletiva tende a prosperar, já que os condôminos separam os materiais e depositam nas caçambas no próprio local de moradia. O serviço de implantação dos PEV's e retirada dos materiais recicláveis é inteiramente realizado por funcionários da prefeitura, e pode ser solicitado no Departamento de Limpeza Urbana do município de São Paulo (LIMPURB).

São José do Rio Preto

Usina de Compostagem de Lixo de São José do Rio Preto

A usina de São José do Rio Preto foi implantada entre 1988 e 1989 tendo sido paralisada por um ano e terceirizada após esse período com ampliação e adequação da sua estrutura.

O fabricante da usina é Gavazzi, sendo a sua estrutura composta por mais equipamentos em comparação as demais usinas do mesmo processo, principalmente, pela quantidade maior de resíduos processados.

A usina possui um pátio de recepção de resíduos (figura 53), moega e talisca para o transporte dos materiais, esteira de triagem com 24 funcionários e peneira de 3 polegadas, o equivalente a 7,5 cm. O material que sai da peneira tem dois caminhos: passa por uma nova triagem, com cerca de 2 funcionários onde são separados os materiais recicláveis do rejeito e o outro que é o material orgânico propriamente dito, que passa novamente por uma peneira com malha de 5,6 cm (figura 54), sendo esse material enviado ao pátio de compostagem por cerca de 3 meses. No verão/2004, na época da coleta de amostras, a usina adquiriu um separador balístico, que se encontra no final da peneira. No inverno de 2003 esse equipamento ainda não fazia parte da usina.

O composto no seu beneficiamento, sofre a peneiragem por três peneiras com malhas distintas a saber: 1) 2,5 cm, 2) 1,3 cm e 3) 7 mm, estando o composto pronto para a sua venda.

Figura 53. Pátio de recepção de resíduos (Município de São José do Rio Preto).

Foto cedida por CONSTROESTE AMBIENTAL.

Figura 54. Saída de material-base da peneira (Município de São José do Rio Preto).

Foto cedida por CONSTROESTE AMBIENTAL.

A usina de São José do Rio Preto é a maior usina do processo Gavazzi e uma das maiores encontradas no interior do estado. A Empresa Constroeste Ambiental, que gerencia a usina, é responsável pela coleta e disposição de todo o resíduo produzido no município. Além da usina de compostagem, a empresa também opera o aterro sanitário e possui uma pequena estação de tratamento de efluentes, a qual recebe o chorume do pátio de compostagem e do aterro, o esgoto produzido nas instalações da usina, além das águas de lavagem do pátio de recepção de resíduos, dos caminhões, do posto e da chuva.

Tarumã

Usina de Compostagem de Tarumã

A usina instalada em dezembro de 1996, iniciou seu funcionamento em março de 1997 por iniciativa da prefeitura municipal em parceria com “ACRUTA” – Associação Comunitária Rural de Tarumã e com recursos do governo Federal.

Figura 55. Moinho de pré-tratamento de resíduos (Município de Tarumã).

O fabricante da usina de Tarumã é Maqbrit e possui as seguintes estruturas: pátio de recepção de resíduos, alimentação da esteira por um funcionário, esteira de triagem com 10 funcionários e moinho de 12 facas para a trituração dos resíduos (figura 55). Os funcionários da esteira de triagem possuem a dupla função de retirar os materiais recicláveis e o rejeito. O material orgânico é enviado ao pátio de compostagem e permanece nesse local por cerca de 3 meses. Após esse período, o composto é beneficiado em peneira de 8 mm de malha e utilizado 100% na horta comunitária do município (figura 60).

Uru

Sistema de Tratamento de Lixo Domiciliar de Uru

A usina de Uru (figura 56) é relativamente nova, pois sua implantação data do ano de 2000 e trata os resíduos produzidos também no município de Pongaí. Tem como fabricante a indústria Gavazzi e sua estrutura é muito semelhante aos demais processos, sen-

Figura 56. Visão geral da usina de Uru.

Figura 57. Composto pronto para o uso (Município de Uru).

do descrita a seguir: pátio de recepção de resíduos com alimentação manual da esteira, esteira de triagem com 5 funcionários e peneira giratória com malha de 6 cm. O material separado na peneira é enviado ao pátio de compostagem por cerca de 6 a 7 meses e revolvido a cada 15 dias. O composto é beneficiado em peneira com 1 cm de malha estando pronto para a venda (figura 57). Os materiais recicláveis são enfardados no próprio local e os rejeitos enviados ao aterro sanitário. O chorume coletado no pátio de compostagem é enviado a uma caixa de retenção com capacidade para 5 mil litros.

Para se obter as comparações desejadas descritas no objetivo da tese, as usinas foram agrupadas conforme as estruturas de pré-tratamento dos resíduos, ou seja, peneiras, trituradores ou moinhos, processo Dano com bioestabilizadores e, finalmente, sem tratamento do material orgânico. Portanto, tem-se o agrupamento apresentado na tabela 17.

Tabela 17. Agrupamento das usinas estudadas conforme suas estruturas de pré-tratamento dos resíduos enviados ao pátio de compostagem.

Municípios	Grupos
São Paulo São José dos Campos	A - Usinas do processo Dano com bioestabilizadores
Adamantina Garça Itatinga Martinópolis Parapuã Presidente Bernardes São José do Rio Preto Uru	B - Usinas com peneiras rotatórias
Assis Bocaina Tarumã	C - Usinas com trituradores ou moinhos
Osvaldo Cruz	D - Usina que não possui tratamento da matéria orgânica após a esteira de triagem

Como as coletas de dados foram realizadas no período do inverno de 2003 e no verão de 2004, foi feita uma comparação estatística da variável sazonalidade, mas, como não houve diferença significativa entre eles, os períodos não serão incorporados nas análises, trabalhando-se, portanto, com as médias encontradas.

4.3 Caracterização da matéria-prima

A amostragem dos resíduos gerados pela população dos municípios estudados é de extrema importância porque são esses materiais que alimentam as usinas de compostagem. Os resíduos sólidos urbanos tem composição variável e sua geração depende de vários fatores, como por exemplo, a estação do ano e as características de cada localidade em função dos aspectos socioeconômicos e culturais da população (padrão de vida, hábi-

Tabela 18: Caracterização dos resíduos dos municípios com usinas de triagem e compostagem do estado de São Paulo (Médias dos Períodos do inverno 2003 e verão/2004).

Municípios	Componentes em %										
	M.O.	Papel/ Papelão	Plástico		Plástico Rígido	Vidro	Metais	Tetrapak®	Madeira e Trapo	Isopor	Rejeito
			Filme								
Adamantina	62,07	10,16	5,99		6,20	1,23	2,64	1,76	1,61	0,71	7,58
Assis	45,11	17,12	5,86		9,12	2,42	4,41	3,73	2,56	1,78	7,61
Bocaina	52,62	6,73	8,56		7,25	1,92	4,63	2,09	4,37	0,78	11,01
Garça	55,97	5,75	8,29		5,25	5,39	4,60	2,75	4,11	0,61	7,27
Itatinga	51,87	6,31	6,22		5,25	3,35	5,22	3,40	1,71	0,35	16,29
Martinópolis	53,19	13,75	5,16		7,31	2,20	3,89	3,10	4,27	0,55	6,44
Osvaldo Cruz	68,14	4,16	5,14		6,14	3,48	2,89	1,34	2,83	0,39	5,46
Parapuã	51,44	6,95	6,95		7,20	2,86	4,25	2,41	6,77	0,41	8,83
Presidente Bernardes	52,03	7,76	7,59		8,12	6,68	3,69	2,18	3,33	0,90	7,70
S.J. dos Campos	45,75	9,27	8,77		6,06	3,44	2,48	2,97	4,51	0,84	15,89
S.J. do Rio Preto	56,67	4,16	7,89		4,04	1,46	2,37	0,91	5,25	0,16	17,07
São Paulo	44,92	9,11	8,82		5,94	7,12	2,84	2,38	1,98	1,36	15,49
Tarumã	45,60	9,22	7,30		7,45	2,75	6,41	1,39	3,95	0,40	15,13
Uru	57,76	5,36	6,56		6,61	3,62	3,22	2,19	4,34	0,20	10,01
Médias	53,08	8,41	7,08		6,56	3,42	3,82	2,33	3,68	0,67	10,85
SEM	1,59	0,87	0,35		0,41	0,38	0,31	0,20	0,38	0,11	0,88

tos de consumo e renda). No entanto, genericamente, cerca de 50% do peso dos resíduos sólidos urbanos gerados pela população brasileira são constituídos de matéria orgânica, sob forma de sobras de preparo de cozinha e restos de origem vegetal e animal. O restante constitui-se de materiais que podem ser reaproveitados por meio da reciclagem e outros que não tem nenhum valor comercial, caracterizados como rejeitos (louças, pedras, papel higiênico, embalagens metalizadas, etc).

A tabela 18 traz os valores para a composição dos resíduos nos municípios estudados do estado de São Paulo.

Comparando a geração de resíduos sólidos produzidos nos municípios com maior desenvolvimento econômico, nota-se que os materiais passíveis de reciclagem aparecem numa proporção maior do que os orgânicos, ao passo que, a realidade se inverte quando consideramos as regiões menos desenvolvidas. Essa afirmação se confirma, pois de acordo com o IPRS dos municípios analisados, tem-se as maiores gerações de matéria orgânica em Osvaldo Cruz, Adamantina, Uru, Martinópolis, Bocaina e Presidente Bernardes, regiões que apresentam baixo desenvolvimento econômico. A exceção, nesse caso, foram os valores apresentados por São José do Rio Preto com 56,67% de matéria orgânica na composição dos resíduos.

Os menores valores para matéria orgânica foram encontrados em São José dos Campos, São Paulo e Tarumã, municípios considerados pólos de desenvolvimento de acordo com o IPRS.

É importante destacar que em nenhum município estudado há um programa de coleta seletiva, exceto São José dos Campos, que dentre as 500 toneladas geradas diariamente, 30% são coletados seletivamente a partir de pontos de entrega voluntária.

4.4 Caracterização do material-base

O estudo do material-base, ou seja, o material que é encaminhado para o pátio de compostagem, demonstra a eficiência da usina como um todo, não só pelos funcionários na triagem, mas, principalmente, pelas estruturas que compõem cada usina. Portanto, há

uma relação direta entre a matéria orgânica e as impurezas encontradas no material-base com a estrutura que existe em cada usina após a esteira de triagem.

1) Comparação por usinas

Os dados de caracterização do material-base são apresentadas pela média obtida entre os períodos de coleta, já que não há diferença significativa em relação à variável sazonal.

Analisando as médias apresentadas para o material-base, tem-se que os municípios de São José dos Campos, São José do Rio Preto, Parapuã e São Paulo apresentaram maiores valores para a quantidade de matéria orgânica, demonstrando uma maior eficiência quanto à retirada de impurezas encaminhadas para o pátio de compostagem.

Expondo os dados obtidos em um “ranking” por usinas, tem-se a seguinte disposição, em ordem decrescente de valores para matéria orgânica: São José dos Campos,

Tabela 19. Caracterização do material-base (médias dos períodos).

Municípios	Médias da caracterização do material-Base	
	Matéria orgânica (%)	Rejeito (%)
Adamantina	90,79	9,21
Assis	67,55	32,44
Bocaina	83,33	16,67
Garça	90,69	9,30
Itatinga	89,70	10,30
Martinópolis	88,42	11,58
Osvaldo Cruz	83,64	16,35
Parapuã	93,25	6,75
Presidente Bernardes	81,83	18,16
São José dos Campos	94,14	5,85
São José do Rio Preto	92,29	7,70
São Paulo - V. Leopoldina	93,15	6,85
Tarumã	91,34	8,65
Uru	90,41	9,58
Médias	87,89	12,10
SEM	1,35	1,35

Parapuã, São Paulo, São José do Rio Preto, Tarumã, Adamantina, Garça, Uru, Itatinga, Martinópolis, Osvaldo Cruz, Bocaina, Presidente Bernardes e por último, Assis.

Algumas conclusões podem ser obtidas desses resultados. Os melhores valores para o conteúdo de matéria orgânica presente na caracterização do material-base deve-se à presença de equipamentos específicos, como eletroímãs e separadores balísticos, como ocorre em São José dos Campos e São Paulo. Outra conclusão que se pode chegar é que o recurso humano, nesses casos, foi um fator essencial para a diminuição de impurezas no material-base. Nas cidades maiores, incluindo São José do Rio Preto, pode estar havendo um melhor treinamento dos funcionários no que diz respeito a separação dos materiais. Portanto, quanto mais profissional a estrutura e o gerenciamento da usina, melhor o resultado da caracterização, demonstrando que o treinamento da mão-de-obra é de extrema importância para a qualidade do produto final.

Quanto à estrutura, analisando os dados obtidos e comparando usina a usina quanto ao processo de pré-tratamento, observa-se que as usinas que operam com peneiras rotatórias obtiveram melhores valores em relação àquelas que utilizam outro tipo de processamento (trituradores ou moinhos e sem tratamento). Nesse caso, a malha de abertura da peneira teve alguma influência na qualidade do material-base.

Comparando os índices de qualidade do material-base com as malhas das peneiras presentes nas usinas, nota-se que, embora Parapuã tenha uma malha de 7,0 cm de abertura, a usina obteve um excelente resultado demonstrando a eficiência da triagem realizada pelos operadores na esteira de catação, contribuindo sensivelmente para a diminuição na quantidade de impurezas. O mesmo ocorre com Garça, que possui malha da peneira de pré-tratamento igual a 8 cm.

Dentre as usinas que utilizam a peneira como pré-tratamento dos resíduos, o município de Presidente Bernardes obteve uma média menos satisfatória. Nesse caso, conclui-se que a abertura de malha com 10 cm de diâmetro e triagem menos eficiente contribuíram para o valor tão baixo na quantidade de matéria orgânica.

Entre os piores índices encontrados para a qualidade do material-base estão os municípios que utilizam o triturador ou moinho como processo de pré-tratamento, exceto Tarumã, que obteve uma média de 91,34% de matéria orgânica. Isso se deve a eficiente triagem na esteira, conforme concluído anteriormente. Deve ser levada também em consideração, nesse caso, a pouca quantidade de resíduos que chegam à usina, contribuindo para que a separação dos materiais seja mais eficaz e detalhada.

2) Comparação por grupos

Na análise por grupos, tem-se a comparação por estruturas semelhantes, ou seja, o Grupo A caracteriza-se por apresentar o processo Dano com eletroímãs e separadores balísticos (São Paulo e São José dos Campos), o Grupo B (Adamantina, Garça, Itatinga, Martinópolis, Parapuã, Presidente Bernardes, São José do Rio Preto e Uru) utiliza peneiras rotatórias no final da esteira, o Grupo C (Assis, Bocaina e Tarumã), trituradores e moinhos e o Grupo D (Osvaldo Cruz) não apresenta nenhuma estrutura de preparação da matéria orgânica, somente a triagem realizada pelos operadores.

Na tabela 20 são apresentados os valores para a caracterização do material-base nos diferentes grupos.

Conforme apresentado, tem-se que os maiores valores para matéria orgânica em relação a impurezas são, em ordem decrescente, dos grupos A, B, D, C. Interessante notar nesses dados é que, mesmo sem tratamento após a triagem, os valores para o Grupo D,

Tabela 20. Comparação entre os grupos de usinas com relação ao material-base.

Grupos	Matéria Orgânica (%)	Impurezas (%)	SEM
A	93,65 (A)	6,35 (A)	0,46 (A)
B	89,67 (A)	10,32 (A)	1,01 (A)
C	80,43 (B)	19,56 (A)	4,46 (A)
D	83,64 (AB)	16,35 (AB)	1,11 (AB)

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente para Teste de Tukey ($p < 0,05$).

representado por Osvaldo Cruz foram melhores do que o Grupo C, que utiliza trituradores ou moinhos após a esteira de catação.

O principal fator que justifica esse resultado é que, sem a trituração, a triagem realizada pelos operadores, que têm dupla função, é muito mais eficiente do que o processo de picagem ou moagem dos resíduos no pré-tratamento. Podemos considerar também que, no processo de pós-tratamento, as impurezas são facilmente removíveis, ao passo que, com a trituração, a retirada de inertes fica comprometida e mais difícil. Os baixos valores para matéria orgânica apresentados pelo Grupo C se devem também a presença do município de Assis no agrupamento que diminuiu a média entre as usinas.

É importante ressaltar, novamente, que o tamanho das partículas influencia o processo de compostagem nas leiras. Quanto menor o tamanho das partículas, maior é a superfície que pode ser atacada e digerida pelos microorganismos, sendo os materiais, degradados mais facilmente. No entanto, partículas muito pequenas têm tendência de absorver mais água e compactar-se nas leiras favorecendo situações de anaerobiose pela dificuldade de penetração do ar.

Entretanto, a utilização de equipamentos como moinhos e trituradores se faz necessário quando as partículas são muito espessas.

4.5 Qualidade dos compostos

4.5.1 Análises físicas

4.5.1.1 Granulometria

A análise granulométrica tem por finalidade determinar a natureza física do composto e verificar sua correspondência quanto às exigências da legislação. A granulometria é expressa percentualmente segundo determinadas classes de tamanhos e indica a fineza do material. Um composto com granulometria mais fina se torna mais atrativo para os agricultores ao passo que um composto mais grosseiro em termos de tamanho das partículas, embora não represente sua qualidade, não é tão bem visto e pode ter seu preço reduzido. No entanto, um composto farelado mais grosso é economicamente mais van-

Tabela 21. Médias para a quantidade de compostos retidos nas peneiras (em %).

Municípios	<i>Malhas de peneiras (mm)</i>						
	22,2	19,1	12,7	7,93	4,8	2,00	2,00
Adamantina	0,00	0,35	0,70	7,12	46,97	19,13	25,72
Assis	2,46	0,87	5,52	15,05	15,02	22,24	38,83
Bocaina	0,26	0,22	1,63	8,27	14,94	29,16	45,50
Garça	0,22	0,72	3,85	9,15	9,12	15,59	61,34
Itatinga	6,01	7,36	7,56	12,93	9,31	13,93	42,88
Martinópolis	0,00	0,41	1,00	5,64	6,53	15,50	70,91
Osvaldo Cruz	1,21	0,00	0,99	7,28	11,16	21,73	57,63
Parapuã	0,94	0,97	3,45	21,48	7,33	25,01	40,81
Presidente Bernardes	0,03	2,65	0,30	2,23	10,56	22,21	62,02
São José dos Campos	4,44	0,03	4,13	10,10	12,02	30,42	38,84
São José do Rio Preto	1,11	0,92	2,72	5,03	6,05	32,10	52,06
São Paulo - Composto A	8,25	0,89	11,50	20,50	26,71	23,45	8,69
São Paulo - Composto B	17,66	2,70	16,02	29,04	9,84	21,08	3,65
Tarumã	0,03	0,00	0,10	6,19	11,42	24,47	57,78
Uru	0,04	0,37	1,49	17,31	10,51	25,67	44,60
Médias	2,84	1,23	4,06	11,82	13,83	22,78	43,41
SEM	1,00	0,37	1,01	1,62	1,62	1,15	3,69

tajoso em culturas extensivas, enquanto que, em culturas intensivas, o composto farelado fino é mais atrativo.

As amostras de compostos das Usinas de compostagem do estado de São Paulo tiveram seus valores de granulometria expressos conforme a tabela 21.

1) Comparação por usinas

De acordo com a Legislação Brasileira, nenhum composto estudado pode ser classificado como pó, pois as frações retidas na malha de 2 mm e menor que 2 mm das amostras não atingiram a exigência imposta. Quanto à classificação de farelado, apenas os compostos de Adamantina, Bocaina, Garça, Martinópolis, Osvaldo Cruz, Presidente Bernardes, São José do Rio Preto e Tarumã tiveram seus valores enquadrados na tolerância de 85% em peneira de 4,8 mm.

Os demais compostos se enquadram na Legislação Brasileira entre as especificações de farelado e farelado grosso. Mesmo assim, há uma falha na legislação que não prevê malhas de abertura entre 4,8 mm e 38 mm. Segundo KIEHL (1998), malhas intermediárias já foram recomendadas pela Associação Brasileira da Indústria de Fertilizantes Orgânicos (ABIFOR) ao Ministério da Agricultura, com o intuito de se criar uma categoria entre o farelado e o farelado grosso. Até o presente momento, a proposta ainda não foi aprovada.

A diminuição dos grânulos durante a compostagem ocorre pelo efeito dos revolvimentos na leiras e pela utilização de trituradores e moinhos, que tem pontos positivos e limitações quanto ao seu uso. A melhora na fineza do material compostado, no entanto, é evidenciado pela utilização de peneiras no processo de pós-tratamento.

As peneiras no processo de pós-tratamento são utilizadas nas usinas estudadas, exceto nos municípios de Adamantina, Itatinga e Presidente Bernardes, como já descrito anteriormente. Nesses casos, quando há necessidade de uso do composto para aplicação em solos agrícolas, o peneiramento é realizado manualmente, dificultando sua venda em grandes quantidades.

Comparando as porcentagens retidas nas malhas pelo teste de granulometria em relação as malhas das peneiras utilizadas nas usinas, conclui-se que o processo de pós-tratamento é importante para melhorar a fineza do material, mas nos compostos estudados, essa relação não se mostra diretamente, já que usinas com maior abertura de peneira tiveram seus valores melhores quanto à granulometria do que usinas com aberturas menores. Este fato se explica por revolvimentos mais constantes em algumas usinas, o que contribui para quebrar as partículas dos materiais que estão sendo degradadas. Outro fator que influencia o tamanho das partículas é a origem do material, sua quantidade, sua composição etc.

2) Comparação por grupos

Para esta análise são apresentados os valores para granulometria apresentados na tabela 22.

Tabela 22. Granulometria por grupos de usinas.

Grupos	Malhas das Peneiras (em mm)						
	22,2	19,1	12,7	7,93	4,8	2	< 2,00
A	10,11 (A)	1,81 (A)	9,37 (A)	17,03 (A)	7,94 (A)	26,59 (A)	27,85 (A)
B	1,04 (B)	1,57 (A)	4,06 (B)	11,38 (A)	12,72 (A)	21,89 (A)	45,55 (B)
C	0,92 (B)	0,43 (A)	2,32 (B)	11,58 (A)	11,52 (A)	23,47 (A)	50,48 (B)
D	1,21 (AB)	0,97 (A)	3,45 (AB)	21,48 (A)	7,33 (A)	25,01 (A)	40,81 (B)

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente para Teste de Tukey ($p < 0,05$).

O Grupo A obteve o maior índice para a granulometria 22,2 mm, estando os compostos dos demais grupos com quantidade inexpressiva nessa malha.

Os compostos que apresentaram granulometria mais fina são aqueles pertencentes ao Grupo C, com 73,95% de partículas com tamanho de 2 mm e menor que 2 mm. É importante ressaltar, nesse caso, que o Grupo C é representado justamente pelas usinas que utilizam o moinho ou triturador que diminuem as partículas a serem compostadas.

Estatisticamente, o Grupo A difere dos Grupos B e C nas malhas 22,2 mm e 12,7 mm e dos Grupos B, C e D na malha menor que 2 mm. Quanto às demais malhas, não há diferença significativa entre os Grupos estudados.

4.5.1.2 Densidade real e aparente

A densidade de um composto é definida como sendo a relação existente entre a massa e o volume ocupado pelos componentes sólidos pelos poros. Desta maneira, a densidade depende da natureza dos componentes, das dimensões e da forma como se acham dispostos na massa (KIEHL 1998).

Quanto menor a densidade, melhor é a estrutura do composto e maiores são as possibilidades de atuar positivamente sobre as propriedades do solo.

Os valores de densidade real e aparente das amostras de compostos são apresentados na tabela 23.

Tabela 23. Médias de densidade real e aparente nas amostras de compostos.

Municípios	Médias	
	Densidade Real	Densidade Aparente
Adamantina	1,19	0,61
Assis	1,21	0,55
Bocaina	1,20	0,58
Garça	1,31	0,69
Itatinga	1,17	0,56
Martinópolis	1,36	0,81
Oswaldo Cruz	1,37	0,75
Parapuã	1,27	0,74
Pres. Bernardes	1,25	0,68
S. J. Campos	1,22	0,62
S. J. Rio Preto	1,12	0,55
São Paulo composto A	0,87	0,22
São Paulo composto B	0,47	0,21
Tarumã	1,31	0,78
Uru	1,39	0,81
Médias	1,18	0,61
SEM	0,04	0,04

1) Comparação por usinas

A densidade real está diretamente ligada à densidade aparente. Para solos, as densidades têm uma correlação negativa com o teor de matéria orgânica, ou seja, quanto maior o teor de matéria orgânica no solo, menores serão suas densidades real e aparente.

Nos caso do composto, quanto menor sua densidade, melhor sua estrutura e, conseqüentemente, maior é a possibilidade de atuar positivamente sobre as propriedades do solo.

Os menores valores para densidade real foram encontrados nos compostos de Adamantina, Bocaina e composto A e B de São Paulo. No caso destes últimos, os baixos valores de densidade não significa que os compostos tenham uma boa estrutura, mas sim, que não estavam totalmente maturados.

Tabela 24. Médias de densidade real e aparente para os diferentes grupos de usinas.

Grupos	Densidade Real	Densidade Aparente
A	0,85 (A)	0,35 (A)
B	1,26 (B)	0,68 (B)
C	1,24 (B)	0,64 (B)
D	1,37 (B)	0,75 (B)

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente para Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na prática, os valores de densidade servem também como um indicativo para os compradores, pois o agricultor compra o composto por tonelada e aplica na sua cultura por volume. Conhecendo os valores da densidade dos compostos comprados, facilita a transformação em peso para volume e vice-versa.

2) Comparação por grupos

Os dados apresentados por grupos de usinas (tabela 24), tem como maiores valores para o Grupo D, formado apenas por Osvaldo Cruz, mas estatisticamente somente o Grupo A difere significativamente dos demais. Nesse caso, devemos considerar que os pré-compostos de São Paulo influenciaram nesse baixo índice, pois os compostos de São José dos Campos tiveram valores mais altos para as duas densidades.

4.5.1.3 Conteúdo total de inertes

A análise de conteúdo de inertes é de extrema importância no estudo de qualidade do composto pois os resíduos que servem de matéria-prima para sua composição são de origem misturada e, muitas vezes, não são retiradas todas as impurezas durante a triagem pelos operadores e após os maquinários subsequentes (peneira ou triturador).

Além disso, a qualidade, sob o ponto de vista dos agricultores, leva em conta o conteúdo de inertes pois esse material é visualmente identificável, já que apresenta juntamente com o composto, cacos de vidro, plásticos e outros materiais impróprios. Por-

Figura 58. Presença de inertes no composto.

tanto, é desejável que a quantidade de inertes seja a menor possível porque prejudica o valor comercial do adubo.

A figura 58 mostra os contaminantes (vidros, plásticos, tecidos e outros) presentes no composto após seu tratamento com água oxigenada e estufa para oxidação da matéria orgânica (metodologia de análise de conteúdo de inertes).

1) Comparação por usinas

As análises para o conteúdo de inertes são apresentadas na tabela 25.

Por meio dos dados apresentados, nota-se que o contaminante mais comumente encontrado nos compostos produzidos nas Usinas de Compostagem do estado de São Paulo é o vidro, principalmente por ser um material de difícil remoção. Uma alternativa mais viável com o intuito de diminuir sua quantidade no produto final seria uma triagem mais minuciosa, retirando-se os cacos e recipientes de vidro na esteira de catação, não permitindo que esse inerte seja encaminhado para as peneiras ou trituradores.

Tabela 25. Médias para conteúdo de inertes nas amostras de compostos.

Municípios	Conteúdo de Inertes (%)				
	Plástico	Vidro	Metal	Outros	Total
Adamantina	0,63	1,59	0,06	0,02	2,31
Assis	6,79	17,62	0,10	2,22	26,72
Bocaina	1,05	19,29	0,23	0,74	21,31
Garça	2,53	9,04	0,01	0,33	11,90
Itatinga	3,04	6,75	0,61	1,62	12,02
Martinópolis	0,70	6,53	0,15	0,37	7,74
Osvaldo Cruz	1,03	6,65	0,00	2,36	10,04
Parapuã	1,22	7,02	0,15	0,66	9,03
Presidente Bernardes	0,56	5,15	0,01	0,17	5,88
São José dos Campos	1,35	4,08	0,00	0,09	5,52
São José do Rio Preto	0,36	4,39	0,00	0,05	4,80
São Paulo - Composto A	1,05	3,18	0,00	0,17	4,40
São Paulo - Composto B	2,39	7,08	1,55	1,06	12,08
Tarumã	1,34	14,72	0,06	0,27	16,38
Uru	0,37	1,79	0,09	0,59	2,83
Médias	1,63	7,66	0,20	0,71	10,20
SEM	0,34	1,04	0,11	0,15	1,28

Dentre os municípios estudados, a presença de cada categoria de inertes teve sua concentração maior em usinas específicas, a saber: plástico: Assis, Vidro: Bocaina, metal: pré-composto B de São Paulo e outros inertes: Osvaldo Cruz. No total coletado, Assis foi a usina que mais apresentou materiais inertes em seu composto, com uma porcentagem de 26,72%. Dois fatores podem explicar esse fato, o primeiro por trabalhar em sistemas de cooperativas, ou seja, somente os materiais com maior valor é que são retirados na esteira de triagem e o segundo, o processo, que utiliza o triturador como forma de pré-tatamento da matéria orgânica. Bocaina e Tarumã, que possuem o mesmo processo de pré-tatamento, também tiveram altos índices de materiais inertes 21,31% e 16,38%, respectivamente.

Os valores mais baixos para o conteúdo de inertes foram encontrados nos municípios de Adamantina (1,4%), seguida de São José do Rio Preto (2,65) e Uru (2,63).

2) Comparação por grupos

Os altos índices de conteúdo de inertes nos municípios de Assis, Bocaina e Tarumã surtiram efeito quando comparou-se os diferentes grupos de usinas, conforme mostrado na tabela 26.

De acordo com os dados apresentados, nota-se que o Grupo C, formado pelas usinas dos municípios de Assis, Bocaina e Tarumã dispararam na quantidade de inertes nos compostos. Isso explica-se pelo fato de que as usinas utilizam o moinho ou triturador como pré-tatamento da matéria orgânica após a esteira de triagem. Portanto, os materiais que não são separados pelos operadores, acabam por serem encaminhados a esses equipamentos e são triturados juntamente com a matéria orgânica e, mesmo o composto sofrendo o processo de beneficiamento com as peneiras rotatórias, os conteúdos de inertes acabam presentes no produto final.

O efeito desses equipamentos na quantidade de inertes nos compostos é tão relevante que mesmo o Grupo D, formado por Osvaldo Cruz, que não utiliza nenhuma forma de tratamento após a esteira de triagem, tem valores mais baixos do que os apresentados pelo Grupo C, o qual utiliza moinhos e trituradores.

Os valores mais baixos para conteúdo de inertes, portanto, estão para os Grupos A que utilizam o processo Dano com peneiras e separadores balísticos e para o Grupo B, que tem como característica principal o uso de peneiras rotatórias no pré-tatamento da matéria orgânica (figura 59). Teoricamente, portanto, esses materiais teriam maior valor de mercado.

Tabela 26. Conteúdo total de inertes comparando os grupos de usinas.

Grupos	Conteúdo de Inertes				
	Plástico	Vidro	Metal	Outros	Total
A	1,60 (A)	4,78 (A)	0,52 (A)	0,44 (A)	7,33 (A)
B	1,17 (A)	5,28 (A)	0,13 (A)	0,47(A)	7,60 (A)
C	3,06 (A)	0,13 (B)	0,13 (A)	1,07 (AB)	21,47 (B)
D	1,03 (A)	0,00 (A)	0,00 (A)	2,36 (B)	10,04 (A)

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente para Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 59. Conteúdo total de inertes nos diferentes grupos de usinas.

4.5.2 Análises Químicas

Os resultados das análises químicas têm por finalidade demonstrar a qualidade dos compostos, determinando seu valor como fertilizante. Além de permitir a interpretação dos parâmetros dentro dos limites exigidos pela Legislação Brasileira, incluindo as tolerâncias estabelecidas em cada caso, os resultados analíticos podem garantir a qualidade do produto, aumentando seu poder de venda.

Em algumas usinas estudadas, os compostos são regularmente submetidos a análises químicas, como por exemplo, nos municípios de Bocaina, Martinópolis, Osvaldo Cruz, São José dos Campos, São José do Rio Preto, São Paulo e Uru. Para os agricultores que compram esses adubos, esse tipo de resultado é de extrema importância pois garante se o fertilizante possui ou não nutrientes balanceados e em quantidades suficientes.

Para fins de simplificar o entendimento sobre os valores das análises químicas, os resultados serão divididos em: maturação do composto, nutrientes e metais pesados e serão discutidos separadamente.

Os resultados das análises químicas para os compostos das Usinas de Compostagem do estado de São Paulo são apresentados a seguir:

4.5.2.1. Maturação do composto

A maturação do composto se dá pelos resultados do índice de pH, relação C/N e CTC, os quais indicam se a decomposição da matéria orgânica atingiu níveis desejáveis para que o composto possua certos padrões de qualidade. Embora não represente o nível de maturação do composto, o teor de umidade será incorporado neste capítulo para a discussão, assim como a quantidade de matéria orgânica (tabela 27). Os valores apresentados para os diferentes grupos encontram-se na tabela 28 e serão discutidos a partir de cada parâmetro.

Índice de pH

O índice de pH fornece informações sobre o estado de decomposição da matéria orgânica do fertilizante. Valores muito baixos para pH demonstram a imaturidade do composto. No en-

Tabela 27. Médias para as análises químicas para a maturação dos compostos das usinas de compostagem do estado de São Paulo (Período inverno/2003 e verão/2004).

Municípios	Maturação do Composto				
	pH	CTC	C/N	MO (%)	UMIDADE
Adamantina	7,64	27,50	23,13	20,82	28,07
Assis	7,34	31,25	18,12	38,21	39,66
Bocaina	7,24	29,26	15,40	28,98	32,96
Garça	7,89	29,48	18,41	19,34	31,64
Itatinga	7,98	32,12	18,93	24,34	38,70
Martinópolis	7,74	25,96	14,15	15,85	25,47
Osvaldo Cruz	7,53	25,85	18,49	13,86	26,18
Parapuã	8,17	30,37	18,52	19,60	22,92
Presidente Bernardes	7,79	28,71	14,21	18,39	30,85
S.J. dos Campos	7,33	25,41	18,32	25,82	27,23
S.J. do Rio Preto	8,05	31,68	29,49	32,38	31,17
São Paulo Composto A	6,54	32,67	39,66	62,05	45,47
São Paulo composto B	5,05	23,87	40,72	67,70	62,23
Tarumã	7,95	31,57	14,61	21,82	18,02
Uru	7,92	25,19	18,26	11,19	22,22
Médias	7,46	28,73	21,36	26,02	32,18
SEM	0,17	0,63	1,63	3,09	2,22

Tabela 28: Parâmetros de maturação do composto comparando os grupos de usinas.

Grupos	Maturação do Composto				
	pH	CTC	C/N	MO%	Umidade
A	6,31 (A)	27,32 (A)	32,90 (A)	51,85 (A)	44,97 (A)
B	7,87 (B)	28,88 (A)	19,38 (B)	20,24(B)	28,88 (B)
C	7,51 (B)	30,73 (A)	16,04 (B)	29,67 (B)	30,21 (A)
D	7,53 (AB)	25,85 (A)	18,49 (AB)	13,86 (B)	26,18 (B)

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente para Teste de Tukey ($p < 0,05$).

tanto, valores muito altos também podem causar algum tipo de dano e podem limitar o uso de composto puro em algumas atividades, como por exemplo, na produção vegetal em viveiros.

1) Comparação por usinas

De acordo com os padrões da Legislação Brasileira que exige, para a comercialização do composto, valores de no mínimo 6,0 com tolerância até 5,4 para pH, o pré-composto B de São Paulo foi o único que esteve abaixo da norma estabelecida. Isto demonstra a imaturidade do composto, resultado já esperado, pois a matéria-prima não sofre o processo total de decomposição.

De acordo com as médias apresentadas, somente os compostos das usinas de Parapuã e São José do Rio Preto obtiveram as médias acima de 8,0. As demais, exceto os compostos produzidos em São Paulo, tiveram suas médias no intervalo de 7,24 a 7,98. De acordo com KIEHL (1985), os valores abaixo de 6,0 são indesejáveis, entre 6,0 e 7,5 bons e acima de 7,5 ótimos. É importante ressaltar que valores muito altos de pH são prejudiciais às plantas pois inibem o crescimento das sementes.

Portanto, genericamente, conclui-se que os valores apresentados pelos compostos das usinas de compostagem do estado de São Paulo estão com nível bom quanto ao pH.

2) Comparação por grupos

Considerando os grupos de usinas estudados, os valores para o pH tiveram seus menores índices para o Grupo A, justamente onde se enquadra a usina Vila Leopoldina

de São Paulo. Nesse caso, é importante ressaltar que os valores baixos do Grupo A não podem ser considerados para São José dos Campos, já que na análise individual da usina seus resultados foram satisfatórios, com a média de 7,33 para o pH.

Levando-se em conta o nível de qualidade imposto por KIEHL (1985), têm-se que as usinas do Grupo B apresentam valores mais desejados para o pH.

CTC

A capacidade de troca catiônica (CTC) é um parâmetro de indica, principalmente, o grau de estabilidade do composto. A análise de CTC é considerada um excelente e confiável parâmetro de acompanhamento da maturação do composto, pois a medida que se forma o húmus há um aumento na capacidade de troca catiônica (KIEHL 1998). No entanto, a Legislação Brasileira não exige sua determinação.

1) Comparação por usinas

Os maiores valores para CTC foram encontrados nos compostos das usinas de Assis, Itatinga, Parapuã, São José do Rio Preto, pré-composto A de São Paulo e Tarumã, enquanto que os mais baixos valores foram apresentados pelos compostos de Martinópolis, Osvaldo Cruz, São José dos Campos, pré-composto B de São Paulo e Uru.

2) Comparação por grupos

Considerando os diferentes grupos, temos o maior valor para CTC no Grupo C e, consecutivamente, o Grupo B, A e D. Não há diferença significativa entre os Grupos.

Relação C/N

O conhecimento deste parâmetro indica o grau de decomposição do composto, considerando o valor de 18/1 fertilizante semicurado e, abaixo desse valor, até 10/1, para fertilizante curado. O uso de composto na atividade agrícola com relação C/N fora desses padrões é prejudicial para as culturas, já que não está totalmente curado, causando uma competição por nutrientes para o término da decomposição.

1) Comparação por usinas

Analisando os dados obtidos e considerando as normas da Legislação Brasileira, tem-se que os compostos de Assis, Bocaina, Garça, Itatinga, Martinópolis, Osvaldo Cruz, Parapuã, Presidente Bernardes, São José dos Campos, Tarumã e Uru estão dentro dos limites exigidos.

Dentre estes compostos e levando-se em conta a proposta de KIEHL (1998), apenas Bocaina, Martinópolis, Presidente Bernardes e Tarumã apresentaram valores que indicam a completa estabilização da matéria orgânica.

Quanto aos valores mais altos, os pré-compostos de São Paulo estão muito acima do permitido pela Legislação Brasileira.

2) Comparação por grupos

Considerando os valores da Relação C/N para os diferentes grupos de usinas, tem-se que somente o Grupo A não atinge os valores permitidos pela Legislação Brasileira, estando os demais grupos dentro dos limites.

Matéria orgânica

1) Comparação por usinas

Altos conteúdos de matéria orgânica nos compostos não significa que esses materiais sejam de boa qualidade. Exemplos como este, podem ser citados os pré-compostos A e B de São Paulo, que apresentaram altos índices de matéria orgânica, mas nos parâmetros de maturação não atingiram os valores necessários.

Foram encontrados valores muito baixos para o conteúdo de matéria orgânica, como por exemplo, nos compostos de Uru e Osvaldo Cruz. Embora tenham apresentado valores extremamente satisfatórios para a relação C/N, demonstrando total maturação, esses baixos índices depõem contra os compostos.

De acordo com a Legislação Brasileira, que exige valores de no mínimo 40% de matéria orgânica com tolerância de 4% a menos, somente os pré-compostos A e B e o com-

posto produzido em Assis estão dentro dos limites impostos. Os demais tiveram valores muito abaixo dos exigidos, exceto São José do Rio Preto que apresentou o índice de 32,38%, mas com relação C/N insatisfatória que demonstra a imaturidade do composto.

Do ponto de vista mercadológico, os resultados de baixo conteúdo de matéria orgânica nos compostos comprometem seu valor de mercado. Isso porque os consumidores não só esperam que o produto esteja estabilizado não causando danos às plantas, mas que tenham, também, alto conteúdo de matéria orgânica. Além disso, valores muito baixos de MO podem indicar a presença de contaminantes que, como discutido anteriormente, não é desejável.

2) Comparação por grupos

Comparando-se os diferentes grupos de usinas tem-se os maiores valores apresentados para o Grupo A com 51,85% de matéria orgânica. Isso se justifica pelos altos índices apresentados pelos pré-compostos de São Paulo, que não estavam maturados e, portanto, a matéria orgânica ainda não tinha sofrido a transformação necessária. Os demais Grupos tiveram os seguintes valores: Grupo B: 20,24%, Grupo C: 29,67% e Grupo D: 13,66.

Umidade

A umidade é um parâmetro importante sob o ponto de vista do agricultor. A Legislação Brasileira delimita o valor de 40% com tolerância até 44%.

1) Comparação por Usinas

De acordo com os limites impostos pela Legislação Brasileira, somente os pré-compostos A e B de São Paulo apresentaram valores acima dos estipulados pela Legislação Brasileira. Isto é devido a falta de decomposição da matéria orgânica e da umidade inerente aos resíduos. Todos os demais estão dentro das especificações.

2) Comparação por Grupos

Comparando-se os compostos entre os Grupos, conclui-se que todos estão dentro do parâmetro exigido pela Legislação Brasileira.

4.5.2.2 Nutrientes

As análises de nutrientes presentes nos compostos dão noção sobre o seu valor como fertilizante. Os valores para os compostos estudados são apresentados na tabela 29 e discutidos conjuntamente tanto para a comparação por usinas quanto para os grupos.

1) Comparação por Usinas

Os maiores valores para o conteúdo de carbono total, carbono orgânico e nitrogênio foram encontrados nas amostras de pré-compostos A e B de São Paulo. De acordo com os parâmetros sobre a maturação do composto, nota-se que esses altos valores são resultado da decomposição incompleta do material, que resulta em uma Relação C/N elevada.

Os compostos de Osvaldo Cruz, Martinópolis e Uru apresentaram os menores índices para estes parâmetros. No entanto, a Relação C/N destes compostos estão extremamente satisfatórios, demonstrando a maturação do material.

Quanto ao nitrogênio, de acordo com a Legislação Brasileira, apenas os compostos produzidos nas usinas de Bocaina e São Paulo (Vila Leopoldina) estão dentro dos parâmetros exigidos (mínimo de 1,0% com tolerância de até 0,9%). No caso dos pré-compostos, a partir do momento que esses materiais completarem sua maturação, haverá uma queda no valor de nitrogênio, pois essa perda ocorrerá por lixiviação e/ou amonificação. Portanto, conclui-se que os valores apresentados por esses materiais são devido a maturação incompleta completa dos pré-compostos.

Os mais altos valores para os índices de nitrogênio nessas amostras se deve ao fato de que os resíduos que alimentam as usinas são constituídos, em grande parte, por materiais oriundos de feiras, portanto, com composição de origem vegetal, consequentemente, ricos em nitrogênio.

Quanto aos demais compostos, os valores de nitrogênio estão bem abaixo do exigido pela Legislação Brasileira, com valores de 0,3% para os compostos de Osvaldo Cruz e Uru.

Quanto ao fósforo, os maiores teores foram encontrados nos compostos de Assis, Bocaina, Parapuã, Presidente Bernardes, São José dos Campos, São José do Rio Pre-

Tabela 29. Médias para nutrientes nos compostos das usinas de compostagem do estado de São Paulo.

Municípios	Nutrientes											
	Ctotal g/kg	Corg g/kg	Ntotal g/kg	P g/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	K mg/kg	S mg/kg	Fe mg/kg	NH4 mg/kg	NO3 Mg/kg
Adamantina	122,60	119,63	6,26	279,38	23254,69	2817,28	360,72	3110,00	1705,00	21397,97	47,50	148,00
Assis	128,00	123,15	8,16	483,58	31666,67	3488,81	706,47	3801,00	3402,50	37860,70	59,50	369,50
Bocaina	137,75	131,60	10,45	462,73	34630,57	2255,00	675,60	3700,00	4405,00	24039,81	61,50	360,50
Garça	91,02	87,83	5,81	239,30	23952,99	2419,35	344,09	2808,50	2314,00	34589,98	49,50	417,00
Itatinga	97,40	92,02	6,52	368,90	28570,24	2651,61	295,06	2805,00	2202,00	26292,45	54,50	104,00
Martinópolis	58,36	54,89	4,84	162,86	15921,04	2178,19	220,40	2202,00	1407,50	13864,97	56,00	286,00
Osvaldo Cruz	55,09	52,99	3,47	186,76	17445,92	1884,59	210,78	2405,00	1404,00	15895,79	42,00	187,50
Parapuã	91,02	85,57	5,69	482,60	21232,25	3012,93	298,63	1507,50	3607,50	21591,40	59,50	338,00
Pres. Bernardes	75,73	69,87	6,31	430,35	35422,40	2907,51	294,47	3805,00	2505,00	27797,53	58,00	395,00
S. J. Campos	95,12	91,93	6,08	433,91	23176,21	2247,26	187,90	3015,00	2330,00	14532,81	51,00	123,00
S. J. Rio Preto	149,10	143,37	6,36	428,65	30284,07	3482,44	340,16	4311,00	4105,00	26123,55	74,00	61,50
São Paulo composto A	321,35	318,10	9,43	225,93	24116,36	3522,16	189,76	5725,00	3408,50	9736,75	82,50	114,00
São Paulo composto B	325,50	325,40	9,32	290,46	27104,93	2658,98	139,44	6142,50	3652,50	6198,20	110,00	65,00
Tarumã	90,78	85,26	7,24	413,91	28121,34	3333,04	662,43	4118,00	4003,50	59255,74	59,50	362,50
Uru	52,83	51,52	3,45	206,04	19558,32	1837,52	233,17	2206,00	1512,50	13674,31	59,50	180,50
Médias	126,11	122,21	6,62	339,69	25630,5	2713,11	343,94	3484,37	2673,55	23525,5	61,63	234,13
SEM	15,58	15,69	0,41	27,22	1400,66	134,33	42,69	248,18	184,69	2618,48	3,63	32,26

to e Tarumã, enquanto os mais baixos valores nos compostos de Martinópolis e Osvaldo Cruz.

Considerando os valores propostos por KIEHL (1985), todos os compostos estão com valores muito abaixo de 0,5%.

O cálcio apresentou maiores valores nos compostos produzidos em Assis, Bocaina, Presidente Bernardes, e São José do Rio Preto. Os menores valores foram encontrados em Martinópolis, Osvaldo Cruz e Uru.

A Legislação Brasileira não apresenta valores mínimos para esse elemento, mas de acordo com KIEHL (1985), todos os compostos estão nos níveis médio e alto para a quantidade de cálcio.

A presença de cálcio nos compostos se deve ao fato dos resíduos terem em sua composição restos de frutas, verduras, papel e madeira que contribuem para que esse elemento seja encontrado no produto final.

O magnésio apresentou maiores valores para Assis, Parapuã, São José do Rio Preto, São Paulo pré composto A e Tarumã, enquanto menores quantidades em Osvaldo Cruz e Uru.

Na escala proposta por KIELH (1985), todos os compostos estão muito abaixo dos valores sugeridos para o magnésio.

Quanto ao manganês, foram encontrados valores extremamente elevados para Assis, Bocaina, e Tarumã, enquanto São José dos Campos e pré-compostos A e B de São Paulo apresentaram valores muito baixos.

O potássio apresentou maiores concentrações nos pré-compostos A e B de São Paulo, enquanto que Osvaldo Cruz apresentou o menor valor. Para KIEHL (1985), todos os compostos apresentam valores baixos desse elemento.

O enxofre obteve índices médios em Bocaina, São José do Rio Preto e Tarumã, enquanto os demais compostos apresentam baixos valores para esse elemento.

A quantidade de ferro teve uma variação muito grande nos compostos analisados e seus maiores valores foram encontrados em Assis, Garça e Tarumã, enquanto os menores foram encontrados nos pré-composto de São Paulo.

O NH_4^+ obteve valores mais altos apenas nos pré-compostos B de São Paulo e São José do Rio Preto, demonstrando a imaturidade desses materiais. Em contrapartida, valores mais altos para o nitrato (NO_3), demonstra que os compostos atingiram a estabilização desejada. Os mais altos valores para esse elemento foram encontrados em Assis, Bocaina, Garça, e Tarumã.

2) Comparação por Grupos

Os valores para nutrientes comparando os grupos de usinas são apresentados na tabela 30.

Tabela 30: Valores para nutrientes comparando os grupos de usinas.

Nutrientes				
Grupos	Ctotal g/kg	Corg g/kg	Ntotal g/kg	P_2O_5 mg/kg
A	247,32 (A)	245,32 (A)	8,27 (A)	316,76 (A)
B	92,26 (B)	92,26 (B)	5,65 (B)	324,76 (A)
C	118,84 (B)	118,84 (B)	8,61 (A)	453,41 (A)
D	55,09 (B)	55,09 (B)	3,47 (B)	186,76 (A)
Grupos	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	K mg/kg
A	24799,2 (A)	2809,46 (A)	172,36 (A)	4960,83 (A)
B	24774,5 (A)	2663,35 (A)	298,33 (A)	3032,06 (A)
C	31472,9 (A)	3025,61 (A)	681,50 (B)	3873,00 (A)
D	17445,9 (A)	1884,59 (A)	210,78 (A)	1507,50 (A)
Grupos	S mg/kg	Fe mg/kg	NH_4 mg/kg	NO_3 mg/kg
A	3130,33 (A)	10155,90 (A)	81,17 (A)	100,67 (A)
B	2419,81 (B)	23170,30 (A)	57,31 (B)	241,25 (AB)
C	3937,00 (A)	40385,40 (B)	60,17 (AB)	364,17 (B)
D	1404,00 (B)	15895,80(A)	42,00(AB)	187,50 (AB)

Para o carbono total e carbono orgânico, o Grupo A apresentou os maiores valores e difere significativamente dos demais Grupos.

O nitrogênio total, apresentou altos valores para os Grupos A e C, e estatisticamente o Grupo A e C diferem dos Grupos B e D.

Os maiores valores para fósforo foram encontrados no Grupo C, enquanto o Grupos A e B tiveram valores semelhantes e o Grupo D abaixo. Estatisticamente, não há diferença entre eles.

O elemento cálcio, apresentou maiores valores para o Grupo C, mas estatisticamente não há diferença entre eles.

Para o magnésio e para o manganês, foram apresentados valores mais altos para o Grupo C, mas não há diferença significativa para o magnésio e, no caso do manganês, o Grupo C difere dos demais.

O potássio apresentou maiores valores para o Grupo A mas estatisticamente não há diferença entre eles.

O enxofre teve maiores índices no Grupo A e C e o ferro, somente o Grupo C teve valores mais elevados diferindo estatisticamente dos demais Grupos.

O NH_4^+ apresentou maiores valores para o Grupo A devido a presença dos pré-compostos produzidos na Vila Leopoldina, diferindo estatisticamente do Grupo B, enquanto para o NO_3^- , o Grupo C obteve maiores índices para este elemento demonstrando maior maturidade nos produtos.

4.5.2.3. Metais Pesados

O conteúdo de metais pesados nos compostos é de extrema importância uma vez que, dependendo da quantidade, eles se tornam tóxicos para as plantas e podem entrar na cadeia alimentar (tabela 31).

1) Comparação por Usinas

De acordo com a Legislação Brasileira, em discussão para metais pesados, o valor permitido para o cobre é de 200 mg/kg. Nos compostos, os maiores valores para

Tabela 31. Médias para Metais Pesados nos Compostos.

Municípios	Metais (mg/kg)						
	Cu	Zn	Al	Si	Ni	Cd	Pb
Adamantina	212,81	502,12	8848,23	2037,31	<LD	<LD	<LQ
Assis	581,22	889,31	14738,81	762,44	<LD	<LD	<LQ
Bocaina	202,51	750,83	9951,39	840,30	<LD	<LD	<LQ
Garça	448,68	391,52	12263,10	780,84	<LD	<LD	<LQ
Itatinga	157,43	292,84	12382,35	627,51	<LD	<LD	<LQ
Martinópolis	81,08	217,16	7821,55	852,04	<LD	<LD	<LQ
Osvaldo Cruz	58,44	222,01	11031,56	485,52	<LD	<LD	<LD
Parapuã	151,03	295,25	6991,64	744,82	<LD	<LD	<LD
Pres. Bernardes	116,31	384,54	8218,76	963,34	<LD	<LD	<LQ
S. J. Campos	205,19	390,05	12038,26	1178,13	<LD	<LD	<LQ
S. J. Rio Preto	405,52	536,42	8573,42	749,08	<LD	<LD	<LQ
São Paulo composto A	135,12	268,06	14960,25	1304,98	<LD	<LD	<LQ
São Paulo composto B	81,23	213,06	7970,38	942,21	<LD	<LD	<LQ
Tarumã	193,52	482,80	31108,09	625,66	<LD	<LD	<LQ
Uru	55,95	177,18	10245,50	475,70	<LD	<LD	<LQ
Médias	205,73	400,87	11809,60	891,32	<LD	<LD	<LQ
SEM	31,83	43,45	1123,99	117,82	0,0	0,0	0,0

LD: menor que o limite de detecção.

LQ: menor que o limite de quantificação.

o cobre foram encontrados em Assis, Garça e São José do Rio Preto. Estão dentro dos limites impostos os compostos de Itatinga, Martinópolis, Osvaldo Cruz, Parapuã, Presidente Bernardes, pré-composto A e B de São Paulo, Tarumã e Uru. Apesar de próximo do valor permitido, o composto produzido em Adamantina também está fora dos limites impostos.

Levando-se em conta os padrões exigidos pela comunidade européia, que tem como limites mais exigentes para o cobre os países da Bélgica, Suíça, Alemanha e Holanda, somente alguns compostos poderiam ser vendidos livremente quanto à presença de cobre, a saber: na Holanda, o limite mais baixo permitido entre todos os países europeus, somente os compostos de Martinópolis, Osvaldo Cruz e Uru tiveram seus valores para cobre menores que 90 mg/kg.

Por outro lado, pela Legislação Americana, só Assis estaria fora dos padrões exigidos pela EPA. Portanto, é necessário relativizar esses valores, uma vez que não existe uma unanimidade internacional a respeito.

Quanto ao zinco, as maiores concentrações foram encontradas nos compostos de Assis, Bocaina e São José do Rio Preto e somente esses compostos não estão dentro dos limites impostos pela Legislação Brasileira de 500 mg/kg. Os menores valores foram encontrados nos compostos produzidos em Martinópolis e Uru.

Quantidades elevadas de zinco nos compostos provavelmente estão associadas ao grande descarte de pilhas nos lixos brasileiros.

Considerando alguns países europeus mais rígidos em relação aos limites brasileiros, somente os compostos produzidos em Martinópolis, Osvaldo Cruz, pré-compostos A e B de São Paulo e Uru estão dentro dos limites impostos pela Holanda, país mais rígido quanto a esse metal. Todavia, com relação aos valores indicados pela Legislação Americana, todos estão bem abaixo do limite de 1000 mg/kg imposto por este país.

Quanto ao alumínio, a Legislação Brasileira não tem limites para esse metal e segundo os dados obtidos, o composto produzido em Tarumã apresentou valor extremamente elevado, enquanto Parapuã apresentou os menores valores. A preocupação quanto a presença de alumínio nos compostos é devido o seu uso em grandes doses continuadas, em solos com elevadas concentrações naturais desse elemento, como no caso dos solos do cerrado brasileiro.

O silício foi encontrado em grande quantidade nos compostos de Adamantina e em menor quantidade em Uru e também não apresenta limites impostos pela Legislação Brasileira.

O níquel, o cádmio e o chumbo estão abaixo do nível de detecção, não representando problema em qualquer legislação que se aplique. Os baixos níveis desses elementos nos compostos analisados podem ser explicados pela diminuição da quantidade desses metais em pilhas e baterias por meio da aplicação da Resolução nº 557/99 do CONAMA (D'ALMEIDA e VILHENA 2000).

Tabela 32. Valores para metais considerando os diferentes grupos de usinas.

Municípios	Metais (mg/kg)						
	Cu	Zn	Al	Si	Ni	Cd	Pb
A	140,51 (A)	290,39 (A)	11656,30 (AB)	1141,77 (A)	<LD	<LD	<LQ
B	203,60 (A)	349,63 (A)	9418,10 (A)	903,83 (A)	<LD	<LD	<LQ
C	325,75 (A)	707,64 (B)	18599,40 (B)	742,80 (A)	<LD	<LD	<LQ
D	58,44 (A)	222,01 (A)	11031,60 (AB)	485,51 (A)	<LD	<LD	<LQ

LD: menor que o limite de detecção.

LQ: menor que o limite de quantificação.

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente para Teste de Tukey ($p < 0,05$).

2) Comparação por Grupos

Os valores para metais considerando os diferentes grupos de usinas são apresentados na tabela 32.

A comparação considerando os diferentes Grupos tem os seguintes resultados: o Grupo C apresentou os maiores valores para o cobre, o zinco e o alumínio, enquanto que o silício obteve sua maior concentração no Grupo A.

4.6 Utilização dos compostos e aspectos positivos e negativos das usinas

Os compostos produzidos nas usinas, indiferentemente à sua qualidade, possuem pontos de escape (venda ou doação) e diferentes formas de uso, conforme a tabela 33.

Segundo os dados apresentados, os compostos produzidos nas usinas estudadas têm sua utilização mais comum na atividade de jardinagem, sendo seguida pela horta e cafeicultura.

Na cultura de cana-de-açúcar os compostos são utilizados após a colheita para ajudar na reestruturação do solo e, juntamente com o viveiro de plantas, tem os mais baixos índices de utilização.

O composto vendido em São Paulo era utilizado, principalmente, no chamado cinturão verde e, embora o material não estivesse apropriado para seu uso imediato no momento da compra, o agricultor recebia orientações para executar o restante do processo no próprio local de aplicação. Esse tipo de assistência técnica, como era chamada, também

Tabela 33. Usos dos compostos produzidos nas usinas de compostagem.

Municípios	Utilização dos Compostos							
	JD ¹	CF ²	CC ³	HT ⁴	AG ⁵	EP ⁶	PT ⁷	VP ⁸
Adamantina								
Assis								
Bocaina								
Garça								
Itatinga								
Martinópolis								
Osvaldo Cruz								
Parapuã								
Pres. Bernardes								
S. J. Campos								
S. J. Rio Preto								
São Paulo								
Tarumã								
Uru								

¹Jardinagem; ²Cafeicultura; ³Canicultura; ⁴Horta; ⁵Agricultura; ⁶Estufa de Flores e Pomar; ⁷astagem; ⁸Viveiro de Plantas.

fornecia as instruções para a adubação de diversas culturas, sob a consultoria do Prof. Dr. Edmar José Kiehl.

No que diz respeito a utilização em pomar, o composto produzido em São José do Rio Preto não se limita apenas a adubar as culturas de laranja, mas também é utilizado na produção de uva e limão. Em Garça, o composto produzido é utilizado na produção de café orgânico, agregando valor a este tipo de produto, diferenciando-o no mercado.

Em muitas cidades estudadas, os compostos são utilizados pela própria prefeitura em canteiros de plantas e flores e em hortas comunitárias (figura 60), como no caso de Tarumã. A iniciativa da Prefeitura Municipal em parceria com a “ACRUTA” – Associação Comunitária Rural de Tarumã, distribui 250 kits/semana com 6kg de verduras, beneficiando 250 famílias da cidade.

Essas informações foram fornecidas pelos gestores das usinas por meio do questionário aplicado que continha também outras questões relevantes. Com o intuito de destacar as vantagens e limitações destacadas sob o ponto de vista de cada gestor, o ques-

Figura 60. Visão geral da horta comunitária (Município de Tarumã).

Foto cedida pela Prefeitura Municipal de Tarumã.

tionário apresentou a questão sobre pontos fortes da usina e os que ainda precisam ser melhorados. É importante ressaltar que as questões eram abertas não havendo indução nas respostas apresentadas.

Dentre os municípios que consideram os benefícios socioambientais estão Assis, Bocaina, Martinópolis, Osvaldo Cruz, Presidente Bernardes, São José Rio Preto e São José dos Campos. Os benefícios ambientais consideram o destino adequado dos resíduos sólidos com diminuição do material a ser aterrado, tendo como consequência o aumento da vida útil do aterro, o agregamento de valor aos materiais recicláveis e o tratamento da matéria orgânica por meio da compostagem. Os sociais englobam, principalmente, a abertura de novos empregos.

Os recursos humanos também foram lembrados pelos gestores das usinas de Adamantina, Garça, Osvaldo Cruz e Uru tendo como ponto principal a triagem, considerada por eles como bem realizada pelos operadores.

Juntamente com o índice de recursos humanos, estão a coleta diária de resíduos (Garça, Parapuã, São José do Rio Preto e Tarumã) que impede que os resíduos cheguem às usinas num estado avançado de decomposição, a qualidade do composto citado por Garça, Martinópolis, São José dos Campos e Uru e a coleta diferenciada de RSS (Garça e São José do Rio Preto).

Na sequência tem-se o tratamento de chorume (Garça, São José do Rio Preto e Parapuã) que impede a contaminação do meio ambiente e a parte mecânica citada pelos municípios de Adamantina e Osvaldo Cruz.

Os demais pontos positivos foram citados por apenas um município por categoria, a saber: não ocorrência de chorume e ausência de moscas (Tarumã), referência regional e proximidade de potenciais compradores (Itatinga), preço elevado pelo composto (Bocaina) e Projeto Feiras Limpas (São Paulo).

O projeto “Feiras Limpas”, que ocorre em São Paulo, consiste na separação de sobras da feira que eram enviadas para a Usina de Compostagem Vila Leopoldina antes do seu fechamento. Nos demais municípios, principalmente nos de pequeno porte, as sobras de matéria orgânica oriundas desses locais são utilizadas na alimentação animal como complemento à ração.

Quanto aos aspectos negativos, a falta de educação ambiental, tendo a ausência da coleta seletiva como principal consequência, é entendida pelos gestores como um dos grandes entraves para o sucesso das usinas.

A falta de beneficiamento do composto é apontado pelos municípios de Adamantina, Itatinga, e Presidente Bernardes. No caso de Adamantina, a mudança do pátio de compostagem para outro local, contribuirá para que o beneficiamento do composto seja realizado brevemente. Em contrapartida, Itatinga e Presidente Bernardes já possuem as peneiras para o composto, mas encontram-se ainda desinstaladas.

Também foram citados, pelos gestores, a necessidade de melhorias na qualidade do composto ainda no pátio (Martinópolis, Presidente Bernardes e Tarumã), que inclui a formação de leiras mais adequadas e revolvimentos mais frequentes para aumentar a

oxigenação da massa incluindo, neste caso, a aquisição de equipamentos específicos; a melhoria na infra-estrutura da usina (Itatinga, Bocaina e Osvaldo Cru) com necessidades de maiores investimentos nas instalações e plantio de cercas-vivas para diminuir a ação do vento; a diminuição da distância entre o pátio de compostagem e a peneira para beneficiamento do composto (Tarumã e Uru). A falta de equipamentos adequados como pá carregadeira contribui para dificultar este trabalho, realizado pelos próprios funcionários. Ainda em relação a infra-estrutura, o município de Assis indica um espaço maior na esteira, principalmente por trabalhar em sistema de cooperativa, o que facilitaria a triagem realizada pelos cooperados. Problemas operacionais também foram citados pelo gestor da usina de Vila Leopoldina, que devido aos fortes odores produzidos e exalados para o entorno da usina e a falta de locais para o término da decomposição da matéria orgânica, contribuíram para o seu fechamento.

A falta de conhecimento dos benefícios advindos da utilização do composto (Bocaina e São José dos Campos) e a pouca aceitação das usinas de compostagem pela sociedade em geral (Bocaina e São Paulo) são citados como pontos negativos em relação a esse processo. A falta de conhecimento e planejamento na compra das usinas, muitas vezes utilizando maquinarias estrangeiras e inadequadas à nossa realidade, também contribuem para seu atual descrédito sob o ponto de vista desses gestores.

5 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho sobre avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção permitiram as seguintes conclusões:

- 1) A produção de composto nas usinas de compostagem a partir de resíduos sólidos urbanos, embora com inúmeras dificuldades, apresenta uma série de benefícios socioambientais, como: geração de emprego e retirada dos resíduos da rota tradicional de descarte (aterros e lixões), contribuindo com a diminuição da poluição e contaminação do meio quando estes materiais são dispostos inadequadamente;
- 2) Considerando o panorama atual da coleta e disposição de resíduos, que na maioria dos casos não inclui a coleta seletiva, o tratamento dado a esses materiais dentro das usinas através do pré-tratamento, que inclui a triagem e os equipamentos subsequentes, e compostagem controlada, transforma-os em insumos para processos posteriores. Desta maneira, os recicláveis adquirem o valor de mercado e a fração orgânica é transformada num condicionador do solo.
- 3) A qualidade dos materiais que são encaminhados ao pátio de compostagem se deve a dois fatores principais: ao processo de pré-tratamento e a triagem realizada pelos operadores. Quanto à estrutura, as usinas representadas pelo processo Dano com eletroímãs e separadores balísticos e as usinas com peneiras rotatórias após a esteira de triagem obtiveram melhores valores quanto a essa qualidade.
- 4) Embora as usinas estudadas apresentem a peneira rotatória como um processo de pós-tratamento do composto para seu beneficiamento, o processo após a esteira de triagem é decisiva quanto aos conteúdos de contaminantes nos compostos.
- 5) A Legislação Brasileira é falha na classificação de compostos segundo sua granulometria.

- 6) Os compostos analisados das usinas de compostagem do estado de São Paulo podem ser consideradas como condicionadores de solo e não como fornecedores de nutrientes devido aos baixos valores observados.
- 7) Quanto ao conteúdo de metais pesados, podemos concluir que o cobre e o alumínio são os elementos em maiores quantidades nos compostos, enquanto que o níquel, cádmio e o chumbo não foram detectados pelas análises químicas. Todavia, na média quanto ao conteúdo de metais, os compostos analisados têm qualidade bastante aceitável.
- 8) Além das limitações impostas pela falta de coleta seletiva, os problemas com a qualidade dos compostos produzidos no estado de São Paulo estão nas condições inadequadas de processo no pátio de compostagem e não nas estruturas das usinas. As estruturas influenciam diretamente as características físicas dos compostos sendo estes problemas facilmente solucionados com a introdução de maquinários simples para melhor retirada de rejeitos, contaminantes e impurezas em geral.

A contribuição científica deste trabalho foi avaliar a situação real das usinas de compostagem do estado de São Paulo sob o ponto de vista da usina, ou seja, as dificuldades do processo e sua influência na qualidade dos produtos. Mesmo que as usinas não estejam produzindo compostos de alta qualidade, a retirada destes materiais da rota tradicional de descarte já pode ser considerada um benefício extremamente vantajoso para o meio ambiente. Nesse caso, a produção de compostos se torna um benefício extra ao processo que contribui com a maior sustentabilidade do sistema.

Além disso, o processo de compostagem transforma a matéria orgânica crua em um produto estabilizado e ainda que tivesse sua destinação aos aterros sanitários devido sua pouca qualidade, o processo levaria vantagem em relação à disposição direta no solo pela diminuição da massa em volume e pelo reduzido potencial de contaminação.

6 RECOMENDAÇÕES

A Legislação Brasileira deve exigir que as usinas de compostagem, assim como outras formas de tratamento de resíduos, devam ser acompanhados por técnicos especializados que possuam conhecimento científico do processo e que possam contribuir com a melhoria das condições desses tratamentos.

Maior controle na produção e análises periódicas no composto, contribuindo para aumentar o marketing do produto no mercado melhorando seu poder de venda.

Maior centralização de dados sobre as usinas de compostagem não só do estado de São Paulo assim como de todo o país. A falta de informações colabora com o descrédito em relação a essa forma de tratamento e evita que a sociedade como um todo conheça os benefícios da utilização dos compostos.

Quanto às análises, a recomendação sugerida é de uma especificação intermediária entre as granulometria farelado e farelado grosso, para que os compostos possam ser analisados entre os tamanhos de partículas 38 mm e 4,8 mm.

A coleta seletiva deve ser um objetivo a ser alcançado no que tange ao gerenciamento dos resíduos, incluindo a compostagem como forma de tratamento da parcela orgânica. A compostagem deve fazer parte de um gerenciamento integrado dos resíduos e deve ser inserida na Política Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos.

7 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos urbanos – procedimento.** Rio de Janeiro; 1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004. Resíduos sólidos. classificação.** São Paulo; 1987.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10007. Amostragem de resíduos.** São Paulo; 1987.

Allison FE. **Soil organic matter and its role in crop production.** London: Elsevier Scientific Publishing Co; 1973.

Allison LE. Organic carbon. In: Black CA; Evans DD; White JL; Ensiminger LE; Clark FE; Dinauer RC eds. **Methods of Soil Analysis.** Madison, SA, 1965. p.367-378.

Avnimelech Y, Shkedy D, Kochva M, Yotal Y. The use of compost for the reclamation of saline and alkaline soil. **Compost Sci and Util.** 1994; 2 (3): 6-11.

Azevedo MA de, Heller L, Schalch V. Avaliação do potencial de risco para a saúde da disposição inadequada dos resíduos sólidos. In: **Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental;** 2001 Set 16-21; João Pessoa (PB): ABES; 2001. p. 1-15.

Barreira LP. **Produção de composto de resíduos sólidos urbanos e embalagens tipo Tetrapak® e sua aplicação como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*.** Botucatu (SP); 2000. [Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista/UNESP].

Barrios S, Fernandez R, Vásquez F, Font X. Composting activity in Catalonia. **BioCycle** 2004; February: 64-66.

Baptista FRM. Apropriação de receitas indiretas por uma unidade de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos a partir da redução de custos do sistema de limpeza urbana (SLU); nd. p. 1-8.

Benigno C. **A Revolução industrial**. [artigo]. 2003 Disponível www.nead.unama.br/charles/revolucao.htm.

Bidone FRA. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Porto Alegre (RS): RiMa, ABES, 2001.

Blum B. Composting and the roots of the sustainable agriculture. **Agri Hist.** 1992; 66(2):171-188.

Braga B, Hespanhol I, Barros MTL, Veras Junior MS, Porto MFA et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall; 2002.

Brinton WF. An international look at compost standards. **Biocycle** 2001; April: 74-76.

Calderoni S. **Os bilhões perdidos no lixo**. São Paulo: Humanitas Editora; 1997.

Capra F. **O ponto de mutação – A ciência, a sociedade e a cultura emergente**. São Paulo: Editora Cultrix; 1982.

Carvalho VS, Tella MAP. Sociedade de Consumo e Sustentabilidade Planetária. **Consumo, lixo e meio ambiente**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/CEDEC/Coordenadoria de Educação Ambiental; 1997 (nº especial): 6-8.

Catálogo Usinas Stollmeier Ltda. Usina de Reciclagem e Compostagem de Lixo Urbano. www.stollmeier.com.br.

Cavalcanti C. Desenvolvimento e respeito à natureza: uma introdução termodinâmica à economia da sustentabilidade. In: Leila da Costa Ferreira e Eduardo Viola (orgs). **Incertezas de sustentabilidade na globalização**. Campinas (SP): Editora da Unicamp; 1996. p. 319-331.

Catapreta CAA. **Associação entre coleta de resíduos sólidos domiciliares e indicadores de saúde em vilas e favelas de Belo Horizonte**. Belo Horizonte (MG); 1997. [Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia da UFMG].

Cempre. Cadernos de reciclagem – **Compostagem – A outra metade da reciclagem**. Gráfica Macroven. São Paulo. 1997. 31p.

Cetesb. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares**. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente; 2003.

Chaney RL, Ryan JA. Heavy metals and toxic organic pollutants in MSW – Composts: research, results on phytoavailability, bioavailability. In: Hoittink e Keener, editores. **Sci and Eng of Comp – design, environmental, microbiological and utilization aspects**. 1993; Fate Wooster, Ohio: The Ohio State University. pp.451-506.

Classen MEC. **Manual de métodos de análise do solo**; 2ª. Edição, Embrapa; Rio de Janeiro, 1997.

D’Almeida MLO, Vilhena A (coord). **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ª edição. São Paulo: IPT/CEMPRE. 2000.

De Bertoldi M. Composting in the European Union. **BioCycle** 1998; June: 74-75.

De Bertoldi M, Vallini G, Pera A. The biology of composting: A review. **Waste Man & Res.** 1983; p. 153-176.

Diário Oficial do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade ambiental do estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente; 2004.

Dias AEXO. Biorremediação de áreas afetadas por resíduos sólidos tóxicos. In: Cristina Lucia Silveira Sisinnio e Rosália Maria de Oliveira (orgs). **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ; 2000. p. 79-98.

Dias GF. **Atividades interdisciplinares de educação ambiental**. São Paulo: Global Editora; 1994.

Diaz LF, Savage GM, Golueke CG. **Resource recovery from municipal solid wastes**. Boca Raton (USA): CRC Press Inc; 1982.

Diaz LF, Savage GM, Eggerth LL, Golueke CG. **Composting and recycling - municipal solid waste**. Boca Raton (USA): Lewis Publishers; 1993.

Dick WA, McCoy EL. Enhancing soil fertility by addition of compost In: Hoitink e Keener, editores. **Science and Engineering of Composting: design, environmental, microbial and utilization aspects**. Wooster (Ohio): The Ohio State University; 1993. p. 622- 644.

Diegues ACS. Desenvolvimento sustentável ou sociedades sustentáveis: da crítica dos modelos aos novos paradigmas. **São Paulo em Persp**. 1992; 6 (1-2): 22-29.

Duggan JC, Wiles CC. Effects of municipal compost and nitrogen fertilizers on selected soils and plants. **Comp Sci**. 1976; 17(5): 24-31.

Eggerth LL. Compost marketing trends in the United States. In: Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. **Science of Composting** Part 2. 1ª edição. England: Chapman & Hall (Edit), 1996, pp.989-998.

Embrapa. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro; 1979.

Epstein E, Chaney RL, Henry C, Logan TJ. Trace elements in municipal solid waste Compost. **Biomass and Bioenergy**. 1992; 3(3-4):227-238.

Ferreira JA. Resíduos sólidos: perspectivas atuais. In: Cristina Lucia Silveira Sisinno e Rosália Maria de Oliveira (orgs). **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000. p. 19-40.

Figueiredo PJM. Sustentabilidade ambiental: aspectos conceituais e questões controversas. In: **Programa Conheça a Educação** 2001 jul 19; Brasília (DF): Ministério da Educação; 2001. p. 1-12.

Forattini OP. Aspectos epidemiológicos ligados ao lixo. In: **Lixo e Limpeza Pública**. USP-FSP/OMS-OPAS. São Paulo. 1969. p. 3.1-3.19.

Funasa. **Manual de Saneamento**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde/ Ministério da Saúde/Departamento de Saneamento; 1999.

Gallardo-Lara F, Nogales R. Effect of the application of town refuse compost on the soil-plant system: A review. **Biol Wastes** 1987; 19: 35-62.

Galvão Junior AC. **Aspectos operacionais relacionados com usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil**. São Carlos (SP); 1994. [Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP].

Galvêas EC. **A revolução industrial e suas conseqüências: da corporação de artesãos e manufaturas locais à produção em escala internacional**. [artigo]. 2003. Disponível www.maxpages.com/elias.

Golueke CG, Diaz LF. Historical review of composting and its role in municipal waste management. In: **Science of Composting** Part 1. Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. 1ª edição. England: Chapman & Hall (Edit), 1996.pp.3-14.

Gomes JÁ, Ogura SK. Considerações sobre os componentes potencialmente perigosos no lixo domiciliar. [Trabalho apresentado no Seminário “Componentes potencialmente perigosos no lixo domiciliar”, 13 de abril de 1993, São Paulo, IPT].

Gonçalves CL. Definindo a questão do lixo urbano. In: **Consumo, lixo e meio ambiente – desafios e alternativas**. Secretaria do Meio Ambiente/ CEDEC/ Coordenadoria de Educação Ambiental. São Paulo, 1997. p. 3.

Gotaas HB. **Composting: sanitary disposal and reclamation of organic wastes.** Geneva: World Health Organization; 1956.

Gray KR, Biddlestone AJ, Clark R. Review of composting, Part 3: processes and products. **Process Bioch** 1973; October: 6.

Gray KR, Sherman K, Biddlestone AJ. A review of composting, Part 1. **Proc Bioch** 1971; 6(10): 22-28.

Grossi MGL. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas.** São Paulo; 1993. [Tese de Doutorado - Instituto de Química da Universidade de São Paulo].

Guimarães PG. Agenda 21 e desenvolvimento sustentável. **Revista CEDEX** 4 1999; (11): 4-9.

Günther WMR; Ribeiro H. Resíduos Sólidos Urbanos. In: Wagner Costa Ribeiro (org). **Patrimônio Ambiental Brasileiro.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo; 2003.

Hamada J. Política nacional de resíduos sólidos. In: **I SICOM – Simpósio sobre Compostagem – “Ciência e Tecnologia”;** 2004 ago 19-20; Botucatu (SP). Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2004. p. 1-14.

Hamada J, Abeche LHT. Ferramenta computacional para estimativa do volume mensal de percolados em aterros sanitários. In: **Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental;** 2001 Set 16-21; João Pessoa (PB): ABES; 2001. p. 1-9.

Heller L. **Associação entre cenários de saneamento e diarreia em Betim – MG: O emprego do delineamento epidemiológico caso-controle na definição de prioridades de intervenção.** Belo Horizonte (MG); 1995. [Tese de Doutorado - Escola de Veterinária da UFMG].

Hutchinson HB, Richards EH. Artificial farmyard manure. **The J Min of Agri** 1922; 28: 398-411.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Anuários Estatísticos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

IBGE. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

Jacobi P. Desperdício e degradação ambiental. In: **Consumo, lixo e meio ambiente – desafios e alternativas**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/ CEDEC/ Coordenadoria de Educação Ambiental; 1997. p. 12.

Jacobi P, Teixeira MAC. Resíduos sólidos e educação ambiental: quando a vontade influi nas políticas públicas. In: **Educação, meio ambiente e cidadania. Reflexões e experiências**. São Paulo: SMA/CEAM; 1998. p. 53-60.

Jackson ML. **Soil Chemistry Analysis**. New Delhi, India Privatte, 1967. p.57-81.

Kapetanios EG. Heavy metals removal by clinoptilolite in pepper cultivation using compost. In: Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. **Science of Composting Part 2**. 1ª edição. England: Chapman & Hall (Edit), 1996. pp.924-935.

Kapetanios EG, Loizidou M, Malliou E. Heavy metals levels and their toxicity in compost from Athens household refuse. **Envir Techn Letters**. 1988; 6: 799-802.

Kiehl EJ. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres Ltda; 1985.

Kiehl EJ. **Manual de compostagem – maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Editora Degaspari; 1998.

Kiehl EJ. Qualidade de composto orgânico e comercialização. Palestra apresentada no **I SICOM – Simpósio sobre Compostagem – “Ciência e Tecnologia”**; 2004 ago 19-20; Botucatu (SP).

Kranert M, Behnsen A. managing organic residuals in Europe. **BioCycle** 2001; August: 67-70.

Krauss P, Blessing R, Korherr U. Heavy metals in compost from municipal refuse: strategies to reduce their content to acceptable levels. In: M. Bertoldi, editor **Compost. - Production, Quality and Use**. 1986.pp.254-365.

Leal MC, Sabroza, PC Rodriguez RH, Buss PM. **A ética do desenvolvimento e as relações com saúde e ambiente**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ; 1992.

Leão AA. Geração de resíduos sólidos urbanos e seu impacto ambiental. In: **Indicadores Ambientais**; 1997 jun; Sorocaba (São Paulo). Piracicaba: Liber Arte; 1997. p. 213-222.

Lelis MPN, Pereira Neto JT. Usinas de reciclagem de lixo: porque não funcionam. In: **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**; 2001 set 16-21; João Pessoa (PB): ABES; 2001. p. 1-9.

Lepsch IF. **Solos - formação e conservação**. 5ª ed. São Paulo: Editora Melhoramentos; 1993.

Lima LMQ. **Tratamento de lixo**. 2ª ed. São Paulo: Hemus Editora Ltda., 1981.

Lindenberg RC. Compostagem. In: **Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**; 1977 jul; Belo Horizonte (MG): ABES; 1977.

Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado/Coordenação: Maria Luiza Otero D' Almeida, André Vilhena – 2ª edição. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

Lopez-Real JM. Agroindustrial waste composting and its agricultural significance. **Proceedings of the Fertilizer Society** 1990; 293: 1 -26.

Lopez-Real JM. Composting through the ages. In: **Down to Earth Composting**. 1994. 5p.

Merillot J M. Perspectives and state of the art of composting in France. In: Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. **Science of Composting Part 2**. 1ª edição. England: Chapman & Hall (Edit), 1996.pp.684-690.

MMA. **Consumo sustentável: manual de educação**. Brasília: Consumers International/MMA/IDEC, 2002, 144 p.

Monteiro JHP. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM; 2001.

Moraes LRS. Impacto na saúde do acondicionamento e coleta dos resíduos sólidos domiciliares. In: **Anais do Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental**; 1998; Lima (Peru). AIDIS; 1998. p. 1-10.

Nakasaki K, Yaguchi H, Sasaki Y, Kubota H. Effects of C/N ratio on thermophilic composting of garbage. **J of Fermen and Bioen** 73(1), pp.43-45, 1992.

Naumoff AF. Máquinas e implementos utilizados na compostagem. In: **I SICOM – Simpósio sobre Compostagem – “Ciência e Tecnologia”**; 2004 ago 19-20; Botucatu (SP). Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2004. p. 1-9.

Newman D. Composting cctivity in Italy. **BioCycle** 2003; October:57.

Obeng LA, Wright FW. The co-composting of domestic solid and human wastes. **W Bank Techn Paper**. 1987; (57): 102.

Oliveira S de, Pasqual A. Monitoramento do lixiviado de aterro sanitário. In: **Anais do XXVII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental**; 2000 Diciembre 3-8; Porto Alegre (RS), Brasil: AIDIS; 2000. p. 1-8.

Oliveira SML de. Resíduos sólidos na região metropolitana de São Paulo: uma visão contemporânea. **Consumo, lixo e meio ambiente**. Secretaria do Meio Ambiente/CEDEC/ Coordenadoria de Educação Ambiental. São Paulo, 1997 (nº especial): 8-9.

Oliveira WE. Socio economic, environmental and health implications of solid wastes. In: **Regional Symposium of Solid Wastes**. 1978; Santo Domingo; 1978. p. 1-10.

Oliveira WE. Resíduos sólidos e limpeza pública. In: Arlindo Philippi Junior, organizador. **Saneamento do Meio**. São Paulo: FUNDACENTRO, Universidade de São Paulo; 1982. p. 83-114.

Parr JF, Hornick SB. Agricultural use of organic amendments: a historical perspective. **Am J of Alt** 1992; 7(4): 181-189.

Parr JF, Papendick RI. Strategies for improving soil productivity in developing countries with organic wastes. In: **Fourth Internacional Conference of the Internacional Federation of Organic Agriculture Moviments**. 1982. Cambridge, Mass, 1982.

Pelicioni MCF. Educação ambiental, qualidade de vida e sustentabilidade. **Saúde e Sociedade** 1998; 7(2): 19-31.

Pelicioni AC, Netto FS, Wieliczka MGZ, Dantas VM. Educação ambiental na formação de agentes comunitários. In: Arlindo Philippi Junior e Maria Cecília Focesi Pelicioni. **Educação Ambiental: Desenvolvimento de Cursos e Projetos**. São Paulo: Signus Editora; 2000. p. 253-265.

Pereira-Neto JT. Composting Experiences and Perspectives in Brazil. In: Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. **Science of Composting Part 2**. 1ª edição. England: Chapman & Hall (Edit), 1996. pp. 729-735.

Pereira Neto JT. Controlled composting in developing countries. **BioCycle** 2001; Febr: 84-86.

Pereira Neto JT, Lelis MPN. A contaminação biológica na compostagem. In: **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**; 2001 set 16-21; João Pessoa (PB): ABES; 2001. p. 1-6.

Pereira Neto JT. Compostagem: fundamentos e métodos. In: **I SICOM – Simpósio sobre Compostagem – “Ciência e Tecnologia”**; 2004 ago 19-20; Botucatu (SP). Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2004. p. 1-17.

Piccolo A, Zaccheo P, Genevini PG. Chemical characterization of humic substances extracted from organic waste amended soils. **Bior Tech.** 1992; 40: 275-282.

Philippi Junior A. **Municípios e meio ambiente: perspectivas para a municipalização da gestão ambiental no Brasil**. São Paulo: Associação Nacional de Municípios e Meio Ambiente; 1999.

Philippi Junior A, Pelicioni MCF. **Educação ambiental – desenvolvimento de cursos e projetos**. São Paulo: Editora Signus; 2000. p. 3-5.

Purves D, Mackenzie J. Effects of applications of municipal compost on uptake of copper, zinc and boron by garden vegetables. **Plant and Soil.** 1973; 39: 361-371.

Rameh CAS. Projeto de uma usina de compostagem. **Rev Eng Sanit.** 1981; 2: 201-203.

Reigota M. **O que é educação ambiental**. São Paulo: Cortez; 1994.

Richard TL, Woodbury PS. The impact of separation on heavy metal contaminants in municipal solid waste compost. **Biom and Bioen.** 1992; 3(3.4):195-211.

Richard T, Woodbury P, Breslin V. MSW composts: impacts of separation on trace metal contamination. In: Hoitink HAJ. e Keener HM., editores. **Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects**. 1993.

Rocha AA. **Lixo: Aspectos epidemiológicos, classificação, características e processos de tratamento e disposição final**. Faculdade de Saúde Pública/USP, 1980.

Rocha AA, Lindenberger RC. Impacto dos resíduos sólidos urbanos. In: **Resíduos Sólidos e Limpeza Pública**. São Paulo: CETESB; 1990. p. 1-13.

Rodrigues MS, Lopez-Real JM, Lee HC. Use of composted societal organic wastes for sustainable crop production. In: **The science of composting**. London, 1995.

Rodrigues MS. **Composted societal organic wastes for sustainable wheat (*Triticum aestivum*) production**. Wye; 1996. [Tese para obtenção do título de PhD - Wye College/ University of London].

Rodrigues MS. Resíduos orgânicos como matéria-prima para compostagem. In: **I SICOM – Simpósio sobre Compostagem – “Ciência e Tecnologia”**; 2004 ago 19-20; Botucatu (SP). Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2004. p. 1-27.

Sanches PA, Palm CA, Szott LT, Cuevas E, Lal R. Organic input management in tropical agroecosystems. In: D. C. Coleman, editor. **Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems**. 1989. p. 125-152.

Scheren MA. O reaproveitamento dos resíduos orgânicos através de um consórcio entre 7 municípios da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. In: **XXVII Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental**; 2000 dec 3-8; Porto Alegre (RS). Porto Alegre: AIDIS; 2000.

Savage GM. The importance of waste characteristics and processing in the production of quality compost. In: Marco de Bertoldi, Paolo Sequi, Bert Lemmes, Tiziano Papi. **Science of Composting Part 2**. 1ª edição. England: Chapman & Hall (Edit), 1996. pp.784-791.

Satkofsky A. MSW composting developments in the U.S. **BioCycle** 2001; December: 58-64.

Schalch V, Almeida Leite WC, Aguiar EM. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos. In: **Anais do World-wide Symposium Pollution in Large Cities – Science and Technology for Planning Environmental Quality**; 1995 febr 22-25; Venice/Padova, Italy. ANDIS; 1995. p. 311-318.

Schalch V, Almeida Leite WC de, Gomes LP. **Curso sobre gerenciamento de resíduos sólidos** [Apostila do Curso de pós-graduação]. São Carlos, 227 p.

Schalch V, Moraes AJ de. Biogás – a energia vinda do lixo urbano e sua relação com a produção e características do chorume. **Rev Limpeza Pública** 1988; jul/agosto: 21-30.

Schalch V, Rezende MOO. O processo de compostagem do lixo e sua relação com a qualidade de adubo formado. **BIO** 1991; out/dez: 44-47.

Schmidt MJ. Normas e legislação da implantação de usinas de compostagem. In: **I SICOM – Simpósio sobre Compostagem – “Ciência e Tecnologia”**; 2004 ago 19-20; Botucatu (SP). Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2004. p. 1-9.

Secretaria de Meio Ambiente. **Informações básicas para o planejamento ambiental**. São Paulo: SMA; 2002.

Senesi N. Composted materials as organic fertilizers. **The Sci of the Total Envir.** 1989; 81/82: 521-542.

Silva FC. **Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa; Brasília, 1999.

Silva FC da, Rodrigues LHA, Santos AD dos, Berton RS. Uso de compostos orgânicos: controle ambiental e informatização. In: **I SICOM – Simpósio sobre Compostagem – “Ciência e Tecnologia”**; 2004 ago 19-20; Botucatu (SP). Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2004. p. 1-127.

Sisinno CLS. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ; 2000. Resíduos Sólidos e Saúde Pública; p. 41-57.

S.S.S.A. – Soil Science Society of America. **Glossary of soil science terms**. Madison, Wisconsin, 1984.

Stech PJ. Resíduos sólidos: caracterização. In: **Curso básico para gerenciamento de sistemas de resíduos sólidos**. São Paulo: CETESB; 1982.

Stentiford EI. Recent development in composting. In: M. Bertoldi, editor. **Compost.- Production, Quality and Use**. pp.52-60, 1986.

Solid Sample module - 5000A for TOC-V serie total organic carbon analyzers: user manual. Kyoto, Shimadzu, 2001. 1v. (TOC-V série).

Tester CF. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. **Soil Sci Society of Am J**. 1990; 54: 827-831.

Trombetta A, Belfiore G, Piccone G, Nappi P, Barberis R. **Metodi di analisi dei compost – determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche**. Torino (Itália): Assessorato per l’Ambiente – Regione Piemonte; 1992.

Unced. **Agenda 21 – Conferência das Nações Unidas sobre o ambiente e o desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 3-4 Jun, 1992. 451pp.

Usborne D. Imagem dos EUA afetam marcas americanas. **Folha de S. Paulo** 2003 jul 20; cad MUNDO: A:22.

U.S.D.A. **Soil yearbook of agriculture**. Washinton, D.C: U.S. Government Printing Office, 1957.

Van Raij B, Quaggio JA; Ferreira MEC; Lopes AS; Bataglia OC. **Análise química de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargil, 1987. 170p.

Vasconcelos Y. O Melhor do Lixo. **PESQUISA FAPESP** 2003; set: 78-81.

Wahyono S, Sahwan FL. Solid waste composting trends and projects. **BioCycle** 1998; Oct: 64-68.

Wilson DG. A brief history of solid-waste management. **Intern. J. Environmental Studies**. 1976; 9: 123-129.

Witter E, Lopez-Real JM. The potential of sewage sludge and composting in a nitrogen recycling strategy for agriculture. **Biol Agr and Hort**. 1987; 5: 1-23.

Woodbury PB. Trace elements in municipal solid waste composts: a review of potential detrimental effects on plants, soil biota, and water quality. **Biomass and Bioenergy**. 1992; 3(3-4): 239-259.

Zech W, Haumaier L, Hempfling R. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: MacCarthy P, Clapp CE, Malcolm RL, Bloom PR, editores. **Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings**. Madison, Wisconsin (USA): American Society of Agronomy/Soil Science Society of America; 1990.p. 187-202.

Zucconi F, De Bertoldi M. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: M. de Bertoldi, editor. **Compost.- Production, Quality and Use**. pp.30-60, 1986.

9 ANEXO 1 - FORMULÁRIO APRESENTADO AOS GESTORES DAS USINAS

FORMULÁRIO

I. Informações Preliminares

1) Localização

Nome Institucional: _____

Endereço: _____

Tel: _____ Fax: _____

Cidade: _____ Estado: _____

Responsável: _____

II. Informações sobre Coleta de Resíduos no Município

1) Qual é o número de habitantes do município?

2) Qual a quantidade de resíduos sólidos domésticos coletados no município/dia em toneladas?

_____ t/dia

3) Desta quantidade coletada, quantas toneladas diárias são processadas na usina?

_____ t/dia

4) Os resíduos sólidos processados na usina são originados de que forma? (Marcar com um X)

() Coleta seletiva total ou parcial

() Feiras livres, parques, resíduos de poda

() Resíduos originados dos veículos de coleta

() Outros. Especificar: _____

- 5) Se há coleta seletiva, qual caminhão transporta o material para a usina?

- 6) Qual o número de feiras livres existentes no município/semana e qual o destino das sobras?

III) Informações Operacionais

- 1) Descreva sucintamente os aspectos operacionais da usina de compostagem do seu município (existência de triagem manual/mecânica, esteira, imã, balança, etc)

- 2) Quantos funcionários trabalham na usina de triagem e compostagem?

- 3) São realizadas manutenções periódicas na usina?

- 4) Na sua opinião quais são os pontos fortes da usina e quais pontos ainda devem ser melhorados?

Pontos Fortes: _____

Pontos Fracos: _____

IV. COMPOSTOS

1) Quantas toneladas de compostos são produzidos por mês (aproximadamente)?

2) Existem análises químicas periódicas para detectar a qualidade dos compostos?

Em caso afirmativo, onde são realizadas as análises?

3) Qual a destinação do composto?

4) Qual o preço de venda do composto?

V. BREVE HISTÓRICO DA IMPLANTAÇÃO DA USINA (ano de implantação, iniciativa, recursos)

VI. OBSERVAÇÕES