

**UNIVERSIDADE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS  
INSTITUTO DE ESTUDOS TECNOLÓGICOS**

**MILTON ANTÔNIO PRESTO REZENDE**

**RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS**

**Juiz de Fora  
Junho de 2006**

M 31  
2006  
MEIO AMBIENTE

**MILTON ANTÔNIO PRESTO REZENDE**

**RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS**

Monografia apresentada ao Curso de Tecnologia em Meio Ambiente do Instituto de Estudos Tecnológicos da Universidade Presidente Antonio Carlos como requisito parcial para conclusão do curso de Graduação em Tecnologia do Meio Ambiente.

Professora Gisele Pereira Teixeira – M.Sc.

**Juiz de Fora**  
**Junho de 2006**



**MILTON ANTÔNIO PRESTO REZENDE**

**RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS**

Monografia apresentada ao Curso de Tecnologia em Meio Ambiente do Instituto de Estudos Tecnológicos da Universidade Presidente Antonio Carlos como requisito parcial para conclusão do curso de Graduação em Tecnologia do Meio Ambiente aprovada pela seguinte professora:



Professora Gisele Pereira Teixeira – M.Sc.

Universidade Presidente Antônio Carlos

**Juiz de Fora  
Junho de 2006**

Todo ponto de vista é a vista de um ponto.  
Para entender alguém, ler é necessário; saber  
como são seus olhos e qual é sua visão de  
mundo.

BOFF

Dedico este trabalho à minha família, que foi  
peça fundamental para o meu desenvolvimento  
acadêmico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pela oportunidade e aos mestres pelo conhecimento.

## TABELAS E FIGURAS

Figura 1: Sistema de Digestão Contínuo .....	29
Figura 2: Sistema de Digestão Descontínuo.....	30
Fluxograma 1 : Etapas do processo de compostagem.....	31
Fluxograma 2: Esquema de uma Usina de Compostagem.....	36
Figura 3: Biodigestor.....	38
Tabela 1: A Composição média da mistura gasosa.....	43
Tabela 2: P.C.I. de diferente Gases.....	44
Tabela 3: Equivalências Energéticas.....	45

## SUMÁRIO

RESUMO-----	10
1. INTRODUÇÃO-----	11
2. DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO LIXO-----	13
2.1. CLASSIFICAÇÃO DO LIXO-----	14
2.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À COMPOSIÇÃO QUÍMICA-----	15
2.3. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ORIGEM-----	15
3. DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS-----	17
3.1. ATERRO SANITÁRIO-----	18
3.2. LIXÃO-----	19
3.3. INCINERAÇÃO-----	20
3.3.1. VANTAGENS DA INCINERAÇÃO-----	20
3.3.2. DESVANTAGENS DA INCINERAÇÃO-----	21
4. RESÍDUOS ORGÂNICOS-----	22
4.1. GENERALIDADES-----	22
4.2. TRATAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS-----	25

4.2.1. DIGESTÃO ANAERÓBIA-----	27
4.2.1.1. Sistemas de Digestão-----	28
4.2.2. COMPOSTAGEM-----	30
4.2.2.1. Etapas da compostagem-----	30
4.2.2.2. Classificação da compostagem-----	32
4.2.2.3. Fatores a serem observados durante a compostagem-----	33
4.2.2.4. Problemas da compostagem-----	35
4.2.2.5. Esquema geral de uma usina de triagem e compostagem-----	36
4.2.2.6. Vantagens da compostagem-----	37
4.2.3. CARACTERÍSTICAS DO “COMPOSTO” ORGÂNICO-----	37
4.2.4. BIODIGESTOR-----	38
4.2.5. SUBPRODUTOS DO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS-----	39
4.2.5.1. Húmus-----	39
4.2.5.2. Biogás-----	40
4.2.5.3. Biofertilizante-----	46
5. CONCLUSÃO-----	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	55

## RESUMO

A Disposição de resíduos tem sido tema de grande discussão atualmente devido ao grande volume gerado e ao seu potencial degradante ambiental. Este trabalho levará em consideração os resíduos orgânicos provenientes das várias atividades humanas e que são responsáveis por grande volume correspondente ao montante total de todos os tipos de resíduos. Este trabalho foi desenvolvido através de consulta bibliográfica e tem o objetivo de ressaltar a relevância dos resíduos orgânicos, e como eles podem ser gerenciados através do seu aproveitamento por processos biológicos transformando-se em composto orgânico nutricional – adubo - para plantas tendo assim além do benefício ambiental uma grande disposição e viabilidade econômica.

**Palavras-chave:** resíduos, orgânicos, biodigestão, aproveitamento

## 1. INTRODUÇÃO

Resíduos são o resultado de processos de diversas atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e ainda da varrição pública. Os resíduos apresentam-se nos estados sólido, gasoso e líquido.

Ficam incluídos nesta definição tudo o que resta dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou aqueles líquidos que exijam para isto soluções técnicas e economicamente viáveis de acordo com a melhor tecnologia disponível.

A questão ambiental, no nosso país e no mundo, torna-se cada vez mais preocupante, devido à crescente degradação ambiental que ocorre na atualidade. A população cresce a cada dia e a sociedade contemporânea se caracteriza, entre outras coisas, por um consumo energético crescente e diferenciado por camadas sociais. Esse consumo é percebido pela população em geral nas suas formas mais aparentes: energia elétrica, gás, calor de combustão, etc. Em outro nível há percepção quanto aos gastos energéticos necessários a produção de matérias-primas como plásticos e metais à elaboração e produção de bens de consumo, além do transporte.

Muito se tem discutido para melhorar o tratamento do lixo gerado em nossas residências, no comércio, nas indústrias, nos hospitais, mas pressupõe-se que para minimizar os impactos causados pelos resíduos, deverá haver também uma grande mudança no

comportamento social, pois nenhum projeto de coleta seletiva e encaminhamento adequado dos resíduos coletados pode ser posto em prática sem a colaboração efetiva da sociedade.

A reciclagem surge como possibilidade a ser empregada para a redução da quantidade de lixo, representando economia em recursos naturais e energéticos, além de reduzir a sobrecarga do meio ambiente na sua capacidade de assimilação.

## 2. DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO LIXO

- O lixo é uma fonte de riquezas. As indústrias de reciclagem produzem papéis, folhas de alumínio, lâminas de borracha, fibras e energia elétrica, gerada com a combustão.
- No Brasil, a cada ano são desperdiçados R\$ 4,6 bilhões porque não se recicla tudo o que poderia.
- O Brasil é considerado um grande "reciclador" de alumínio, mas ainda reaproveita pouco os vidros, o plástico, as latas de ferro e os pneus que consome.
- A cidade de São Paulo produz mais de 12.000 toneladas de lixo por dia, com este lixo, em uma semana dá para encher um estádio para 80.000 pessoas.
- Se toda água do planeta coubesse em um litro, a água doce corresponderia a uma colher de chá.
- Somente 37% do papel de escritório é realmente reciclado, o resto é queimado. Por outro lado, cerca de 60% do papel ondulado é reciclado no Brasil.
- Um litro de óleo combustível usado pode contaminar 1.000.000 de litros de água.
- Menos de 50% de produção nacional de papel ondulado ou papelão é reciclado atualmente, o que corresponde a cerca de 720 mil toneladas de papel ondulado. O restante é jogado fora ou inutilizado.
- Perfil do lixo produzido nas grandes cidades brasileiras:
  1. 39%: papel e papelão
  2. 16%: metais ferrosos

3. 15%: vidro
4. 8%: rejeito
5. 7%: plástico filme
6. 2%: embalagens longa vida
7. 1%: alumínio

Segundo VILHENA (1999) cada ser humano produz, em média, um pouco mais de 1 quilo de lixo por dia. Atualmente, a produção anual de lixo em todo o planeta é de aproximadamente 400 milhões de toneladas.

## 2.1. CLASSIFICAÇÃO DO LIXO

O lixo pode ser seco ou molhado. O lixo seco trata-se de papéis, plásticos, metais, couros tratados, tecidos, vidros, madeiras, guardanapos e tolhas de papel, pontas de cigarro, isopor, lâmpadas, parafina, cerâmicas, porcelana, espumas, cortiças. O lixo molhado trata-se de restos de comida, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, legumes, alimentos estragados, etc...

Classe 1 - Resíduos Perigosos: são aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Classe 2 - Resíduos Não-inertes: são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico.

Classe 3 - Resíduos Inertes: são aqueles que, ao serem submetidos aos testes de solubilização (NBR-10.007 da ABNT), não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Isto significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Muitos destes resíduos são recicláveis. Estes resíduos não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo (se degradam muito lentamente). Estão nesta classificação, por exemplo, os entulhos de demolição, pedras e areias retirados de escavações.

## 2.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Orgânico: é composto por pó de café e chá, cabelos, restos de alimentos, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, legumes, alimentos estragados, ossos, aparas e podas de jardim.

Inorgânico: composto por produtos manufaturados como plásticos, vidros, borrachas, tecidos, metais (alumínio, ferro, etc.), tecidos, isopor, lâmpadas, velas, parafina, cerâmicas, porcelana, espumas, cortiças, etc.

## 2.3. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ORIGEM

- Domiciliar: originado da vida diária das residências, constituído por restos de alimentos (tais como cascas de frutas, verduras, etc.), produtos deteriorados, jornais, revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens. Pode conter alguns resíduos tóxicos.

- Comercial: originado dos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes, etc.

- Serviços Públicos: originados dos serviços de limpeza urbana, incluindo todos os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias, galerias, córregos, restos de podas de plantas, limpeza de feiras livres, etc, constituído por restos de vegetais diversos, embalagens, etc.

- Hospitalar: descartados por hospitais, farmácias, clínicas veterinárias (algodão, seringas, agulhas, restos de remédios, luvas, curativos, sangue coagulado, órgãos e tecidos removidos, meios de cultura e animais utilizados em testes, resina sintética, filmes fotográficos de raios X). Em função de suas características, merece um cuidado especial em seu acondicionamento, manipulação e disposição final. Deve ser incinerado e os resíduos levados para aterro sanitário.

- Portos, Aeroportos, Terminais Rodoviários e Ferroviários: resíduos sépticos, ou seja, que contém ou potencialmente podem conter germes patogênicos. Basicamente originam-se

de material de higiene pessoal e restos de alimentos, que podem hospedar doenças provenientes de outras cidades, estados e países.

- Industrial: O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros, cerâmicas. Nesta categoria, inclui-se grande quantidade de lixo tóxico. Esse tipo de lixo necessita de tratamento especial pelo seu potencial de envenenamento.

- Radioativo: resíduos provenientes da atividade nuclear (resíduos de atividades com urânio, cézio, tório, radônio, cobalto), que devem ser manuseados apenas com equipamentos e técnicos adequados.

- Agrícola: resíduos sólidos das atividades agrícola e pecuária, como embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, etc. O lixo proveniente de pesticidas é considerado tóxico e necessita de tratamento especial.

- Entulho: resíduos da construção civil: demolições e restos de obras, solos de escavações. O entulho é geralmente um material inerte, passível de reaproveitamento.

### 3. DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Com o crescimento acelerado das metrópoles, do consumo de produtos industrializados, e mais recentemente com o surgimento de produtos descartáveis, o aumento excessivo do lixo tornou-se um dos maiores problemas da sociedade moderna. Isso é agravado pela escassez de áreas para o destino final do lixo.

A sujeira despejada no ambiente aumentou a poluição do solo, das águas, do ar e agravou as condições de saúde da população mundial. O volume de lixo tem crescido assustadoramente. E umas das soluções imediatas seria reduzir ao máximo o seu volume e o consumo de produtos descartáveis, reutilizá-los e reciclá-los.

É na disposição final que os resíduos sólidos podem apresentar conseqüências danosas ao homem e ao meio ambiente. Entretanto, quando estes resíduos recebem tratamento adequado a partir das residências seus efeitos são amenizados. Os recursos financeiros para a disposição final do lixo são avultantes, e geralmente necessitam de grandes espaços de terra muitas vezes produtivas.

No Brasil mais de 80% de seus 5.500 municípios fazem a disposição do lixo a céu aberto. Apenas 8,2% dos Municípios adotam a coleta seletiva e são coletados 4290 toneladas de lixo reciclável diariamente.

Uma pesquisa do IBGE (pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000) aponta também que 50% dos municípios abandonaram a coleta seletiva tendo como justificativa má aceitação da comunidade (38%) falta de local adequado (40%), falta de campanhas de

conscientização (26%) e outras razões (36%) e além disso, um mesmo município pode apresentar mais de uma razão para interromper a coleta seletiva.

Entre as principais deliberações normativas do COPAM (Conselho Estadual de Política Ambiental) referentes a Resíduos Sólidos (52 / 2001) “convoca municípios para o licenciamento e gerenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências”.

Entretanto sem uma política ambiental efetiva e que vise a conscientização ecológica através da educação ambiental, não é possível garantir o sucesso de programas de reciclagem sustentados pela coleta seletiva além da exigência da comunidade pela adequação correta de disposição final dos RSU. A Educação ambiental é ferramenta indispensável na criação de uma consciência ecológica efetiva que através da cidadania exija um manejo adequado preservando o meio ambiente e promovendo a qualidade de vida.

Felizmente, para a Natureza e para o homem, os resíduos podem ser, em geral, reciclados e parcialmente utilizados, o que traz grandes benefícios à comunidade, como a proteção da saúde pública e a economia de divisas e de recursos naturais.

### **3.1. ATERRO SANITÁRIO**

O aterro sanitário é um processo de eliminação de resíduos sólidos bastante utilizado. Consiste na deposição controlada de resíduos sólidos no solo e sua posterior cobertura diária.

Uma vez depositados, os resíduos sólidos se degradam naturalmente por via biológica até à mineralização da matéria biodegradável, em condições fundamentalmente anaeróbias.

O aterro sanitário é uma obra de engenharia que deve ser orientada por quatro objetivos:

- diminuição dos riscos de poluição provocados por cheiros, fogos, insetos
- utilização futura do terreno disponível, através de uma boa compactação e cobertura
- minimização dos problemas de poluição da água, provocados por lixiviação
- controle da emissão de gases (liberados durante os processos de degradação)

Esse processo tem as seguintes vantagens e desvantagens:

- Processo de baixo custo Longa imobilização do terreno
- Recuperação de áreas degradadas Necessidade de grandes áreas

- Flexibilidade de operação Necessidade de material de cobertura
- Não requer pessoal altamente especializado Dependência das condições climáticas

Um aterro sanitário é um reator biológico em evolução, que produz:

- resíduos gasosos: CO<sub>2</sub>, metano, vapor d'água, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, ácido sulfúrico e sulfuretos
- resíduos sólidos: resíduos mineralizados
- resíduos líquidos: águas lixiviadas.

### 3.2. LIXÃO

É um local onde há uma inadequada disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. É o mesmo que descarga de resíduos a céu aberto sem levar em consideração:

- a área em que está sendo feita a descarga;
- o escoamento de líquidos formados, que percolados, podem contaminar as águas superficiais e subterrâneas;
- a liberação de gases, principalmente o gás metano que é combustível;
- o espalhamento de lixo, como papéis e plásticos, pela redondeza, por ação do vento;
- a possibilidade de criação de animais como porcos, galinhas, etc. nas proximidades ou no local.

Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos etc.), geração de maus odores e, principalmente, a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas através do chorume (líquido de cor preta, mau cheiroso e de elevado potencial poluidor produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo), comprometendo os recursos hídricos.

Acrescenta-se a esta situação, o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nesses locais, verificando-se, até mesmo, a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde e das indústrias.

Comumente, os lixões são associados a fatos altamente indesejáveis, como a criação de porcos e a existência de catadores (que, muitas vezes, residem no próprio local).

Embora apresente garantias razoáveis do ponto de vista sanitário, a solução Aterro Sanitário tem algumas desvantagens irrefutáveis:

- Desperdício de matérias-primas, pois que se perdem definitivamente os materiais com que se produziram os objetos;
- Ocupação sucessiva de locais para deposição, à medida que os mais antigos se vão esgotando. Numa perspectiva de médio e longo prazo este é um problema grave, pois normalmente apenas um número reduzido de locais reúne todas as condições necessárias para ser escolhido.

### **3.3. INCINERAÇÃO**

O principal propósito da incineração tem sido reduzir o volume dos detritos municipais. Outro benefício é o uso da energia liberada com a queima para produzir tanto a eletricidade como vapor para o aquecimento das construções.

Os problemas com tais processos têm sido os custos, preocupação com a poluição atmosférica, e componentes perigosos presentes nas cinzas. O estímulo à incineração do lixo tem sido as dificuldades crescentes de se encontrar localidades para o destino final do lixo urbano.

As populações crescentes e estilos de vida alterados por diversas classes sociais, têm produzido grandes quantidades de lixo; isso tem levado a pressões crescentes nos depósitos locais, queimas periódicas em localidades de armazenagem de lixo, e construção de incineradores para reduzir o volume de lixo a ser armazenado.

Incineradores com sistemas de controle de poluição e recuperação de energia, representam uma opção viável ao gerenciamento do lixo. Um incinerador que queima em massa reduz 1.000 toneladas de lixo sólido a 250 toneladas de cinza, em um único dia.

#### **3.3.1. VANTAGENS DA INCINERAÇÃO**

Redução do volume a ser descartado, pois a incineração deixa como sobra apenas as cinzas, que geralmente são inertes. A redução do volume chega a uma porcentagem alta entre 70% e 90% em peso.

Redução do impacto ambiental, que em comparação com o aterro sanitário, a incineração minimiza a preocupação a longo prazo com monitoração do lençol freático, já que o resíduo tóxico é destruído, e não “guardado”.

A incineração destrói bactérias, vírus e compostos orgânicos e, até, dioxinas.

Também pode ser usada para descontaminar solos contendo resíduos tóxicos. Esse, depois de incinerado, é devolvido a seu lugar de origem.

### **3.3.2. DESVANTAGENS DA INCINERAÇÃO**

Custo elevado, exige mão de obra qualificada, problemas operacionais e limite de emissões de componentes da classe das dioxinas e furanos pois não existe consenso quanto ao limite de emissão dos incineradores, que conseqüentemente degradam o meio ambiente com a sua emissão atmosférica.

## **4. RESÍDUOS ORGÂNICOS**

Segundo IPT (2000), no Brasil são produzidas em torno de 100 mil toneladas de resíduos sólidos domiciliares por dia. Os resíduos sólidos domiciliares representam fração bastante significativa dos resíduos sólidos urbanos e são constituídos, basicamente, por materiais orgânicos fermentáveis, podendo ser aproveitados em processo de bioestabilização aeróbio ou anaeróbio. Quanto aos resíduos sólidos urbanos, são constituídos, em geral, por resíduos sólidos domiciliares, papel e papelão, trapos, palhas, folhagens e tecidos celulares, considerados materiais celulósicos e se enquadram dentre os compostos químicos denominados carboidratos. Os dados oficiais do Brasil demonstram que do total de resíduos sólidos urbanos coletados, apenas 30% vêm recebendo algum tipo de tratamento, enquanto os 70% restantes são lançados em lixões, causando sérios impactos ambientais. Dentre os impactos causados pelo lançamento inadequado de resíduos sólidos urbanos, citam-se várias doenças, tais como a salmonelose, a hepatite, a febre tifóide e paratifóide, a leptospirose, dentre outras, contraídas pelo contato direto com os resíduos ou por contato indireto, via macro e micro vetores.

### **4.1. GENERALIDADES**

Segundo EIGENHEER (2005, p-26), não se deve ver as práticas de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos apenas pelo fator econômico. O processo de recuperação de

materiais é muito antigo,. A compostagem, ou seja, a transformação da matéria orgânica em humus utilizada como condicionador de solo já era usada na antiguidade.

Segundo EIGENHEER (2005, p-26), o lendário Hércules é considerado o patrono da compostagem. Diz a lenda que o seu 12º trabalho consistiu em limpar as estrebarias do Rei Augias, possibilitando a fertilização dos campos com o estrume acumulado. Quanto a reutilização, no contexto da destruição das florestas européias na idade média EIGENHEER (2005, p-28), remete à reutilização no contexto da destruição das florestas européias na Idade Média cujos homens da época destruíram impiedosamente as riquezas naturais. Porém, as conseqüências se fizeram sentir rapidamente. A primeira conseqüência foi o aumento do preço da madeira em virtude da sua crescente escassez. No Século XIII, em Dovai, no Norte da França, a madeira era tão cara e tão rara que para enterrar seus mortos, os pobres alugavam um caixão porque não podiam compra-lo. Após a cerimônia no cemitério e a partida da família, o corpo do defunto era jogado na cova e o caixão utilizado de novo.

É notório que a reciclagem tal como vem sendo utilizada e difundida na sociedade industrial de consumo, obedece, sim a uma necessidade econômica (em certos casos até de escassez), mas também pode ser vista como um rito de reaproveitamento com rico caráter simbólico. Isto pode ser inferido inclusive no exagero como as vezes se difunde, tanto quanto nos apelos salvacionistas a ela relacionados. (EIGENHEER, 2005, p-28)

Uma linha promissora de investigação talvez seja a de se buscar, no contexto de tanto descarte e desperdício da sociedade industrial, medidas e práticas simbólicas de reintrodução e recuperação de materiais em nome da natureza, do social e da espiritualidade. (EIGENHEER, 2005,p-28)

A história das usinas de triagem e compostagem remonta ao final do Século XIX, com as unidades construídas em Budapeste e Munique. Outras se sucederam em outros países. O foco principal delas é o aproveitamento em larga escala da matéria orgânica do lixo doméstico, precedido de uma triagem visando a reutilização e a reciclagem de outros componentes do lixo. (EIGENHEER, 2005,p-32)

Segundo EIGENHEER, (2005,p-33) há uma perspectiva da chamada “industrialização do lixo” com o utópico “aproveitamento dos detritos urbanos em forma industrializada”, que passou a ser também o imaginário da população em geral. Segundo ENGHEER apenas na Cidade do Rio de Janeiro forma então previstas oito usinas para estar em funcionamento até 1970, e que dariam conta da totalidade dos resíduos urbanos. Na verdade, só se implantou de fato, a Usina de Irajá em 1977. Posteriormente a do Caju (1991) e a de Jacarepaguá (1992). Nos anos de 1970, as experiências de planejamento metropolitano de

resíduos sólidos então em curso nas regiões metropolitanas de Recife, Rio de Janeiro e São Paulo, baseavam-se sobretudo em Sistemas de Aterros Sanitários e Estações de Transferência de lixo, estas em busca de economia no transporte entre as áreas de coleta e os locais de destinação final. As Usinas de reciclagem e compostagem no Rio de Janeiro caracterizavam-se por seu caráter piloto e em São Paulo por serem complementares ao sistema principal, respondendo pela menor parte dos resíduos tratados. (EIGENHEER, 2005,p-35)

O importante a notar é que a idéia de aproveitamento total dos resíduos sólidos se tornou, com variações o mote oficial no Estado do Rio até nossos dias. Foi reforçada pelos movimentos ecológicos e pela Conferência Mundial para o Meio Ambiente e o desenvolvimento sustentável em 1992 no Rio de Janeiro. Contudo, a exequibilidade do modelo esbarrou tanto nos custos como na qualidade dos produtos gerados, sem falar nas dificuldades operacionais e de mercado. As operação nas Usinas de Irajá e Jacarepaguá foram interrompidas devido aos custos de operação elevados. (EIGENHEER, 2005,p-35)

Segundo dados do site [www.rio.rj.gov.br/comlurb](http://www.rio.rj.gov.br/comlurb), a COMLURB gasta para dispor o lixo no Aterro Sanitário ambientalmente correto do Gramaxo, hoje, US\$5,50/t, as usinas aceleradas, quando ativadas, gastavam aproximadamente US\$30,00/t e a simplificada (trituração com catação e compostagem) não consumia menos que US\$15,00/t.

Segundo EIGENHEER (2005,p-38) ,é necessário que se reduzam o desperdício de verbas e que não se permita a perpetuação da propaganda enganosa do aproveitamento total dos resíduos ou da idéia de que o processo só restaria material inerte não havendo a necessidade dos aterros Sanitários.

Para EIGENHEER (2005,p-39), o Aterro Sanitário é uma imposição urgente para um modelo sensato de gestão dos resíduos sólidos.

Levando em consideração o exemplo do Estado do Rio de Janeiro podemos concluir portanto, que o processo de reciclagem, compostagem e segregação de materiais para seu reaproveitamento indiscutivelmente possuem suas vantagens ambientais e sociais mas devem ser considerados os fatores como custo-benefício além de fazer com que o processo ande junto com a educação ambiental da população geradora do lixo que é essencial na redução do volume gerado e conseqüentemente em um menor custo de manutenção e maior durabilidade dos Aterros sanitários. Além disso, a educação e consciência ambiental pode ser uma facilitadora indispensável no processo de segregação que pode ser realizado na fonte e no momento da sua geração.

## 4.2. TRATAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

A provisão das necessidades básicas do homem (água, alimentos, proteção contra intempéries, enquanto vive de forma nômade e em pequenos grupos não se parece traduzir em grande problema prático no que se refere aos dejetos gerados. Mas estes podem já terem sido de longa data significativos para os povos pensarem o seu destino. Afinal, o medo e a incerteza quanto ao desconhecido podem ter levado o ser humano já em tempos imemoriais, a olhar os dejetos com insegurança, como sinais de precariedade. (EIGENHEER, 2003 p-32)

No processo de urbanização, em diferentes contextos, ao lado dos esforços de captação e canalização de água, calçamento de ruas, criação de locais específicos para as necessidades fisiológicas, é importante estar atento a como se deram também (ainda que de forma descompassada) os esforços para ecoar as águas servidas e dar destino ao lixo e aos cadáveres – enfim, práticas necessárias e complementares para se poder falar de vida urbana. (EIGENHEER, 2003 p-32)

A indicação da existência histórica de práticas e técnicas específicas para o manejo de dejetos, assim como regras de legislação não indicam necessariamente a sua aplicação generalizada ou mesmo parcial. A repetição de decretos e o endurecimento de penas podem ser indicadores da ineficácia dos sistemas utilizados. Outra dificuldade está em se generalizarem num determinado período hábitos e práticas considerados higiênicos, ou o seu contrário como se fossem padrão. O Brasil pode ser tomado como exemplo contemporâneo: se concentrarmos a nossa atenção apenas nos sistemas de coleta e tratamento de lixo existentes em algumas cidades (notadamente nos grandes centros) e na tecnologia disponível, teremos uma visão distorcida do trato de resíduos sólidos no país como um todo. Em alguns casos, o fato de conviver com espaços organizados pode levar-nos a esquecer outros não organizados e vice-versa. (EIGENHEER, 2003 p-32)

Com a aglomeração decorrente das cidades as culturas percebem a importância de cuidados mais apurados com a limpeza e destinação de resíduos e águas servidas. (EIGENHEER, 2003 p-33).

Os romanos desenvolveram para a limpeza pública uma infra-estrutura de ruas e estradas, assim como de sua conservação e limpeza. É importante notar que mais tarde na Idade Média e até mesmo hoje, em determinadas áreas de proteção ambiental, existiam já naquele tempo normas aplicáveis, faltando a fiscalização necessária. Combinado a urbanização desordenada e as desigualdades sociais, este aspecto compõe um quadro que a

despeito dos avanços técnicos, leis e esforços públicos, tende a comprometer seriamente a limpeza. (EIGENHEER, 2003 p-45).

A utilização na agricultura, e em outras atividades, de resíduos animais, vegetais e humanos também era conhecida na Antiguidade. Em Roma existiam pessoas que buscavam coisas ainda úteis nos locais em que eram desembocadas as cloacas. Há indicações da presença, nesta mesma cidade, de serviços para manutenção de toaletes e latrinas privadas, mediante pagamento e também de que urina e fezes eram comercializadas para uso agrícola. Do mesmo modo se recolhiam as fezes dos toaletes públicos. A urina era utilizada por curtidores de pele, e as lavanderias mantinham vasos nas ruas para a sua coleta tendo como protetora desta atividade a Deusa Minerva. Em muitos momentos as peles de animais curtidas com urina forma utilizadas para escrita. (EIGENHEER, 2003 p-48).

A possibilidade do reaproveitamento é antiga, o que não reduz os estigmas ligados a essa prática. O uso da matéria orgânica como adubo é uma tradição que se mantém ao longo do tempo. Quando, eventualmente, esse tipo de aproveitamento não é feito e a matéria é desperdiçada, levantam-se não raro, protestos e admoestações. (EIGENHEER, 2003 p-48).

A disposição de esgotos na agricultura é uma prática antiga. As informações mais conhecidas são as originárias da China. No ocidente sabe-se que na Prússia, a irrigação com efluentes de esgotos era praticada desde 1560. Na Inglaterra, por volta de 1800, foram desenvolvidos muitos projetos para a utilização agrícola dos efluentes de esgoto, especialmente em razão do combate à epidemia do cólera. A prática de uso do solo como meio de disposição do esgoto ou do lodo tem sido freqüente em muitos países. (CAMARGO, 2005)

No Brasil, não é difundida a experiência de incorporar resíduos de esgoto, lodo e efluente, aos solos, porque ainda são poucas as cidades dotadas de estações de tratamento de esgotos (ETE). O Ministério do Meio Ambiente estima que menos de 10% do esgoto urbano produzido são tratados antes de serem lançados nos rios. Os dados da Tabela 1 mostram a situação da coleta de esgoto e lixo no Brasil. (CAMARGO, 2005)

Apesar dessa situação, diversos municípios brasileiros estão coletando e tratando adequadamente os esgotos e, por conseguinte gerando lodo de esgoto. Algumas cidades como Campinas, Franca, Jundiaí, Limeira, Piracicaba, São José dos Campos e São Paulo, SP; Curitiba e Londrina, PR; Belo Horizonte, MG; Brasília, DF; e Campo Grande, MS entre outras estão tratando os esgotos e gerando lodo. Diversos desses municípios vêm trabalhando no sentido de dispor o seu lodo gerado na agricultura. (CAMARGO, 2005)

O volume de lodo gerado em muitos desses municípios é relativamente pequeno e são localizados em regiões agrícolas ou próximo delas, além de não apresentarem os problemas da intensa industrialização. Assim, de certa forma, a disposição do lodo de alguns desses municípios pode ser facilmente equacionada. A situação é bem mais complexa quando se considera a geração de lodo em regiões metropolitanas, como a de São Paulo. Deste modo, além do volume gerado, deve ser considerada a falta de espaço para aterro sanitário na região e também a distância das áreas agrícolas e florestais. Outro problema que deve ser ponderado é a intensa industrialização dessas regiões que colabora com o aumento na concentração de metais pesados e compostos orgânicos persistentes. Dessa forma, além da necessidade de um adequado monitoramento, há que se trabalhar no sentido de evitar o lançamento de esgotos industriais no sistema. (CAMARGO, 2005)

#### **4.2.1. DIGESTÃO ANAERÓBIA**

A digestão anaeróbia é um processo segundo o qual, algumas espécies de bactérias, que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, para produzir compostos simples: metano, dióxido de carbono, água, etc, extraindo em simultâneo, a energia e os compostos necessários para o seu próprio crescimento.

A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbica, processa-se através de uma cadeia de degradações sucessivas devidas a diferentes tipos de bactérias. Essencialmente distinguem-se duas fases nos processos de fermentação metanogénica. A primeira fase é uma transformação das moléculas orgânicas em ácidos gordos, sais ou gás. A segunda, é a transformação destes numa mistura gasosa essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono.

A atividade enzimática das bactérias depende intimamente da temperatura. Ela é fraca a 10°C e nula acima dos 65°C. A faixa dos 20°C a 45°C, corresponde à fase mesófila, enquanto que entre os 50°C e os 65°C, temos a fase termófila. A opção por uma temperatura de trabalho terá de resultar do compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de fermentação e o tempo de retenção. Na fase mesófila, as variações de temperatura são aceitáveis desde que não sejam bruscas. O mesmo não acontece com a fase termófila, onde as variações não são aconselháveis. Todavia, ela permite cargas mais elevadas e um tempo de retenção menor, com maiores taxas de produção de gás. (<http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html>)

Outro parâmetro que influencia a digestão anaeróbica é o pH do meio. Em meio ácido, a atividade enzimática das bactérias é anulada. Num meio alcalino, a fermentação produz anidrido sulfuroso e hidrogênio. A digestão pode efetuar-se entre os pH de 6,6 e 7,6, encontrando-se o ótimo a pH=7. Para valores abaixo de 6,5, a acidez aumenta rapidamente e a fermentação para. (<http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html>)

Em relação à matéria a fermentar, há que levar em consideração a relação carbono/azoto (C/N), que deve ter um valor compreendido entre 30 e 35. Acima deste valor, o processo é pouco eficaz, já que as bactérias não têm possibilidade de utilizar todo o carbono disponível. Para um valor baixo corre-se o perigo de aumentar a quantidade de amoníaco, que pode atingir os limites da toxicidade. É de considerar também a presença de fósforo, já que a sua ausência, conduz à paragem da fermentação.

(<http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html>)

A presença de matérias tóxicas, detergentes e outros produtos químicos, deve ser evitada ao máximo, pois basta uma concentração muito baixa destes produtos, para provocar a intoxicação e morte das bactérias.

#### **4.2.1.1. Sistemas de Digestão**

Vários foram os sistemas de digestão concebidos, sendo impressionante o número de digestores diferentes que existem. No entanto, distinguem-se dois grandes tipos de digestores: os contínuos e os descontínuos.

A escolha de um sistema, depende essencialmente das características do substrato, das necessidades de depuração, da disponibilidade de mão-de-obra e de condições de ordem econômica.

##### **A) Sistema de Digestão Contínuo**

Num sistema contínuo, a matéria orgânica é introduzida na cuba de fermentação, com uma determinada taxa de diluição (a qual depende do tipo de matéria orgânica a fermentar), onde fica retida durante vários dias. O tempo de retenção resulta de um certo compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de digestão que se pretende e a temperatura de funcionamento. Depois de carregada a cuba e iniciada a fermentação, impõe-se a estabilização do sistema. É imperativo a verificação de todos os parâmetros como o pH,

temperatura, qualidade do efluente, produção e qualidade do gás. É de notar que a estabilização poderá ser demorada e exigir correções. Neste tipo de fermentação, é absolutamente necessária a agitação da matéria orgânica incubada, a fim de evitar a formação de crostas na superfície, a deposição de matéria no fundo, permitir uma homogeneização na concentração das bactérias e manter uma temperatura uniforme no interior da cuba. A produção de biogás é uniforme no tempo e a quantidade produzida é função do tipo de matéria orgânica utilizada.

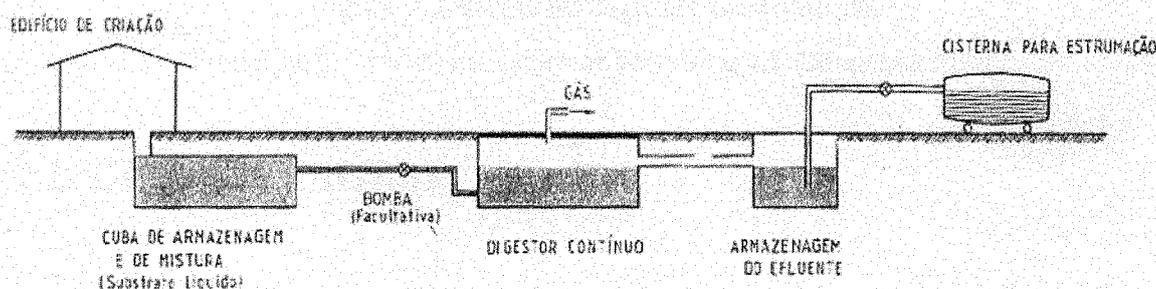


Figura 1: Sistema de Digestão Contínuo

Fonte: <http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html>

## B) Sistema de Digestão Descontínuo

Ao contrário do sistema contínuo, o funcionamento deste sistema não é regular. Assim, a cuba de fermentação é totalmente carregada periodicamente. Neste processo, o fator diluição não é considerado um problema, já que a matéria orgânica é fermentada praticamente sem adição de água. O processo inicia-se com uma fase de fermentação aeróbia, fortemente exotérmica, que permite a degradação das moléculas pouco polimerizadas e que podem ser um fator de acidificação do meio. A duração desta fermentação é de 2 a 8 dias, seguindo-se a fermentação anaeróbia durante um período de 30 a 40 dias. Neste tipo de fermentação a temperatura é um fator menos crítico. Em relação aos outros fatores, pouco se poderá fazer durante a fermentação. Se houver problemas durante o processo, a melhor opção é começar novamente. No entanto a experiência diz que se trata de um processo simples que normalmente funciona bem. A produção de gás é irregular e o volume produzido é da ordem dos 60 m<sup>3</sup> (Metros Cúbicos) por tonelada de matéria bruta. (<http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html>)

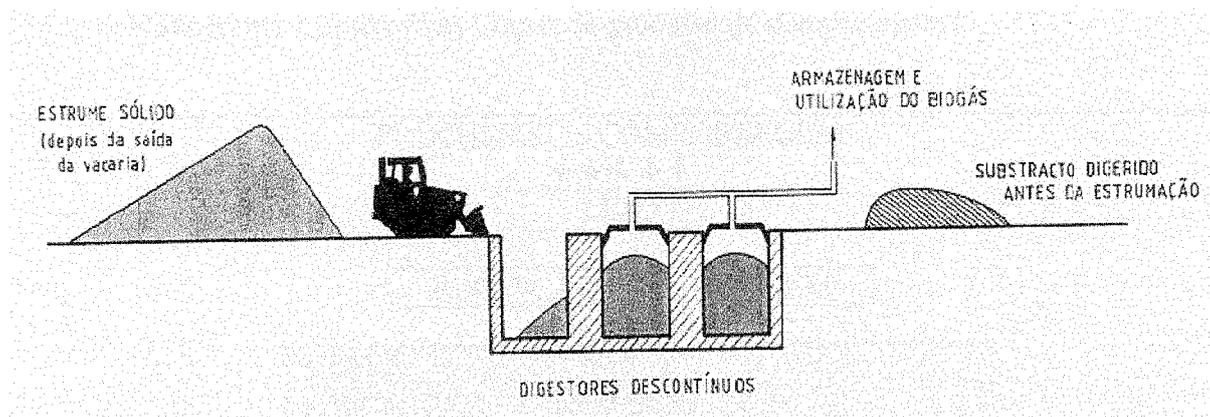


Figura 2: Sistema de Digestão Descontínuo

Fonte: <http://www.net11.com.br/eecc/biogas/bibliografia.html>

## 4.2.2. COMPOSTAGEM

“Compostagem é a transformação de resíduos orgânicos presentes no lixo, através de processos físicos, químicos e biológicos, em material mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras.” (TEIXEIRA, 2003)

O resultado final da compostagem é o “composto”, excelente condicionador orgânico dos solos.

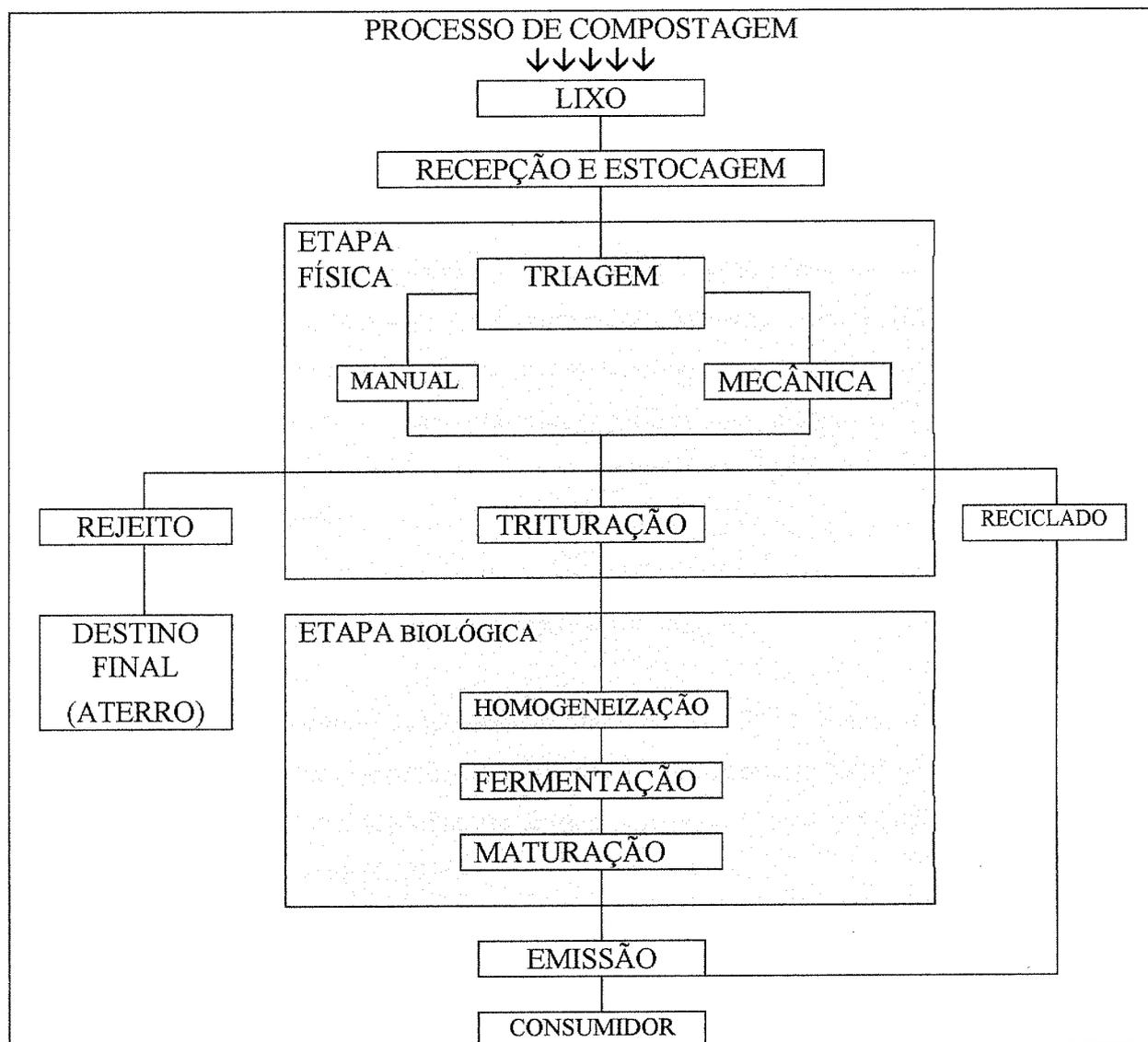
### 4.2.2.1. Etapas da compostagem

O processo de compostagem se constitui basicamente de duas etapas:

“Etapa Física: onde se dá o preparo dos resíduos, fazendo-se uma separação entre a matéria a ser compostada e outros materiais (potencialmente recicláveis e/ou rejeitos), e em seguida uma homogeneização. A triagem ou separação dos materiais pode ser feita manual ou mecanicamente em usinas de triagem.” (TEIXEIRA, 2003)

“Etapa Biológica: que consiste da fermentação (digestão) do material, alcançando a bioestabilização, e da maturação, no qual a matéria atinge a humificação.” (TEIXEIRA, 2003)

O Fluxograma 1 descreve as Etapas do processo de compostagem.



Fluxograma 1: Etapas do processo de compostagem

Fonte: SMMA, SLU e PBH, (1996)

#### 4.2.2.2. Classificação da compostagem

##### A) Quanto à Biologia

Processo Aeróbio: quando a fermentação ocorre na presença de ar. Neste processo a temperatura da massa em decomposição é sempre elevada, havendo também desprendimento de gases ( $\text{CO}_2$ ) e vapor d'água.

Processo Anaeróbio: quando a fermentação é processada na ausência de ar. Neste processo a temperatura da massa em decomposição permanece baixa. Há desprendimento de gases  $\text{CH}_4$  (gás metano) e  $\text{H}_2\text{S}$  (gás sulfídrico) e outros.

Processo Misto: combinação dos dois processos anteriores.

##### B) Quanto à Temperatura

Processo Criofílico: a matéria orgânica é digerida a uma temperatura próxima ou inferior à do ambiente;

Processo Mesofílico: “a temperatura varia de 40 a 55°C Quanto maior a população de microorganismos decompositores, mais elevada é a temperatura. Neste processo observa-se a transformação da matéria orgânica em ácidos orgânicos e uma sensível redução do PH do meio.” (SMMA, SLU e PBH, 1996)

Processo Termofílico: Segundo TELXEIRA (2003), quando a fermentação se processa em temperaturas superiores a 55°C. Este estágio termofílico é preferido nos processos de compostagem, pois permite a destruição de ovos e sementes viáveis, além de reduzir as condições de sobrevivência de formas vegetativas patogênicas, mas não reduz totalmente a possibilidade de uma contaminação por bactérias patogênicas.

##### C) Quanto ao Ambiente

Processo Aberto: é aquele em que a compostagem é realizada a céu aberto, em pátio de maturação.

Processo Fechado: é aquele em que a compostagem é feita através de dispositivos especiais tais como digestores, bioestabilizadores, torres e células de fermentação. Neste processo a compostagem pode ter suas fases inteiramente controladas obtendo-se um excelente produto final.

#### **D) Quanto ao Processamento**

Processos Estáticos ou Naturais: “a aeração necessária para o desenvolvimento do processo de decomposição biológica é conseguida por revolvimentos periódicos, com o auxílio de equipamento apropriado. O tempo para que o processo se complete varia de 3 a 4 meses.” (TEIXEIRA, 2003)

Processos Dinâmicos ou Acelerados: a aeração é forçada por tubulações perfuradas colocadas no interior da massa ou em reatores rotatórios, dentro dos quais a massa é revolvida continuamente. O tempo para que o processo se complete varia de 2 a 3 meses.

#### **4.2.2.3. Fatores a serem observados durante a compostagem**

##### **A) Aeração**

É necessária para a atividade biológica. Em níveis adequados, possibilita rapidez na decomposição sem maus odores e gira em função da granulometria e da umidade dos resíduos.

##### **B) Umidade**

“O teor de umidade dos resíduos é função da sua granulometria, porosidade e grau de compactação. Deve manter-se em torno de 50%; se for muito baixa a atividade biológica é reduzida; se for muito alta a aeração é prejudicada ocorrendo anaerobiose e formação de CHORUME. A umidade do “composto” (produto final da compostagem) deve ser no máximo de 40%.” (TEIXEIRA, 2003)

##### **C) Temperatura**

A faixa de temperatura ótima para se processar a compostagem é de 40 a 70°C. Para temperatura inferior a 37°C o processo se torna mais lento. A temperatura acima de 60°C, pode inibir o processo ou cessá-lo rapidamente.

#### **D) Microorganismos**

Os resíduos domésticos produzidos no meio urbano contêm uma população considerável de microorganismos que garantem a continuidade do processo de compostagem, desde que mantidas as condições externas preestabelecidas. Tentativas de reduzir o tempo de compostagem com o emprego de microorganismos selecionados começam a ser bem sucedidas.

#### **E) Dimensões das Partículas**

Reduzir o resíduo a partículas menores exerce grande influência no processo de compostagem; aumenta a superfície disponível para o ataque microbiológico; reduz tempo de fermentação e torna o composto mais homogêneo com partículas de 0,1 a 2,0 mm.

#### **F) Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)**

A relação Carbono/Nitrogênio desejável para o início da compostagem deve ser da ordem de 30/1 e o teor de nitrogênio entre 1,2 e 1,5%. Ao longo do processo parte do carbono é transformado em CO<sub>2</sub> e parte é usado para crescimento microbiano; o nitrogênio fica retido no material como nitrogênio orgânico e inorgânico;

- C/N muito elevada (60/1 por exemplo) aumenta o tempo de compostagem;
- C/N muito baixa ⇔ deve-se incorporar ao material resíduo rico em carbono (restos de vegetais ou podas);
- C/N do “composto” para agricultura deve ser de no máximo 18/1.

#### **G) Empilhamento no Pátio de Maturação**

De acordo com TEIXEIRA (2003), as pilhas ou leiras devem ter de 3 a 4m de largura, 1,5 a 2m de altura e comprimento indeterminado e a disposição das pilhas nos pátios deve ser planejada de forma a permitir o revolvimento periódico e o tráfego de máquinas e equipamentos de transporte. Leiras de lixo muito altas, compactam e espremem as camadas inferiores do resíduo aumentando a produção de chorume que escorre.

#### **4.2.2.4. Problemas da compostagem**

Os principais problemas associados à utilização do processo de compostagem são: os maus odores, os riscos para a saúde pública, a presença de metais pesados e a definição do que constitui um composto aceitável. A separação de plásticos e papéis também pode constituir um problema, pois, uma grande quantidade de papel reduz a proporção de nutrientes orgânicos e plásticos são muito lentos em sua decomposição, reduzindo a homogeneidade do composto. A não ser que estas questões sejam resolvidas e controladas, a compostagem pode tornar-se numa técnica inviável. (CAMARGO, 2005)

##### **A) Produção de odores**

Sem um controle apropriado do processo, a produção de odores pode tornar-se um problema. Como consequência a escolha da localização da estação de compostagem, o design do processo e a gestão do odor biológico são de extrema importância.

##### **B) Produção de biogás**

Esta é também uma consequência indireta da compostagem, pois, está relacionada com a deposição de materiais em aterro. A formação de biogás nos aterros pode ser bastante nociva para o ambiente, uma vez que, ocorre uma grande libertação de metano para a atmosfera que contribui para o aumento do efeito estufa. Constitui também um risco para a segurança do próprio aterro, uma vez que, pode provocar explosões. Existem processos que permitem a recolha deste gás para posterior combustão ou aproveitamento energético.

##### **C) Riscos para a saúde pública**

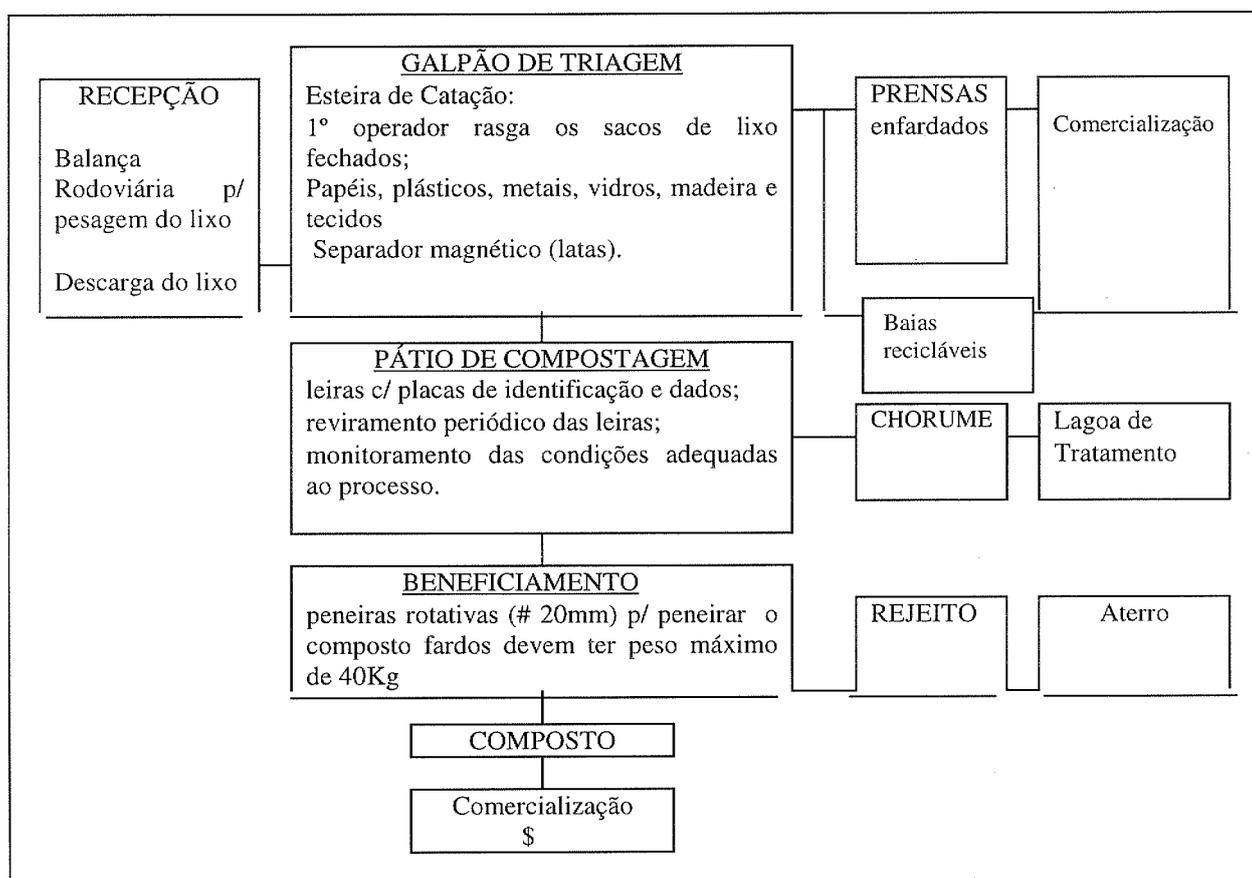
Se a operação de compostagem não for conduzida adequadamente existem fortes probabilidades de os organismos patogênicos sobreviverem ao processo. A ausência de microorganismos patogênicos no composto final é extremamente importante, uma vez, que este vai ser utilizado em aplicações às quais as pessoas vão estar diretamente expostas. No entanto, o controle desses microorganismos pode ser facilmente alcançado, quando o processo é eficiente e controlado. A maior parte dos microorganismos patogênicos são facilmente

destruídos às temperaturas e tempos de exposição utilizados nas operações de compostagem (55°C durante 15 a 20 dias). (CAMARGO, 2005)

#### D) Presença de metais pesados

Pode afetar todas as operações de compostagem, mas principalmente, aquelas onde se utilizam esfarrapadoras mecânicas. Quando os metais dos resíduos sólidos são desfeitos, as partículas metálicas que se formam podem ficar agarradas aos materiais mais leves. Depois da compostagem estes materiais vão ser aplicados ao solo, podendo provocar sérios problemas de toxicidade. Normalmente, a quantidade de metais pesados encontrados no composto produzido a partir da parte orgânica dos RSU é bastante inferior a verificada nas lamas de águas residuais. Quando há separação prévia dos resíduos, a concentração de metais pesados é ainda menor. A co-compostagem de lamas de águas residuais com a parte orgânica dos RSU é uma solução para reduzir a concentração de metais nas lamas.

#### 4.2.2.5. Esquema geral de uma usina de triagem e compostagem



Fluxograma 2: Esquema de uma Usina de Compostagem

Fonte: SMMA, SLU e PBH, (1996)

#### 4.2.2.6. Vantagens da compostagem

Economia de Aterro: A Usina de Triagem e Compostagem acarreta uma diminuição de 70%, em média, da tonelagem de lixo destinada ao aterro, com a conseqüente redução dos custos de aterramento por quantidade coletada e aumento da vida útil da área destinada à sua disposição.

- Aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
- Reciclagem de nutrientes para o solo;
- Processo ambientalmente seguro.

#### 4.2.3. CARACTERÍSTICAS DO “COMPOSTO” ORGÂNICO

O composto orgânico do lixo, quando preparado tecnicamente, pode melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, daí sua classificação como condicionador de solo. A aplicação do composto orgânico sem mistura produz resultados satisfatórios, como:

- retenção da umidade do solo em períodos de seca;
- prevenção contra erosão (agente cimentante);
- aumento da permeabilidade à água durante os períodos de chuva;
- fornecimento de nutrientes:
  - macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) ⇒ influência direta no desenvolvimento das plantas;
  - micronutrientes (ferro, zinco, cobre e cloro) ⇒ papel importantíssimo nas reações enzimáticas dos vegetais;
- prevenção da lixiviação do nitrogênio orgânico;
- quelatação de metais: mecanismo de captura de micronutrientes disponíveis no solo por ação do composto.

“Os metais quelatados são solúveis em água e absorvido pelos vegetais. Ação quelatante reduz o excesso de micronutrientes em solos comprometidos pela toxicidade dos metais, como o cobre e o manganês.” (VILHENA; D’ALMEIDA, 2000)

#### 4.2.4. BIODIGESTOR

Um biodigestor compõe-se, basicamente, de uma câmara fechada na qual uma biomassa (em geral detritos de animais) é fermentada anaerobicamente, isto é, sem a presença de ar. Como resultado desta fermentação ocorrem a liberação de biogás e a produção de biofertilizante. É possível, portanto, definir biodigestor como um aparelho destinado a conter a biomassa e seu produto: o biogás. Como definiu BARRERA (1993, p. 11), "o biodigestor, como toda grande idéia, é genial por sua simplicidade". Tal aparelho, contudo, não produz o biogás, uma vez que sua função é fornecer as condições propícias para que um grupo especial de bactérias, as metanogênicas, degrade o material orgânico, com a conseqüente liberação do gás metano. Existem vários tipos de biodigestor, mas, em geral, todos são compostos, basicamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás.

Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado como contínuo  $\frac{3}{4}$  abastecimento diário de biomassa  $\frac{3}{4}$ , com descarga proporcional à entrada de biomassa, ou intermitente, quando utiliza sua capacidade máxima de armazenamento de biomassa, retendo-a até a completa biodigestão. Então, retiram-se os restos da digestão e faz-se nova recarga. O modelo de abastecimento intermitente é mais indicado quando da utilização de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção, como no caso de palha ou forragem misturada a dejetos animais.

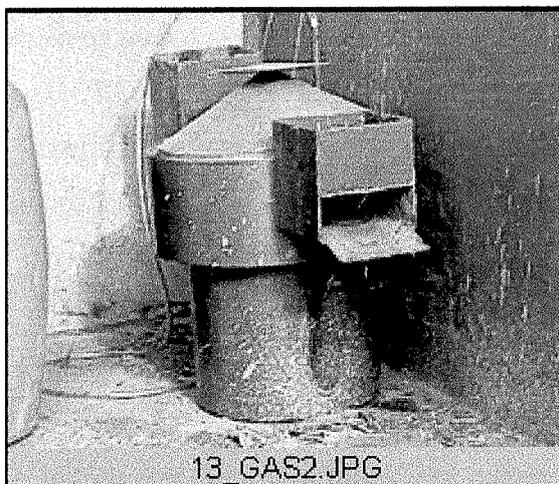


Figura 3: Biodigestor

Fonte: AVELLAR, L. H. N.; CARROCI, L. R.; SILVEIRA, J. L., 2003.

## 4.2.5. SUBPRODUTOS DO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

### 4.2.5.1. Humus

Segundo o Manual de Compostagem, (EIGENHEER & KRAUS, 1996 p-13) a compostagem é um método antigo de tratamento dos resíduos orgânicos que imita o processo da natureza. Os resíduos orgânicos passam por transformações promovidas por microorganismos e pequenos seres vivos, até chegarem a produzirem o composto “humus” ou “terra preta”. Esses agentes minúsculos necessitam de:

- Substâncias orgânicas e nutrientes
- Oxigênio, imprescindível para a respiração
- Temperatura, umidade e condições favoráveis de reação.

A compostagem é o processo de transformação de materiais grosseiros, como palhada e estrume, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura. Este processo envolve transformações extremamente complexas de natureza bioquímica, promovidas por milhões de microorganismos do solo que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono.

Por essa razão uma pilha de composto não é apenas um monte de lixo orgânico empilhado ou acondicionado em um compartimento. É um modo de fornecer as condições adequadas aos microorganismos para que esses degradem a matéria orgânica e disponibilizem nutrientes para as plantas. (JUNIOR, 2005, p-285)

Dito de maneira científica, o composto é o resultado da degradação biológica da matéria orgânica, em presença de oxigênio do ar, sob condições controladas pelo homem. Os produtos do processo de decomposição são: gás carbônico, calor, água e a matéria orgânica "compostada".

O composto possui nutrientes minerais tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre que são assimilados em maior quantidade pelas raízes além de ferro, zinco, cobre, manganês, boro e outros que são absorvidos em quantidades menores e, por isto, denominados de micronutrientes. Quanto mais diversificados os materiais com os quais o composto é feito, maior será a variedade de nutrientes que poderá suprir. Os nutrientes do composto, ao contrário do que ocorre com os adubos sintéticos, são liberados lentamente,

realizando a tão desejada "adubação de disponibilidade controlada". Em outras, palavras, fornecer composto às plantas é permitir que elas retirem os nutrientes de que precisam de acordo com as suas necessidades ao longo de um tempo maior do que teriam para aproveitar um adubo sintético e altamente solúvel, que é arrastado pelas águas das chuvas.

Outra importante contribuição do composto é que ele melhora a "saúde" do solo. A matéria orgânica compostada se liga às partículas (areia, limo e argila), formando pequenos grânulos que ajudam na retenção e drenagem da água e melhoram a aeração. Além disso, a presença de matéria orgânica no solo aumenta o número de minhocas, insetos e microorganismos desejáveis, o que reduz a incidência de doenças de plantas. (EIGENHEER & KRAUS, 1996 p-17)

Na agricultura agroecológica a compostagem tem como objetivo transformar a matéria vegetal muito fibrosa como palhada de cereais, capim já "passado", sabugo de milho, cascas de café e arroz, em dois tipos de composto: um para ser incorporado nos primeiros centímetros de solo e outro para ser lançado sobre o solo, como uma cobertura. Esta cobertura se chama "mulche" e influencia positivamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Dentro os benefícios proporcionados pela existência dessa cobertura morta no solo, destacam-se:

- Estímulo ao desenvolvimento das raízes das plantas, que se tornam mais capazes de absorver água e nutrientes do solo.
- Aumento da capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão.
- Mantém estáveis a temperatura e os níveis de acidez do solo (pH).
- Dificulta ou impede a germinação de sementes de plantas invasoras (daninhas).
- Ativa a vida do solo, favorecendo a reprodução de microorganismos benéficos às culturas agrícolas.

#### **4.2.5.2. Biogás**

Atribui-se o nome de Biogás (também conhecido como gás dos pântanos) à mistura gasosa, combustível, resultante da fermentação anaeróbica da matéria orgânica (decomposição de matérias orgânicas, em meio anaeróbio, por bactérias denominadas metanogênicas). A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de digestor e o substrato a digerir. De qualquer forma, esta mistura é essencialmente constituída por metano (CH<sub>4</sub>), com valores médios na ordem de 55 a 65%, e por dióxido de

carbono (CO<sub>2</sub>) com aproximadamente 35 a 45% de sua composição. Estando o seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa.

Até há pouco tempo, o Biogás era simplesmente encarado como um sub-produto, obtido a partir da decomposição anaeróbica (sem presença de oxigênio) de lixo urbano, resíduos animais e de lamas provenientes de estações de tratamento de efluentes domésticos. No entanto, o acelerado desenvolvimento econômico dos últimos anos e a subida acentuada do preço dos combustíveis convencionais têm encorajado as investigações na produção de energia a partir de novas fontes alternativas e economicamente atrativas, tentando sempre que possível, criar novas formas de produção energética que possibilitem a poupança dos recursos naturais esgotáveis.

Relativamente ao grande volume de resíduos provenientes das explorações agrícolas e pecuárias, assim como aqueles produzidos por matadouros, destilarias, fábricas de laticínios, esgotos domésticos e estações de tratamento de lixos urbanos (a partir dos quais é possível obter Biogás), estes apresentam uma carga poluente de tal forma elevada que impõe a criação de soluções que permitam diminuir os danos provocados por essa poluição, gastando o mínimo de energia possível em todo o processo.

Assim, o tratamento desses efluentes pode processar-se por intermédio da fermentação anaeróbica (mecânica) que, além da capacidade de despoluir, permite valorizar um produto energético (Biogás) e ainda obter um fertilizante, cuja disponibilidade contribui para uma rápida amortização dos custos da tecnologia instalada. (<http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html>)

Os processos de fermentação anaeróbia que produzem metano, foram desde sempre, utilizados pelo Homem para o tratamento dos esgotos, nos sistemas conhecidos por "fossas sépticas". Estas serviam quer para tratar os esgotos domésticos de pequenas comunidades, quer os resíduos da indústria agro-alimentar ou agro-pecuária. Com o passar dos tempos, estes sistemas simplificados de tratamento evoluíram nos países desenvolvidos, no final do século passado, quando começaram a ser utilizados os chamados "digestores", para efetuar a estabilização das lamas resultantes da sedimentação primária e do tratamento biológico aeróbio dos esgotos.

A produção do biogás é naturalmente encontrada em pântanos, aterros e esgotos entre outros. Um fato curioso está ligado ao antigo costume de se enterrar o lixo em buracos nos quintais, bastante comum ainda hoje onde não se tem serviço de coleta de lixo. Após aterrado o material orgânico no meio anaeróbico formado, sob a ação das bactérias metanogênicas, passava a produzir gás metano, em alguns casos o volume retido alcançava altas pressões

produzindo rompimento do solo e freqüentemente a combustão espontânea, desprendendo enormes chamas com duração de alguns minutos, tal fato algumas vezes era erroneamente associado, por desconhecimento das pessoas surpreendidas, a fenômenos sobrenaturais ou manifestações de seres místicos e folclóricos.

Neste momento existem duas situações possíveis para o aproveitamento do biogás. O primeiro caso, consiste na queima direta (aquecedores, esquentadores, fogões, caldeiras). O segundo caso diz respeito à conversão de biogás em eletricidade. Isto significa que o biogás permite a produção de energia elétrica e térmica. Assim, os sistemas que produzem o biogás, podem tornar a exploração pecuária auto-suficiente em termos energéticos, assim como contribuir para a resolução de problemas de poluição de efluentes.

Em vários países o biogás é produzido em aterros sanitários e aplicado como fonte energética em processos sanitários, e em alguns casos existe até a comercialização do biogás para uso nas indústrias. Em São Paulo o biogás chegou a ser utilizado, experimentalmente, em caminhões de coleta de lixo.

Há processos mais elaborados aonde as usinas de açúcar e álcool estão conseguindo produzir biogás a partir do vinhoto, o produto obtido, após tratado e engarrafado, pode ser usado como combustível em varias aplicações nas próprias usinas, além disso a decomposição do vinhoto resulta em fertilizante de excelente qualidade, evitando-se assim, a poluição de rios e mananciais pelo lançamento direto do vinhoto, que é originalmente um resíduo tóxico.

Um dos sistemas de obtenção do biogás dos mais conhecidos é o biodigestor para aplicação rural, existindo grande número de unidades instaladas, principalmente nos países originários dos modelos mais difundidos, Índia (com aproximadamente 300 mil ) e a China ( com mais de 8 milhões ). Recentemente vários outros países do continente europeu têm realizado programas de disseminação e uso de biodigestores. De construção relativamente simples tais biodigestores funcionam com mistura de água, esterco animal e ou fibras vegetais como capim, cascas etc. Suas principais funções são garantir um meio anaeróbico favorável a biodigestão, permitir a alimentação sistemática da matéria orgânica e a coleta e armazenamento do gás produzido. Os resíduos líquidos e sólidos resultantes do processo formam um biofertilizante de excelente qualidade e larga aplicabilidade na agricultura. O biogás pode ser usado em fogões, motores, lâmpadas e geladeiras a gás, podendo ser considerado uma das fontes energéticas mais econômicas e de fácil aquisição pelas pequenas propriedades rurais.

Os efluentes obtidos, são normalmente tratados em sistemas de lagunagem, sendo depois utilizados em rega de terrenos agrícolas ou lançados em linhas de água. Nas restantes

instalações, onde este tratamento não existe, o efluente é, em regra, utilizado diretamente na agricultura, ou lançado em linhas de água (Biofertilizante).

Numa análise global, o biogás é um gás incolor, geralmente inodoro ( se não contiver demasiadas impurezas ) e insolúvel em água.

Metano (CH <sub>4</sub> )	50 a 75 %
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	25 a 40 %
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	1 a 3 %
Azoto (N <sub>2</sub> )	0.5 a 2.5 %
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0.1 a 1 %
Sulfureto de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	0.1 a 0.5 %
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0.1 a 0.5 %
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0.1 %
Água (H <sub>2</sub> O)	variável

Tabela 1: A Composição média da mistura gasosa

Fonte: (<http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html>)

O Biogás é, devido à presença do metano, um gás combustível, sendo o seu poder calorífico inferior (P.C.I.) cerca de 5500 Kcal/m<sup>3</sup>, quando a proporção em metano é aproximadamente de 60 %. A título de comparação, o quadro que se segue apresenta os P.C.I.'s para os outros gases correntes:

Gás	P.C.I. em Kcal/m <sup>3</sup>
Metano	8500
Propano	22000
Butano	28000
Gás de Cidade	4000
Gás Natural	7600
Biometano	5500

Tabela 2: P.C.I. de diferente Gases

Fonte: (<http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html>)

O biogás é um gás leve e de fraca densidade. Mais leve do que o ar, contrariamente ao butano e ao propano, ele suscita menores riscos de explosão na medida em que a sua acumulação se torna mais difícil. A sua fraca densidade implica, em contrapartida, que ele ocupe um volume significativo e que a sua liquefação seja mais difícil, o que lhe confere algumas desvantagens em termos de transporte e utilização.

O biogás, em condições normais de produção, devido ao seu baixo teor de monóxido de carbono ( inferior a 0.1 % ) não é tóxico, contrariamente, por exemplo ao gás de cidade, cujo teor neste gás, próximo dos 20 %, é mortal. Por outro lado, devido às impurezas que contém, o biometano é muito corrosivo.

O gás mais corrosivo desta mistura é o sulfureto de hidrogênio que ataca, além de outros materiais, o cobre, o latão, e o aço, desde que a sua concentração seja considerável. Quando o teor deste gás é fraco, é sobretudo o cobre que se torna mais sensível. Para teores elevados, da ordem de 1% (excepcionais nas condições normais de produção do biogás) torna-se tóxico e mortal. A presença do sulfureto de hidrogênio, pode constituir um problema a partir do momento em que haja uma combustão do gás e que sejam inalados os produtos desta combustão, dado que a formação do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) é extremamente nocivo, causando, nomeadamente, perturbações a nível pulmonar. (CETESB, 2001).

O amoníaco, sempre em concentrações muito fracas, pode ser corrosivo para o cobre, sendo os óxidos de azoto libertados durante a sua combustão, igualmente tóxicos.

Os outros gases contidos no biogás, não suscitam problemas em termos de toxicidade ou nocividade. O gás carbônico, em proporção significativa (35 %), ocupa um volume

perfeitamente dispensável e obriga, quando não suprimido, a um aumento das capacidades de armazenamento. O vapor de água pode ser corrosivo para as canalizações, depois de condensado.

1 m <sup>3</sup> de Biogás = 6000 Kcal - é equivalente a:
1,7 m <sup>3</sup> de Metano
1,5 m <sup>3</sup> de Gás de Cidade
0,8 L de Gasolina
1,3 L de Álcool
2 Kg de Carboneto de Cálcio
0,7 L de Gasóleo
7 Kw h de Eletricidade
2,7 Kg de Madeira
1,4 Kg de Carvão de Madeira
0,2 m <sup>3</sup> de Butano
0,3 m <sup>3</sup> de Propano

Tabela 3: Equivalências Energéticas

Fonte: (<http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html>)

#### 4.2.5.3. Biofertilizante

Biofertilizante é o afluente dos biogestores, resulta da fermentação anaeróbica da matéria orgânica ao produzir biogás. Pode ser sólido ou líquido:

O sólido é o seu estado natural, contém muita fibra, e utiliza-se como adubação de fundação por ocasião do plantio, bem como adubação periódica por enterramento em torno da copa da planta. Sua assimilação é lenta.

O biofertilizante líquido (biolíquido) é a parte aquosa do biofertilizante natural quando se efetua o peneiramento e a filtração, provocando-se a eliminação do conteúdo sólido. Este produto pode ser usado em aspersão como adubo folhear ou diretamente no solo junto as

raízes, bem como hidroponia . A assimilação pelas plantas se efetua com muita rapidez, de modo que é muito útil na cultura de ciclo curto.

Como o adubo possui uma composição altamente complexa e variável; por ser um produto fermentado por bactérias, leveduras e bacilos, e a matéria orgânica vegetal servida de base alimentar; contém quase todos os macros e micros elementos necessários a nutrição vegetal. Além disso já foi evidenciado em pesquisas realizadas em vários países, que o biofertilizante possui efeitos, tais como fito hormonal, fungistático, bacteriostático, de repelencias contra insetos, nematecida e acaricida. Agindo, portando, como um protetor natural das plantas cultivadas, contra doenças e pragas. E o mais importante: com menos danos a ecologia e sem perigo para a saúde humana. (<http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html>)

Com a expansão da agricultura orgânica e a recente normatização desse sistema de produção (Ministério da Agricultura, 1999 e 2001) muitos produtos alternativos têm sido lançados e testados por produtores orgânicos e convencionais em fase de transição.

Uma das alternativas disponíveis para o manejo de pragas e de doenças são os biofertilizantes, usados por agricultores do Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo e Espírito Santo (BETTIOL et al., 1997).

Aos biofertilizantes são atribuídas propriedades como o aumento da resistência natural das plantas ao ataque de fitopatógenos e de algumas pragas (VAIRO DOS SANTOS, 1991)

Os biofertilizantes em geral, ao serem aplicados nas culturas, atuam como fonte suplementar de micronutrientes para as plantas e a sua ação pode também contribuir para o aumento da resistência natural das plantas ao ataque de pragas e de patógenos, além de exercerem ação direta sobre os fitoparasitas, devido à presença de substâncias tóxicas na Composição (PINHEIRO E BARRETO, 1996)

#### **4.2.5.4. Resíduos sólidos orgânicos de sistema de tratamento de efluentes**

Toda e qualquer atividade humana leva à produção de resíduos, sendo que a crescente demanda da sociedade pela manutenção e melhoria das condições ambientais tem exigido das autoridades e das empresas públicas e privadas atividades capazes de compatibilizar o desenvolvimento às limitações da exploração dos recursos naturais.

Dentre os recursos, os hídricos, que até a geração passada eram considerados fartos, tornaram-se limitantes e comprometidos, em virtude da alta poluição em algumas regiões,

necessitando, portanto de rápida recuperação. Nessas condições, há que se tratem os esgotos urbanos que são hoje os principais poluidores dos mananciais.

O tratamento dos esgotos, que com certeza irá reduzir a poluição dos rios e melhorar a saúde pública da população, resulta na produção de um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes, denominado lodo de esgoto, havendo necessidade de uma adequada disposição final desse resíduo. Entretanto, diversos projetos de tratamento de esgotos não contemplam o destino final do lodo produzido e com isso anulam-se parcialmente os benefícios da coleta e do tratamento dos efluentes. Assim, a comunidade precisa encarar com muita seriedade este problema e, com auxílio das pesquisas científicas e tecnológicas, desenvolver alternativas seguras e factíveis para que esse resíduo não se transforme num novo problema ambiental, mas sim tirar vantagens ambientais de sua disposição.

A disposição final adequada do lodo é uma etapa problemática no processo operacional de uma estação de tratamento de esgoto, pois seu planejamento tem sido negligenciado e apresenta um custo que pode alcançar até 50% do orçamento operacional de um sistema de tratamento. (PINHEIRO E BARRETO, 1996)

As alternativas mais usuais para o aproveitamento ou disposição final do lodo de esgoto são: disposição em aterro sanitário (aterro exclusivo e co-disposição com resíduos sólidos urbanos); reuso industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento); incineração (incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos); conversão em óleo combustível; disposição oceânica; recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração); "landfarming" e uso agrícola e florestal (aplicação direta no solo, compostagem, fertilizante e solo sintético). Entre as diversas alternativas existentes para a disposição final do lodo de esgoto, aquela para fins agrícola e florestal apresenta-se como uma das mais convenientes, pois, como o lodo é rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para as plantas, é recomendada a sua aplicação como condicionador de solo e ou fertilizante. Entretanto, o lodo de esgoto apresenta em sua composição diversos poluentes como: metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos ao homem; atributos que devem ser olhados com muito cuidado. (CAMARGO, 2005)

### **A) Características do lodo de esgoto**

A composição do esgoto varia em função do local de origem, ou seja, se proveniente de uma área tipicamente residencial ou tipicamente industrial, da época do ano e de outros fatores. A Figura 1 apresenta a composição básica de esgoto doméstico, o qual deve ser tratado nas estações de tratamento.

Da mesma maneira, o lodo de esgoto apresenta uma composição muito variável, pois depende da origem do esgoto, bem como do processo de tratamento do esgoto e do seu caráter sazonal. Um lodo de esgoto típico apresenta em torno de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e os demais macro e micronutrientes, além de elementos potencialmente tóxicos. (CAMARGO, 2005)

### **B) Benefícios do uso agrícola do lodo de esgoto**

A utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas tem como principais benefícios, a incorporação dos macronutrientes - nitrogênio e fósforo-, e dos micronutrientes - zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio. Como os lodos são pobres em potássio (cerca de 0,1%), há necessidade de se adicionar esse elemento ao solo. Pode-se dizer que, normalmente, o lodo de esgoto fornece ao solo as quantidades de nutrientes suficientes para as culturas. No entanto, é preciso conhecimento da sua composição, para se calcular as quantidades adequadas a serem incorporadas, sem correr o risco de toxicidade às plantas e em certas situações aos animais e ao homem, como também não poluir o ambiente (CETESB, 2001).

Com respeito à melhoria das condições físicas do solo, o lodo de esgoto, de maneira semelhante à matéria orgânica, aumenta a retenção de umidade em solos arenosos e melhora a permeabilidade e infiltração nos solos argilosos e por determinado tempo mantém uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície.

Embora em quantidade ainda insuficiente, várias pesquisas conduzidas no país mostram que o lodo é um resíduo com perspectivas favoráveis ao uso no solo para produção de plantas. Para a cultura do milho no cerrado brasileiro, MELO et al (1994) demonstraram que o lodo de esgoto, gerado pela CAESB em Brasília, DF, apresenta potencial para substituição dos fertilizantes minerais. MELO et al (1994) apresentam informações sobre o fornecimento de nutrientes pelo lodo de esgoto para as seguintes culturas: cana-de-açúcar, milho, sorgo e azevém. Existem ainda, informações do aproveitamento do lodo de esgoto para

arroz, aveia, trigo, pastagens, feijão, soja, girassol, café e pêssego entre outras culturas. Também em espécies florestais o lodo vem sendo utilizado com sucesso. (CAMARGO, 2005)

### **C) Consideração sobre os componentes potencialmente poluentes do lodo de esgoto**

Apesar de todas as vantagens, o lodo de esgoto pode apresentar em sua composição elementos tóxicos e agentes patogênicos ao homem. Dessa forma, há necessidade de se conhecerem os efeitos desses poluentes no solo quando utilizados na agricultura. Muitas questões ainda não foram respondidas pela pesquisa científica e esse é um fator ponderável a ser levado em consideração relativo ao seu uso na agricultura.

Uma questão fundamental é a que diz respeito à presença e concentração desses elementos potencialmente tóxicos. O lodo contém normalmente em concentrações maiores que o solo, mesmo aquele exclusivamente doméstico. Assim, a sua incorporação nos solos agrícolas deve ser adequadamente planejada e monitorada. Além do zinco, cobre, manganês, ferro, molibdênio e níquel que são micronutrientes essenciais para as plantas, mas que em altas concentrações podem causar sérios problemas, o cádmio e o chumbo podem também aparecer em quantidades consideráveis, especialmente se os lodos provêm de regiões industrializadas. Neste caso, há que se controlar e monitorar a aplicação porque, em especial, zinco, cobre e níquel, se presentes em teores elevados podem ser fitotóxicos, podendo até, no caso do cádmio, ser altamente prejudicial para os animais que se alimentem destas plantas. (CAMARGO, 2005)

Por isso, em todos os países onde o lodo de esgoto é aplicado na agricultura existem normas estabelecendo, entre outras coisas, as concentrações máximas permitidas de metais pesados no lodo e o teor máximo acumulado no solo. A norma P4230 da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, do estado de São Paulo), estabelece esses limites, os quais são apresentados na Tabela 3. Além desses limites, a norma também estabelece a taxa máxima de aplicação anual de metais em solos agrícolas tratados com lodo e a carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo.

Além de São Paulo, o estado do Paraná, por meio do Instituto Ambiental do Paraná (IAP), estabelece critérios para a disposição agrícola do lodo de esgoto. Nesse estado as limitações são maiores do que no estado de São Paulo. Entretanto, a partir do final de 2003, o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) vem discutindo a regulamentação ao nível nacional da disposição do lodo de esgoto na agricultura. Também o estado de São Paulo

está realizando a revisão de sua norma. Nos dois casos acredita-se que entrarão em vigor em 2005.

A mobilidade dos metais pesados depende muito da reação do solo, ou seja, se ele é mais ou menos ácido e, de maneira geral, aconselha-se que o pH seja mantido acima de 5,5, para evitar que os metais pesados, potencialmente tóxicos, possam ser absorvidos pelas plantas ou ficar disponível no ambiente em quantidades que apresentem risco. À medida que aumenta o tempo de contato do lodo com o solo, diminui o perigo das plantas absorverem os metais pesados em excesso porque estes são fortemente retidos pelos colóides do solo, embora essa afirmativa nem sempre possa ser generalizada. (BERTON et al, 1998) discute com detalhes os riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados.

O nitrogênio é um elemento essencial para o crescimento vegetal e para os seres vivos do solo. O uso adequado do lodo deve visar a eficiente utilização do nitrogênio, com um mínimo de perdas por percolação, volatilização, desnitrificação e arraste superficial. Com a decomposição do lodo adicionado ao solo, o nitrogênio orgânico é convertido em amônio ou nitrato. Os colóides do solo podem reter o amônio, mas o nitrato, normalmente será lixiviado para fora da zona radicular porque a capacidade dos solos em retê-lo é baixa. Por outro lado, em condições redutoras, pode ocorrer a desnitrificação, processo pelo qual o nitrogênio do nitrato é transformado em nitrogênio gasoso. Outra questão básica é o balanço do nitrogênio. A matéria orgânica do lodo aplicado ao solo sofre uma mineralização liberando nitrogênio na forma amoniacal e nítrico que não são somados aos existentes antes da aplicação. Assim, a quantidade de lodo aplicada deve ser tal que a quantidade de nitrato ou amônio presente não exceda àquela que a planta vai consumir, pois o excesso ficaria em forma lixiviável que poderia alcançar e contaminar corpos de água subterrâneos. Talvez esse elemento seja um dos mais importantes para monitoramento nas áreas onde o lodo de esgoto é utilizado, na medida em que poderá contaminar o lençol freático.

É praticamente nulo o risco que o excesso de fósforo possa apresentar para as plantas porque dificilmente é constatada toxicidade por causa deste elemento e, por outro lado, os nossos solos, além de deficientes em fósforo, o retém com grande energia. Assim, a contaminação das águas subterrâneas por esse elemento é muito difícil. Entretanto há que se ter precaução, pois o arraste do material sólido superficial por erosão levará consigo fósforo retido que, em certas situações, poderá ser liberado nos corpos de água superficiais para onde o material escorreu provocando, muitas vezes, intensa eutrofização.

A decomposição do lodo de esgoto pode provocar a elevação da condutividade elétrica da solução do solo acima dos níveis aceitáveis para as plantas, em especial em regiões de

baixa pluviosidade. Nas regiões de alta pluviosidade, os perigos são momentâneos, apenas enquanto as chuvas não arrastem os sais para fora da zona radicular. Dentre os sais provenientes da decomposição do lodo, os de sódio podem causar problemas, pois este elemento pode substituir o cálcio e o magnésio do complexo de troca, dispersando a argila, destruindo os agregados e a estrutura dos solos e reduzindo a permeabilidade e a infiltração da água.

Os lodos de esgoto contêm patógenos humanos como coliformes fecais, salmonela, vírus e helmintos, que são passíveis de serem reduzidos com tratamentos adequados. Entretanto é muito importante o monitoramento da população desses organismos, tanto no lodo a ser utilizado na agricultura, como no solo onde ele foi aplicado. SILVA et al. (1998) discutem amplamente os riscos de contaminação do agroecossistema com parasitos pelo uso do lodo de esgoto. A norma P4230, da CETESB, que estabelece os critérios de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas classifica o lodo de esgoto, quando à presença de patógenos, em Classe A e B. O lodo classe A é aquele que atende os seguintes critérios: densidade de coliformes fecais inferior a 10<sup>3</sup> NMP/g de sólidos totais e densidade inferior a 3 NMP/4 g de sólidos totais de *Salmonella* sp. O lodo é considerado classe B quando a densidade de coliformes fecais for inferior a 2x10<sup>6</sup> NMP/g de sólidos totais. No caso do estado do Paraná, a norma do IAP estabelece limites para ovos de helmintos (>1/g) que são mais resistentes e de grande importância para a saúde pública brasileira. Esse procedimento é premente para as condições nacionais, pois a nossa população apresenta sérios problemas com relação a esses patógenos.

Outro grupo de contaminantes que merece atenção é o dos compostos orgânicos persistentes. Até o momento no Brasil, nenhuma norma estabelece limites para esses compostos. Além disso, são extremamente escassos os trabalhos com esses contaminantes no Brasil, existindo praticamente apenas uma análise apresentada por TSUTIYA (2001).

O lodo de esgoto, quando suas características estiverem dentro das normas estabelecidas, pode ser aplicado na agricultura. Entretanto, há necessidade de se monitorarem os solos em relação ao nitrato, metais pesados, compostos orgânicos persistentes e patógenos humanos.

A literatura internacional sobre o assunto é relativamente abundante, de maneira especial nos EUA e nos países da Europa Ocidental. A literatura nacional dispõe de algumas importantes contribuições, mas ainda aquém das necessidades para fornecer bases seguras à normatização, manejo, fiscalização e controle da aplicação dos lodos urbanos na agricultura. Dessa forma, é indispensável o envolvimento dos órgãos de pesquisa e ensino nos estudos

sobre os efeitos do lodo de esgoto nos solos tropicais, bem como os seus impactos no ambiente. Esses estudos devem ser executados preferencialmente em condições de campo e por equipes multidisciplinares.

## 5. CONCLUSÃO

Os resíduos das atividades humanas, como foi comentado neste trabalho, desde a antiguidade são tratados de forma especial devido ao fato de que o seu acúmulo ou má disposição traz inconvenientes facilmente identificados ao homem e ao meio ambiente. Uma forma adequada de gerenciamento de resíduos requer um planejamento que considere acima de tudo atitudes não utópicas como achar que a segregação e reaproveitamento dos resíduos pode ser 100% eficiente. Para um bom gerenciamento devem ser considerados todos os aspectos referentes a caracterização desses resíduos, quantidade, local de geração, formas de destinação final, redução da geração, segregação e reaproveitamento. A educação ambiental e a disseminação da realidade enfrentada no gerenciamento dos resíduos de forma clara para a população é fator chave para o sucesso da implantação dos planos de ação constantes do gerenciamento.

Contando que o gerenciamento dos resíduos sólidos é uma necessidade e portanto a sua segregação, reaproveitamento e reciclagem, é possível enfatizar os resíduos orgânicos que constituem grande volume do total de resíduos. Os resíduos orgânicos podem ser largamente aproveitados na produção de vários insumos úteis no desempenho de várias atividades na sociedade além de proporcionarem um grande lucro no quesito ambiental. É o caso da geração através da biodigestão dos produtos orgânicos, de biogás e biofertilizantes sólidos e líquidos.

É impossível afirmarmos que o ser humano não produzirá mais lixo. A população mundial cresce assustadoramente e com ela, também crescem as necessidades para a sobrevivência e atendimento desta demanda como maior disponibilidade de terras para

produção agrícola, ampliação das áreas urbanas etc. e com isso um maior consumo, maior produção de resíduos e aumento gradativo da necessidade de destinação final destes.

Os resíduos orgânicos apesar de possuírem características “amenas” de degradação ambiental comparados a outros resíduos como os químicos, tóxicos e nucleares, são gerados em quantidades muito superiores do que os outros e podem ser aproveitados economicamente. Portanto, os resíduos orgânicos devem ser explorados em seu potencial de aproveitamento e com isso, contribuirão para que o Planeta possa suportar um pouco mais a demanda humana reduzindo o volume de lixo a ser destinado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVELLAR, Luís Henrique Nobre; CARROCCI, Luiz Roberto; SILVEIRA, José Luiz. Biogás na co-produção: a utilização de subprodutos agro **Desenvolvimento. Novas Tecnologias. 2002. Disponível em:** -industriais na geração de energia em unidades co-geradoras. Biotecnologia, Ciência e <[www.biotecnologia.com.br/bio13/13\\_g.asp](http://www.biotecnologia.com.br/bio13/13_g.asp)>. Acesso em 22 de set. 2003.

BARRERA, Paulo. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. São Paulo: Ícone, 1993, p. 11.

BERTON, R.S. et al. **Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade.** Pesq. Agropec. Bras., p:1-8, 1998.

BETTIOL, W. Isolamento seletivo de *Bacillus*. In: MELO, I.S.; SANHUEZA, R.M.V. (Ed.). **Métodos de seleção de microrganismos antagônicos a fitopatógenos - Manual Técnico.** Jaguariúna:

BIOGÁS. Disponível em: <http://www.net11.com.br/eccc/biogas/bibliografia.html> Acesso em 29 de Março de 2006.

CAMARGO, Otávio A., IETEC - Instituto de educação tecnológica. **Lodo de esgoto na agricultura: potencial de uso e problemas**, Artigo online. 2005. disponível em: [http://www.ietec.com.br/ietec/techoje/techoje/meioambiente/2004/09/09/2004\\_09\\_09\\_0001.2xt/-template\\_interna](http://www.ietec.com.br/ietec/techoje/techoje/meioambiente/2004/09/09/2004_09_09_0001.2xt/-template_interna). Acesso em 18 de Maio de 2006.

CETESB – **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo** – Dorothy C. P. Casarini et al – São Paulo: CETESB, 2001. 736p. + ap.:il; 30 cm. (série relatórios ambientais).

COMLURB. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/comlurb> Acesso em 29 de Março de 2006.

EIGENHEER, Emílio Maciel & KRAUS, Peter. **Como preservar a Terra sem sair do quintal**. Manual de compostagem. Sindicato nacional do editores de Livros RJ. Niterói. 1996.

EIGENHEER, Emílio Maciel. **Lixo, Vanitas e Morte. Considerações de um observador de resíduos**. Sindicato nacional do editores de Livros RJ. Niterói. 2003.

EIGENHEER, Emílio Maciel. **Reciclagem: Mito e realidade**. CIRS – Centro de Informação de resíduos Sólidos/UFF. Rio de Janeiro. 2005

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado, IPT/CEMPRE**, 2ª Edição Revista e Ampliada, São Paulo, 2000. 370p

JUNIOR, Arlindo Philippi. **Saneamento, saúde e ambiente**. Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Universidade de São Paulo. Editora Manole. 2005. p- 285.

MELO, W.J.; et al. **Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. R. Bras. Ci. Solo, p, 449-455, 1994.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. Portaria nº 17 de 10 de abril de 2001. *Diário Oficial da União*. p.9-11, 2001.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº007 de 17 de maio de 1999. *Diário Oficial da União*. p.9-11, 1999.

PINHEIRO, S.; BARRETO, S.B. *MB-4 Agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes*. Blumenau: Cooperativa Ecológica Colméia, 1996. 280 p.

SMMA, SLU e PBH. Cartilha: **Coleta Seletiva. Reduzir. Reutilizar. Reciclar**. 1996.

TEIXEIRA, Gisele Pereira. **Gestão de Resíduos**. Universidade Presidente Antônio Carlos – UNIPAC. Centro de Estudos Tecnológicos, Curso de Tecnologia em Meio Ambiente. Juiz de Fora. 2003.

TSUTIYA, M.T. **Alternativas de disposição final de biossólidos**. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo, SABESP, 2001. 468p.

VAIRO DOS SANTOS, A.C. **Efeitos nutricionais e fitossanitários do biofertilizante orgânico líquido no campo**. *Fitopatologia Brasileira*. Brasília, n.16, p.21-26, 1991.

VILHENA, André; D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero. **Lixo Municipal: Manual de Monitoramento Integrado**. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

VILHENA, André et al'. **Guia da Coleta Seletiva de Lixo**; São Paulo: Cempre, 1999. Ambiente Brasil. Nicho: LIXO: Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./residuos/index.php3&conteudo=./residuos/estatisticas.html>. Acesso em 22 de Setembro de 2005.