

# RESÍDUOS SÓLIDOS

UMA ABORDAGEM DA ECONOMIA AMBIENTAL  
DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO

BCME - BIBLIOTECA

# RESÍDUOS SÓLIDOS

## UMA ABORDAGEM DA ECONOMIA AMBIENTAL DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO

Marcelo Bentes Diniz



Dissertação submetida à coordenação do Curso de Mestrado em Economia - CAEN, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre.

BCME - BIBLIOTECA

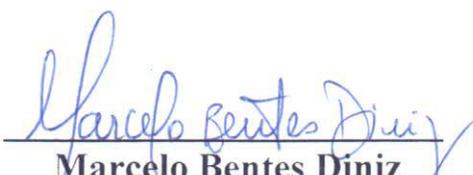
Universidade Federal do Ceará

Fortaleza - Ceará

1997

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre em economia, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

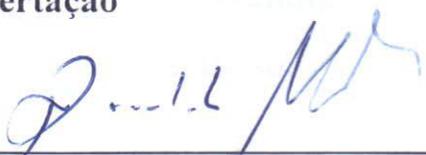
A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita em conformidade com as normas da ética científica.

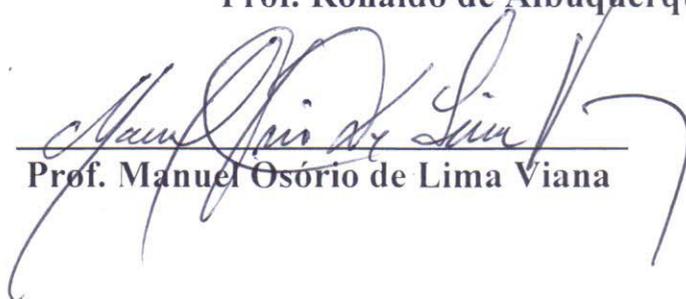
  
\_\_\_\_\_  
Marcelo Bentes Diniz

Dissertação aprovada em: 5 de Setembro de 1997.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Osíres de Lima Carvalho  
Orientador da Dissertação

BCME - BIBLIOTECA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ronaldo de Albuquerque e Arraes

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Manuel Osório de Lima Viana

**Aos meus pais Ruy e Norma  
Diniz, os grandes responsáveis  
pelo meu sucesso.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que, por sua divina graça, é capaz de tudo transformar.

Aos meus pais responsáveis pela formação de meu caráter e dignidade. A eles também agradeço a paciência e ajuda nos momentos difíceis.

Aos meus irmãos e tios: Rodrigo e Patrícia, Ana e Aluizio, pela ajuda e estímulo recebido.

Aos professores do CAEN, em particular ao meu orientador, professor Osíres Carvalho, pelo seu grande senso de responsabilidade e competência profissional.

Aos professores Ronaldo Arraes e Osório Viana, cujas contribuições muito enriqueceram o trabalho e colaboraram para seu êxito.

A todos os meus colegas do corpo discente do CAEN, por que não falar, amigos, pois demonstraram isto a todas as horas. Pela convivência enriquecedora para toda a vida. Em especial ao Alexandre, Haroldo, Erivânio, João, Luci, Newton, Renato, Robert, Roberto, Waldery, Mairton, Mileno, Ricardo, Esther, Márcia, Higino, Eduardo e Guilherme.

Aos funcionários do CAEN, em especial, aos bibliotecários pela sua presteza e senso profissional.

A Valéria pela sua paciência e competência na formatação final do trabalho.

**“Proibido jogar lixo”.**

**(Anônimo)**

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I - Classificação e Caracterização Geral dos Resíduos Sólidos.....</b>	<b>10</b>
I.1 - Fontes e Identificação Físico-Química dos Resíduos e Efluentes.....	10
I.2 - Aspectos Negativos Decorrentes da Má Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	16
I.3 - Princípios Básicos de Gerenciamento Sanitário e Ambiental.....	20
I.4 - Linhas de Ação na Gestão dos Resíduos.....	24
<b>CAPÍTULO II - Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.....</b>	<b>33</b>
II.1 - Aterros Sanitários.....	33
II.2 - Usina de Reciclagem e Compostagem.....	38
II.3 - Usina de Incineração.....	53
<b>CAPÍTULO III - Diagnóstico e Fatores Determinantes da Geração, Coleta e Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos.....</b>	<b>56</b>
III.1 - Oferta e Eficácia dos Serviços de coleta de Resíduos no Atual Contexto Sócio-Econômico.....	57
III.2 - Distribuição Geográfica dos Métodos de Tratamento.....	68
III.3 - Aspectos Qualitativos do Lixo Urbano Brasileiro.....	72
III.4 - Determinantes da Coleta e Geração de Lixo a partir dos Estados Brasileiros..	75

III. 5 - Aspectos Institucionais ligados a Coleta e Disposição dos Resíduos Sólidos:.....	87
---	----

**CAPÍTULO IV - A Análise de Custo-Benefício como Auferidora dos Resultados Sociais Advindos do Tratamento do Resíduos Sólidos..... 89**

IV.1 - Critérios de Eficiência e Falha do Sistema de Mercado.....	89
IV.2 - Resíduos Sólidos como Externalidades Ambientais.....	99
IV.3 - Mensuração das Externalidades e Critérios de Compensação.....	103

**CAPÍTULO V - Custos e Investimentos requeridos em Usinas de Reciclagem e Compostagem e Aterros Sanitários..... 116**

V.1 - - Usina de Reciclagem e Compostagem :.....	116
V.2 - Considerações Acerca do Mercado de Recicláveis Oriundos da Usina de Reciclagem e Compostagem.....	123
V.3 - Receita Potencial da Usina de Reciclagem e Compostagem e Respective Custos Operacionais:.....	142
V.4 - Custos Operacionais de uma Usina de Reciclagem e Compostagem.....	146
V.5 - O Aterro Sanitário e sua Estrutura de Custos Operacionais.....	157
V.6 - Considerações sobre a Alternativa Conjunta de Aterro Sanitário e Usina de Reciclagem e Compostagem.....	152

**CAPÍTULO VI - Determinação de Benefícios Sociais da Adoção Conjunta de Aterro Sanitário e Usina de Reciclagem e Compostagem..... 159**

VI.1 - Benefícios Auferidos Quando se Evita a Poluição Hídrica.....	159
VI.2 - Benefícios Auferidos Quando se Evitam os Custos da Poluição Atmosférica.....	162
VI.3 - Benefícios Auferidos Quando se Evitam os Custos de Poluição do Solo.....	164
VI.4 - Benefícios Auferidos Quando se Evitam os Custos Incurridos com as Doenças Transmitidas pelos Vetores Ligados ao Lixo.....	164
VI.5 - Benefícios Advindos da Reciclagem do Lixo Promovida Pela Usina de Reciclagem e Compostagem.....	168
VI.6 - Fluxo dos Benefícios Líquidos do Projeto de Reciclagem e Compostagem e Aterro Sanitário:.....	170
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>173</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>178</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>179</b>

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 1.1. - Doenças Transmissíveis e respectivos Micro e Macrovetores Transmissores.....	17
QUADRO 1.2. - Efeitos Nocivos causados ao Homem por alguns tipos de Metais Pesados.....	19
QUADRO 1.3. - Medidas tomadas que significam a Redução na Geração de Resíduos.....	28
QUADRO 1.4. - Principais Materiais Recicláveis e Processos de Reciclagem Utilizados.....	31
TABELA 3.1. - Proporção da População Urbana com Acesso ao Serviço de Coleta de Lixo (%), segundo as Regiões e o Nível de Renda.....	58
TABELA 3.2. - Domicílios com Acesso ao Serviço de Coleta de Lixo (%)..	60
TABELA 3.3. - Domicílios com Acesso ao Serviço de Coleta de Lixo (%), segundo a Classe de Rendimento.....	61
TABELA 3.4. - Domicílios com Acesso ao Serviço de Coleta de Lixo segundo as nove Regiões Metropolitanas.....	62
TABELA 3.5. - Domicílios com Acesso ao Serviço de Coleta de Lixo segundo os Estados da Federação.....	63
TABELA 3.6. - Número de Municípios atendidos pelo Serviços de Coleta e Limpeza Pública, segundo as Grandes Regiões e Estados da Federação (1989).....	65
TABELA 3.7. - Composição da Coleta Seletiva (em %).....	67
TABELA 3.8. - Quantidade de Lixo Coletado e Formas de Disposição Segundo as Grandes Regiões do País - 1989.....	68

TABELA 3.9. - Número de Usinas de Lixo existente no País segundo os Estados e a Região Demográfica.....	70
TABELA 3.10. - Número de Municípios atendidos pelos Serviços de Coleta Comercial e Hospitalar segundo as Grandes Regiões e Estados da Federação.....	71
TABELA 3.11. - Composição Média e Índice de Aproveitamento do Lixo Domiciliar no Brasil.....	73
TABELA 3.12. - Composição do Lixo em algumas Capitais Brasileiras: (Em % do Peso).....	73
TABELA 3.13. - Evolução do Percentual de Plástico e Papel e Papelão no Lixo da Cidade do Rio de Janeiro:.....	74
TABELA 3.14. - Geração de Lixo segundo as Capitais dos Estados (1989):	78
TABELA 3.15. - Erro Percentual Médio das Variáveis dependentes do modelo .....	84
TABELA 5.1. - Uniformização e Equipamentos de Proteção Individual.....	123
TABELA 5.2. - Nível de Reciclagem no Brasil (1995).....	125
TABELA 5.3. - Taxa de Recuperação de Papéis Recicláveis no Brasil (1978-1994).....	133
TABELA 5.4. - Consumo de Recicláveis no Brasil (1994):.....	134
TABELA 5.5. - Preços do Material Reciclado (Preço Médio/t) no Brasil....	141
TABELA 5.6. - Produção Média de uma Usina de Reciclagem e Compostagem de Grande Porte.....	142
TABELA 5.7. - Eficiência das Usinas de Reciclagem e Compostagem segundo o aproveitamento do Material Reciclável.....	143
TABELA 5.8. - Eficiência segundo cada item a ser processado.....	144
TABELA 5.9. - Material a ser vendido para uma Usina que processe 500 t/dia.....	145

TABELA 5.10. - Estrutura de Custos e Receitas de uma Usina de Reciclagem e Compostagem.....	146
TABELA 5.11. - Estrutura de Custos de um Aterro Sanitário.....	151
TABELA 5.12 - Estrutura de Custos e Receitas de uma Usina de Reciclagem e Compostagem e Aterro Sanitário.....	158
TABELA 6.1 - Parâmetros Recomendados pelo CONAMA relativos ao Chorume.....	160
TABELA 6.2 - Incidência para 100.000 hab. das Doenças causadas pelos Resíduos Sólidos.....	166
TABELA 6.3 - Gastos em Serviços Hospitalares com as Doenças relacionadas as Externalidades provocadas pelo Lixo.....	167
TABELA 6.4 - Cálculo dos Custos Incorridos com as Doenças provocadas pelos Resíduos.....	168
TABELA 6.5 - Economia obtida com a Produção de Recicláveis pela Usina.....	169
TABELA 6.6 - Fluxo de Custos e Benefícios do Projeto de Reciclagem e Compostagem e Aterro Sanitário.....	170

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1. - Critério Paretiano x Critério da Melhoria Potencial de Pareto.....	111
FIGURA 3.2 - Ciclo do Produto Reciclável.....	129

## RESUMO

A presente dissertação faz uma análise dos custos e benefícios da implantação dos métodos de tratamento de resíduos sólidos, enfatizando as Usinas de Reciclagem e Compostagem e Aterros Sanitários, destacando os aspectos de natureza técnica e econômica, que são pertinentes à implantação destes tipos de empreendimento.

O trabalho apresenta, ainda, um diagnóstico sucinto das tendências que norteiam a distribuição dos serviços de coleta e tratamento dos resíduos sólidos urbanos, bem como identifica as variáveis que norteiam tanto o déficit na coleta, quanto a geração dos resíduos sólidos urbanos.

A metodologia adotada é a simulação hipotética de que os métodos de tratamento selecionados venham a atender uma população de 1.000.000 de habitantes, com características particularizadas.

A abordagem teórica é a análise do bem-estar social, com destaque para o tratamento das externalidades.

O resultado mais importante do trabalho é a apresentação do modelo e a definição dos benefícios sociais líquidos, que seriam obtidos com a adoção dos empreendimentos alternativos considerados.

## ABSTRACT

This thesis makes an attempt to analyze the costs and benefits arising from the solid wastes treatment methods, emphasizing a waste processing plant and landfill deposit area. The present work also calls attention to the technical and economical aspects related to these kind of enterprises.

This work also present an approach which can be taken as a short trend evaluation that leads to the distribution of the collection and treatment operations, linked to the variables that correlates to the collection deficit as well as the generation of urban solid wastes.

The methodological approach used was based on a hypothetical simulation of the available treatment methods, aiming to provide an urban waste collection service to a population up to one million inhabitants.

The Theoretical approach is based on a Social Welfare Analysis, emphasizing the externalities generation.

The most important accomplishment of the present work is the econometric model and the achievement of the net social benefits, which will be internalized by the population benefiting from the alternative projects considered within the present study realm.

## INTRODUÇÃO

As décadas de 80 e 90 vêm marcar uma mudança significativa no modelo de gestão dos resíduos sólidos municipais, anteriormente adotado pelas administrações públicas nos países desenvolvidos. Isto ocorreu, especialmente nos grandes centros urbanos, em função de um conjunto de fatores, tanto de ordem econômica, como também de natureza ambiental e pecuniária.

Nos países da OCDE, por exemplo, durante a década de 70 a prioridade foi apenas de garantir a disposição adequada dos resíduos, seja através da utilização de Aterros Sanitários, seja através da utilização de Incineradores, considerados, naqueles países, como meios de tratamento/disposição mais eficientes (Demajorovic, 1995).

Na década de 80, entretanto, passa a ser implantado um novo modelo de gestão cuja prioridade volta-se, agora, para a minimização da geração dos resíduos, a reciclagem de materiais, e o reaproveitamento da energia como subproduto da incineração. Tal mudança de prioridade ocorreu, fundamentalmente, motivada por dois fatores.

O primeiro deles, foi que em alguns países, o problema da destinação dos resíduos sólidos passou a ser visto em caráter de urgência, em virtude do volume de lixo produzido exceder a capacidade de descarga dos depósitos municipais. Nestes países, a relação positiva entre o crescimento populacional e o crescimento da produção de lixo foi acompanhada também pelo

crescimento per capita da geração de lixo, em razão de fatores como o aumento da renda per capita que fazia crescer o nível de consumo da população, mas também, em decorrência do maior volume de material descartado por unidade de consumo. Isto ocorreu em função da difusão dos chamados produtos descartáveis - One Way - com uma vida útil imediata; mas também pelo fato dos produtos passarem a incorporar uma maior quantidade de elementos que não são propriamente consumidos. Houve um crescimento significativo, em peso e volume, de embalagens com diferentes conteúdos não-biodegradáveis como plásticos, metais, alguns tipos de papéis, etc. Observou-se, então, uma mudança não só quantitativa mas também qualitativa do lixo urbano, que acabou por diminuir a vida útil dos depósitos municipais.

O segundo, foi o revigoramento da problemática ambiental, a partir da década de 80, que passa a ter uma nova conotação no contexto do crescimento econômico e das relações internacionais. A questão de ordem passa a ser sustentabilidade, não só do ponto de vista da manutenção do crescimento econômico, mas fundamentalmente da conservação dos recursos naturais, levando-se em consideração sua utilização intertemporal e intratemporal, no que tange à distribuição dos seus benefícios no tempo e entre todos os povos e nações.

As proposições do desenvolvimento sustentável são a síntese do novo paradigma econômico-ecológico que, do ponto de vista das políticas voltadas aos resíduos sólidos, vão significar a adoção de instrumentos de comando e controle, incentivos de mercado e gastos governamentais, com o objetivo de estimular as práticas e os usos da reciclagem e a minimização da geração dos resíduos na fonte de origem.

A Nova Ordem Econômica, nos moldes do Desenvolvimento Sustentável, foi estabelecida na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio de Janeiro, 1992), e materializada no Programa estabelecido pela Agenda 21. Neste documento, o capítulo 21 (vinte e um) determina que a prioridade agora é atingir as causas fundamentais da geração dos resíduos, isto é, mudar os “padrões não-sustentáveis de produção e consumo” (UNCTAD, 1992).

Quatro passam a ser as áreas de ação a serem perseguidas : i) redução ao mínimo dos resíduos; ii) aumento ao máximo da reutilização e da reciclagem ambientalmente saudáveis dos resíduos; iii) promoção de depósitos e tratamento ambientalmente saudáveis dos resíduos; iv) ampliação do alcance dos serviços que se ocupam dos resíduos (UNCTAD, 1992)

A nova prioridade tenta atingir a redução da geração dos resíduos em todas as fases da cadeia produtiva, estabelecendo medidas que atingem tanto os produtos como os processos de produção, mediante a massificação das chamadas *non-wastes, low-wastes ou clean technologies*. Também volta-se à modificações dos hábitos e padrões de consumo, instalando uma modalidade de consumo que priorize os chamados “produtos verdes”, que são aqueles que utilizam materiais recicláveis, utilizam materiais com menor consumo de energia e de insumos por unidade, sejam mais biodegradáveis e de menor potencial poluidor ao meio-ambiente.

Nos países em desenvolvimento, os avanços alcançados na gestão dos resíduos sólidos nos países desenvolvidos ainda são pouco difundidos. Em verdade, os problemas decorrentes dos resíduos sólidos ainda estão em uma fase primária, ou melhor, as soluções adotadas têm ainda pela frente problemas que aqueles países não mais enfrentam. De fato, das áreas-programas estabelecidas pela Agenda 21, enquanto os países desenvolvidos centralizam seus esforços na minimização da geração e maximização da reutilização e reciclagem, os esforços dos países em desenvolvimento têm que se direcionar à ampliação dos serviços que se ocupam dos resíduos, bem como, a promoção de depósitos e tratamento ambientalmente saudáveis.

Nos países em desenvolvimento, as questões mais graves a serem resolvidas são basicamente duas. A primeira é o grande déficit observado na oferta do serviço de coleta de lixo, que atinge a população de maneira discriminada. A segunda é a inadequada disposição e tratamento que vêm sendo dados ao lixo urbano, tanto pela população, carente de informações, como pelas administrações municipais, que não possuem uma estratégia de gerenciamento da questão que atenda de forma apropriada os requisitos de ordem sanitária, econômica e social.

Como consequência três classes de problemas atingem os países em desenvolvimento (Pearce; Turner, 1994)

- a) Problemas de saúde pública ligados ao lixo não coletado;
- b) Problemas de saúde pública ligados ao lixo coletado, porém com destino inadequado;
- c) Alto peso econômico da disposição dos resíduos nos orçamentos de algumas cidades e localidades.

Embora algumas práticas do modelo de gestão atual já estejam implementadas, nos países em desenvolvimento, a questão básica ainda é poder dar um tratamento/disposição adequado aos resíduos, bem como dar uma cobertura adequada aos serviços de coleta dos resíduos sólidos.

O Brasil reflete muito bem este quadro. Tanto em decorrência dos déficits registrados nos serviços públicos de coleta, como a forma pela qual a questão vêm sendo tratada, sem levar em consideração os elementos técnicos necessários, tanto do ponto de vista da engenharia quanto do ponto de vista econômico-social. Quanto a isto, os números da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (1989) são bem ilustrativos : mais de 50% do lixo gerado no país não sofre qualquer tipo de tratamento, sendo descartado em terrenos baldios, encostas e cursos d'água; e cerca de 48% do lixo hospitalar recebe a mesma destinação que o lixo domiciliar, quando deveria ser a incineração - tratamento mais adequado a este tipo de lixo.

O resultado disto se traduz em externalidades (negativas) de toda a sorte, como deslizamentos de encostas, inundações, proliferação de vetores transmissores de inúmeras doenças, poluição atmosférica, além da poluição dos recursos hídricos, principalmente, do lençol freático e dos mananciais que abastecem as grandes cidades, etc.

As externalidades ambientais geradas pelos resíduos sólidos e a perda de bem-estar social decorrente fazem da oferta dos serviços voltados aos resíduos sólidos, um bem público. Em especial, aquele classificado como urbano, cuja responsabilidade de coleta, transporte, tratamento e disposição final cabe às administrações municipais.

No que diz respeito ao tratamento e disposição final, deve-se seguir os princípios teóricos e técnicos tanto do ponto de vista econômico, como também do ponto de vista da engenharia sanitária e ambiental, para que se minimizem os efeitos ambientais relativos aos resíduos sólidos.

No Brasil, três foram os métodos de tratamento/disposição difundidos a partir da década de 70 : o método do Aterro Sanitário, baseado essencialmente no princípio biológico da decomposição (aeróbia ou anaeróbia) do lixo; as tecnologias térmicas, especialmente os incineradores; e ainda a utilização da Reciclagem, através da utilização de Usinas (de Reciclagem e Compostagem) que processam a matéria orgânica e fazem a triagem dos materiais inertes. Estas tecnologias, ainda que possuam um certo grau de substitubilidade, podem ser utilizadas de forma complementar dentro do princípio do tratamento integrado, que tem por base aplicar o método de tratamento segundo as características de cada tipo de resíduo, alcançando, assim, maior eficiência quanto à eliminação das externalidades ligadas aos resíduos sólidos.

A questão principal que se tenta investigar é sobre qual o resultado que pode ser obtido através da adoção de diferentes métodos de tratamento para os resíduos sólidos do ponto de vista econômico. Cumpre-se, assim, a necessidade de uma avaliação da viabilidade econômica do projeto ou projetos, via utilização do instrumental fornecido pela análise custo-benefício, para uma tomada da decisão que tenha repercussão social, como é o caso em questão. A dissertação ora apresentada tem este objetivo, isto é, verificar quais os benefícios e custos econômicos ligados à adoção de um sistema de tratamento de lixo, pautado em diferentes métodos ou tecnologias de

tratamento/disposição, levando em consideração particularmente as externalidades geradas pelos resíduos sólidos, como custos evitados e, portanto, benefícios sociais.

O caminho a ser seguido parte da caracterização do objeto de estudo, este sendo o assunto do primeiro capítulo, tendo por objetivo mostrar o conjunto de variáveis envolvidas na adoção dos métodos de tratamento segundo os princípios técnicos da engenharia ambiental.

O capítulo segundo faz uma apresentação dos métodos de tratamento comumente utilizados no país, ressaltando seus aspectos técnico-operacionais.

O capítulo terceiro tem a preocupação de diagnosticar o problema, no que diz respeito à situação da coleta e disposição dos resíduos sólidos no País. Identificando, por essa via, tanto as variáveis que norteiam a tendência do déficit na distribuição dos serviços de coleta e tratamento, quanto as variáveis que determinam a geração dos resíduos sólidos urbanos.

O capítulo quarto faz uma explanação dos elementos envolvidos na Análise Custo-Benefício (ACB) do ponto de vista teórico. Enfatizando os princípios que norteiam a decisão econômica (pautada na ACB) segundo estes princípios, inclusive, classificando os resíduos dentro do tratamento dispensado às externalidades.

O capítulo quinto começa a apresentar os elementos envolvidas na Análise Custo-Benefício. Os custos incorridos, aqui incluídos os relativos aos investimentos, bem como os custos operacionais para os dois métodos de

tratamento/disposição selecionados para estudo : Aterro Sanitário e Usina de Reciclagem e Compostagem. Os cálculos são feitos tanto com relação a cada método individualmente, como para a sua implantação conjunta.

O capítulo sexto apresenta os benefícios que seriam obtidos com a implantação dos métodos de tratamento/disposição selecionados, incluindo como benefícios, os custos evitados com os efeitos externos gerados pelos resíduos sólidos, quando da implantação destes métodos de tratamento/disposição.

O sétimo capítulo apresenta as conclusões e recomendações pertinentes, como também sugestões para sua implementação no contexto dos Estados brasileiros.

A metodologia aplicada foi calcular benefícios e custos a partir de um modelo idealizado, qual seja, que os métodos de tratamento/disposição venham a atender uma população de 1.000.000 de habitantes, com uma produção per capita de 0,500 kg/dia. Assim, a metodologia consistiu em se determinar custos e benefícios potenciais que seriam obtidos, caso os métodos de tratamento/disposição selecionados fossem implantados, e a partir daí verificar a possibilidade de existência de benefícios líquidos dentro de um espaço temporal de 10 anos, horizonte de tempo equivalente ao da vida útil da Usina de Reciclagem e Compostagem.

Vale observar que a análise custo-benefício realizada se deu entre custos privados relativos a implantação conjunta de um Aterro Sanitário e Usina de Reciclagem e Compostagem, em uma mesma área, e benefícios

sociais, em termos dos custos evitados com a poluição hídrica, custos evitados com as doenças cujos vetores se proliferam com o lixo, benefícios com a prática da reciclagem estimulada pela Usina, bem como a receita operacional a ser realizada pela mesma.

Vale, por fim, algumas considerações acerca das informações usadas ao longo do trabalho. De fato, para aqueles que realizam investigações acerca da realidade dos municípios brasileiros, é sabida a grande dificuldade de se obter informações. Quando elas existem, em muitos casos, ou são incompletas, ou é duvidosa a sua procedência, de modo que se questiona sua veracidade. Assim pois, o trabalho apresentado em muitos momentos teve que se deparar com este problema, o que determinou a adoção dos seguintes procedimentos: em primeiro lugar, quando da não existência de dados (ou séries estatísticas completas) para os anos definidos para análise, se usou dados de anos diferentes, ou mesmo se “criou” os dados necessários. Isto ocorreu, por exemplo, com relação aos dados (cross section) usados pelos modelos de regressão, de modo que, o modelo de determinação do déficit foi feito com referência ao ano de 1989, originado a partir dos dados do lixo coletado, e o modelo de determinação do lixo gerado a base foi o ano de 1995. Também, em relação aos cálculos dos benefícios sociais, foi necessário se usar dados de anos diferentes para se chegar aos resultados desejados.

# CAPÍTULO I

## Classificação e Caracterização dos Resíduos Sólidos

### I. 1 - Fontes e Identificação Físico-Química dos Resíduos e Efluentes.

A palavra lixo recebe várias designações, desde a mais simples que considera lixo como todo material que perde valor ou utilidade ao seu usuário e como tal é simplesmente descartado, até classificações mais técnicas, afetas a sua composição físico-química, ou até mesmo que consideram sua fonte de origem.

A classificação pela composição física leva em consideração o peso dos materiais encontrados no lixo e que são agrupados nas seguintes categorias: papel e papelão, metais-ferrosos, metais não-ferrosos, plásticos, vidros, madeira, borracha e couro, pano e estopa, mato e folha, louça e cerâmica, restos de alimentos, e outros denominados de agregados não-classificados .

Para se chegar à composição física do lixo, algumas características físicas são relevantes, como por exemplo : a composição gravimétrica, o peso específico, o teor de umidade e a compressividade.

- Composição gravimétrica : traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total do lixo;
- Peso específico : é o peso dos resíduos em função do volume por eles ocupados, expresso em  $\text{kg/m}^3$ . Sua determinação é importante para o

dimensionamento de equipamentos e instalações relativas a disposição e tratamento dos resíduos.

**lixo** • Teor de umidade : indica o grau de umidade (água) existente na massa dos resíduos. Também tem influência decisiva na definição do processo de tratamento e destinação final do lixo. Vale salientar que tal característica varia muito em função das estações do ano e da incidência de chuvas.

**lixo** • Compressividade : também conhecida como grau de compactação, indica a redução de volume que uma massa de lixo pode sofrer, quando submetida a uma pressão determinada. A compressividade do lixo situa-se entre 1:3 e 1:4 para uma pressão equivalente a  $4\text{kg/cm}^2$ . A definição destes valores determinará o dimensionamento e tipo de compactadores utilizados na remoção do lixo.

A classificação pela composição química tem como objetivo determinar o percentual de cada elemento químico que compõe o lixo, tais como: carbono, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, fósforo, cálcio, potássio, enxofre, elementos metálicos, etc. Esta classificação, vai permitir que se discriminem as características químicas do lixo, merecendo destaque : o poder calorífico; o potencial de hidrogênio (PH); a relação carbono/nitrogênio; o teor de cinza, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral solúvel, gorduras, entre outros.

**lixo** • Poder calorífico : indica a capacidade potencial que tem o material de desprender calor quando submetido à queima;

**lixo** • Potencial de hidrogênio (PH) : indica o teor de acidez ou alcalinidade do material;

- Relação carbono/nitrogênio : indica a capacidade de decomposição da matéria orgânica do lixo, nos processos de tratamento e disposição final do lixo;

A determinação dos teores de cinza, carbono, nitrogênio, potássio, fósforo, etc; são também fundamentais para a escolha dos processos de tratamento aplicáveis aos resíduos sólidos.

Ressalte-se que também são importantes as características biológicas ligadas ao estudo da população microbiana e dos agentes patogênicos do lixo, para que sejam discriminados os métodos de disposição e tratamento mais adequados.

A classificação quanto à origem leva em consideração a fonte geradora dos resíduos, cada qual com determinadas características físico-químicas predominantes. Assim, o lixo, em geral, é classificado em : a) lixo doméstico; b) lixo comercial; c) lixo público; d) lixo hospitalar; e) lixo industrial; f) lixo de feiras e mercados g) lixo agrícola; g) lixo especial. Sejam suas definições e observações relevantes :

- Lixo Doméstico: é aquele originário de domicílios residenciais. Sua composição física é basicamente constituída de restos de alimentos, papel, papelão, madeira, trapo, couro, borracha, plástico, vidro, ossos, folhas e gravetos. Assinale-se também, no lixo doméstico, a presença esporádica de aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos com vida útil esgotadas.

**lixo** • Lixo Comercial : é aquele proveniente de estabelecimentos comerciais como hotéis, restaurantes, supermercados, bares, padarias, escritórios, casas comerciais, lojas bancos e escolas. Sua composição física basicamente compreende restos de comida, plásticos, vidros, papelão, metais ferrosos e não-ferrosos.

**lixo** Duas características devem ser destacadas com relação ao lixo comercial. A primeira é sua heterogeneidade física, decorrente de sua origem bastante diversificada. Assim por exemplo, enquanto o lixo de hotéis e restaurantes é rico em matéria orgânica, o lixo de escritórios e bancos é composto em grande medida de papel e papelão. A segunda é sua suscetibilidade sazonal, onde em determinados épocas do ano o volume gerado cresce de maneira substancial, em razão, principalmente, do aumento das atividades ligadas a cada tipo de estabelecimento comercial.

**lixo** Vale ressaltar que, devido à presença de metais como o mercúrio, o lixo comercial possui um potencial de contaminação muito maior para o meio ambiente que o lixo doméstico.

Verifica-se, também, tanto no lixo comercial, quanto no lixo doméstico a presença de pneus. Estes constituem um problema à parte, dado o grande volume que ocupam e a dificuldade de decomposição, para aqueles municípios que não dispõem de tecnologia para o seu reaproveitamento.

**lixo** • Lixo Público : corresponde ao lixo recolhido dos logradouros públicos, avenidas, ruas praças, praias, canais, etc. Sua composição básica é de folhas e galhos de árvore, areia, terra, papel, além de asfalto e metais com

baixo risco de contaminação do lençol freático. Aqui se incluem o lixo proveniente dos serviços de varrição, capinação e podaço. Daí o lixo público sofrer grande influência decorrente do grau de arborização da cidade e principalmente das vias públicas.

- Lixo Hospitalar : é aquele gerado em hospitais, clínicas, postos de saúde, farmácias, laboratórios, ambulatórios e institutos de medicina legal. Sua composição básica é de curativos, restos de cirurgia, autópsias, seringas hipodérmicas, bandagem, remédios usados, peças de vestuário, descartáveis, além de plásticos e metais diversos. Observe-se que parte do lixo hospitalar é resultado da preparação e sobras de alimentos, e que, portanto, quando desagregado, possui as mesmas características do lixo doméstico.

O lixo hospitalar é a parte do lixo urbano que merece maiores cuidados especiais, desde a coleta até a disposição final, dado o potencial de risco bastante elevado, particularmente com relação a saúde pública. Daí exigir manipulação diferenciada tanto no que diz respeito a coleta quanto ao destino final.

- Lixo Industrial : é o lixo produzido pelas indústrias. Suas características físico-químicas também são bastante heterogêneas, variando em função das matérias-primas e do processo industrial utilizado. É também considerado de grande potencial de risco, principalmente em relação às possibilidades de contaminação do lençol freático (poluição hídrica). Vale ressaltar que a disposição e tratamento do lixo industrial vai depender exatamente do material utilizado no processo e do potencial de risco a ele associado. Tais diferenças levaram a uma nova classificação pela Associação

Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no que se refere especificamente aos resíduos industriais e seus riscos de contaminação<sup>1</sup>. Há de se ressaltar, também, a existência de uma legislação específica que regulamenta a sua disposição e tratamento, segundo a fonte geradora.

• Lixo de Feiras e Mercados: é aquele oriundo de feiras e mercados públicos, permanentes ou não. Sua composição física é formada basicamente de matéria-orgânica e restos de embalagens constituídas de caixas de madeira e ou papelão.

• Lixo Agrícola : é aquele de origem tipicamente rural, onde predominam as atividades agro-pastoris. É rico também em matéria orgânica como lixo de feiras e mercado. Porém, com potencial muito maior de contaminação ao meio-ambiente em virtude do uso de defensivos e fertilizantes, com potencial de risco de contaminação hídrica bastante significativo.

• Lixo Especial : aqui se incluiria particularmente o lixo originário da construção civil, formado basicamente por escombros e entulhos, cuja coleta é geralmente feita de forma diversa das demais.

---

<sup>1</sup> A classificação referida consta na Norma NBR 10004 (ABNT). Nesta norma os resíduos são agrupados em três classes : resíduos Classe I - perigosos; Resíduos Classe II - não-inertes; Resíduos Classe III - inertes. Na primeira classe incluem-se os resíduos sólidos ou misturas de resíduos sólidos, que em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública, seja diretamente pelo aumento da mortalidade ou incidência de doenças ou seja indiretamente pelos efeitos adversos ao meio-ambiente, quando não manuseados ou dispostos de forma adequada. Os resíduos classificados na Classe III (inertes) são aqueles que quando submetidos ao teste de solubilização (Norma NBR 10006 - Procedimento de Solubilização de resíduos) - nenhum de seus elementos constituintes são solubilizados, em concentrações superiores aos padrões definidos pelo teste de solubilização - listagem 8 da referida norma). Dentre os materiais que se incluem nesta classificação estão tijolos, vidros, certos plásticos, e borracha. Os resíduos da Classe II, são aqueles não incluídos nas duas classes anteriores.

Outra classificação comumente usada é quanto à divisão dos resíduos em resíduos sólidos e resíduos líquidos. O primeiro compreendendo toda a massa heterogênea de diferente composição físico-química, e o segundo por aqueles que se misturam aos esgotos tais como gorduras, matéria orgânica, lodo, produtos químicos, etc; com grande potencial de agressão ao meio-ambiente.

## **I.2 - Aspectos Negativos Decorrentes da Má Disposição dos Resíduos Sólidos.**

Os Resíduos sólidos caracterizam-se pelos efeitos negativos<sup>2</sup> gerados tanto para o meio ambiente quanto para o homem.

Sob o prisma sanitário, os efeitos negativos dos resíduos sólidos, são decorrentes da sua disposição inadequada e sem tratamento, tornando-se o habitat de organismos vivos que são vetores de várias doenças. Estes vetores podem ser classificados em dois grupos : os microvetores e os macrovetores. Os microvetores são constituídos por vermes, bactérias, fungos e vírus. Os macrovetores são constituídos de ratos, baratas, moscas, mosquitos, ou até mesmo cães, aves, suínos e ainda o próprio homem na figura do catador, que em contato com o lixo transforma-se em agente disseminador de doenças. Na realidade, os macrovetores são também agentes disseminadores dos microvetores.

A contaminação e o potencial de proliferação dos agentes patogênicos que ocorrem são função do tempo de vida dos micro e macrovetores no lixo e

---

<sup>2</sup>Do ponto de vista econômico, os efeitos negativos dos resíduos representam externalidades ambientais negativas. Estes aspectos serão tratados no capítulo IV.

de suas possibilidades de adentrarem a cadeia alimentar e o habitat do homem. O Quadro 1.1 especifica alguns organismos patogênicos (microvetores), bem como as doenças a eles associados e os macrovetores responsáveis por sua disseminação.

### QUADRO 1.1 : DOENÇAS TRANSMISSÍVEIS E RESPECTIVOS MICRO E MACROVETORES TRANSMISSORES.

Organismos	Doenças <sup>3</sup> transmissíveis	Macrovetores
Salmonella Typi	Febre Tifóide	roedores (fezes), moscas
Ascaris Lumbricoides	Verminoses	moscas, baratas
Leptospira Interrogans	Leptospirose	roedores (urina)
Polio Virus	Poliomelite	baratas, moscas
Bacilo Tuberculose	Tuberculose	moscas
Larvas de vermes	Doenças intestinais	moscas, baratas
Virus linfótico	Meningite linfocitária	roedores (secreções)
Ricksttsia Typhi	Tifo Murino	pulga (roedores)
Streptobacillus moni.	Febre de Haverhill	roedores (mordedura)
Spirillum minus	Febre Sôdoku	roedores (mordedura)
Trichinella Spirallis	Triquinose	roedores (fezes)
Brucella Melitensis	Brucelose	roedores (urina)
Bacilo Yersinia Pestis	Peste	pulga (roedores)
Arbovirus (Flavivirus)	Febre Amarela	Aedes Aegypti*
Arbovirus (Flavivírus)	Dengue 1 e 2	Aedes Aegypti e Aedes Albopictus
Helmino nematóide	Filariose bancrofti	Aedes, Anopheles*, Culex*
Leishmania (Viannia), Leishmania (Leishmania)	Leishmanioses	Flebótomos*
Plasmodium (vivax, malariae, falciparum)	Malária	Anopheles

Fonte : Veronese R. ; Foccacia R. (1996) e Possas C. (1989).

\* mosquitos

<sup>3</sup> Observa-se que algumas doenças como a Salmonelose, Tuberculose, Disenteria, Amebíase, Infecção por Estafilococo e Estreptoco, Febre Tifóide, etc. podem ser adquiridas pela associação dos resíduos hospitalares com o ambiente.

A proliferação dos macrovetores também é um aspecto importante a ser considerado especialmente do ponto de vista epidemiológico. Os lixões<sup>4</sup> reúnem as condições ideais de proliferação dos macrovetores, especialmente roedores, baratas, moscas e mosquitos.

É do ponto de vista epidemiológico que a relação lixo-vetor-doença ganha especial atenção. O lixo se torna um problema sanitário exatamente porque se torna o habitat natural (nas cidades) para a proliferação dos vetores. Em particular dos macrovetores que entram em contato direto com o homem.

Além da proliferação de vetores e das doenças por eles transmitidas, outros efeitos externos podem ser associados ao lixo: a) poluição bioquímica, associada principalmente a lixiviação do chorume (líquido percolado)<sup>5</sup>. Isto ocorre porque a dissolução do chorume nas águas aumenta a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), levando à extinção dos organismos aeróbios e a proliferação dos organismos anaeróbios, responsáveis pelos desprendimento de gases como:  $\text{CH}_4$  e o  $\text{NH}_3$ , sendo este último tóxico para a maioria das formas de vida. (Queiroz Lima, 1995) - A contaminação provocada pelo chorume se dá pela forma hídrica, através de sua infiltração no lençol freático, ou pela lixiviação decorrente das águas das chuvas, outras formas de poluição hídrica ocorrem através da contaminação da água por metais pesados presentes no lixo; b) poluição atmosférica decorrente da queima do lixo a céu aberto e mesmo em incineradores; c) poluição visual; d) mau odor; e) assoreamento e deslizamento de taludes; f) degradação do espaço urbano; g) desvalorização imobiliária.

<sup>4</sup> Designa-se de lixão ou vazadouro a forma de disposição dos resíduos a céu aberto, sem qualquer tipo de tratamento como a cobertura e compactação.

<sup>5</sup> O chorume é um líquido de cor negra que é próprio da matéria orgânica em decomposição. Sua origem no lixo é basicamente decorrente da ação de enzimas produzidas por bactérias durante a decomposição aeróbia da matéria orgânica e ainda dos líquidos de materiais em decomposição. (Queiroz, 1996)

Observe-se também que pelas características físico-químicas e biológicas dos componentes do lixo, especialmente dos metais, outros riscos potenciais de contaminação podem ocorrer, conforme visto no Quadro 1.2 a seguir :

**QUADRO 1.2: EFEITOS NOCIVOS CAUSADOS AO HOMEM POR ALGUNS TIPOS DE METAIS PESADOS**

<b>Metais</b>	<b>Onde é encontrado</b>	<b>Efeitos</b>
<b>Mercúrio</b>	equipamentos e aparelhos elétricos de medição; produtos farmacêuticos; lâmpadas de neon, fluorescentes, e de arco de mercúrio; interruptores; baterias e pilhas; tintas; amaciantes; anti-septicos; fungicidas; termômetros.	distúrbios renais  distúrbios neurológicos efeitos mutagênicos  alterações no metabolismo; deficiência nos órgãos sensoriais
<b>Cádmio</b>	Baterias e pilhas; plásticos; ligas metálicas; pigmentos; papéis; resíduos de galvanoplastia.	dores reumáticas e miálgicas;  distúrbios metabólicos levando a osteoporose; disfunção renal;
<b>Chumbo</b>	Tintas; impermeabilizantes; anticorrosivos; cerâmica; vidro; plásticos; inseticidas; embalagens; pilhas.	perda de memória; dor de cabeça; irritabilidade; tremores musculares; lentidão de raciocínio; alucinação; anemia; depressão; paralisia.

Fonte : CEMPRE - Manual de Gerenciamento Integrado, 1995

### I.3 - Princípios Básicos do Gerenciamento Sanitário e Ambiental.

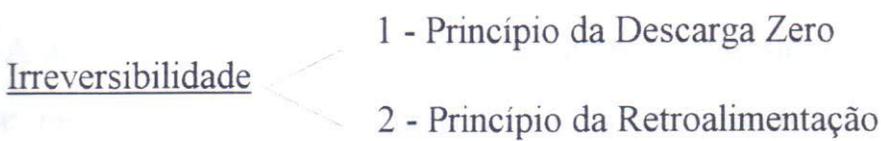
Além das propriedades físico-químicas, os resíduos possuem ainda três características básicas : i) irreversibilidade; ii) heterogeneidade; iii) anisotropia. Destas características, sete princípios decorrem quanto da aplicação dos instrumentos de gerenciamento sanitário e ambiental : 1) o princípio da descarga zero; 2) o princípio da retroalimentação; 3) o princípio da tratabilidade; 4) o princípio da integridade; 5) o princípio do potencial impactante; 6) o princípio da poluição em cadeia; 7) o princípio do descarte (Silveira, 1996).

#### I.3.1 - Irreversibilidade :

É característica intrínseca dos sistemas produtivos, uma constante transformação de *inputs* (matéria-prima e energia) em *outputs* (produtos). Nas operações produtivas porém, ocorre sempre uma perda, uma parte que é descartada, por mais eficiente que seja o sistema adotado. Na realidade como bem observou Georgescu Roegen (1980), quando a atividade econômica é vista sob as leis da termodinâmica, “a produção é sempre um processo de conversão de energia de um estado de baixa entropia para um estado de alta entropia”<sup>6</sup>. Assim no processo produtivo ainda que se possa atingir um nível de eficiência máxima, em termos de aproveitamento dos insumos produtivos (*inputs*), haverá sempre energia em degradação, ou mesmo dissipada durante o processo de transformação na atividade produtiva.

<sup>6</sup> De uma maneira mais simples pode-se entender entropia como desordem ou confusão, no sentido de dissipação de energia e, portanto, da possibilidade de seu uso na geração de calor e trabalho que possam ter fins produtivos.

Dessa característica dois princípios derivam : o princípio da descarga zero, onde busca-se a otimização do processo produtivo, através do aumento da eficiência na utilização dos insumos produtivos e o princípio da retroalimentação, onde as perdas (a parcela que é descartada) nas diversas unidades produtivas, são novamente utilizadas como matéria-prima (*inputs*) . Aqui aparece a noção da reciclagem, isto é, a reutilização do material como matéria-prima para a fabricação de novos produtos, ou novas unidades no mesmo processo.

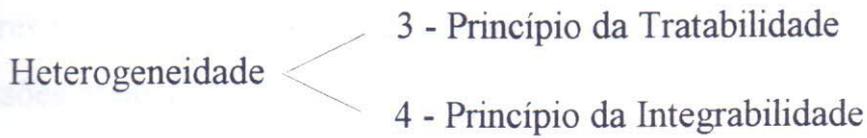


### **I.3.2 - Heterogeneidade :**

A heterogeneidade dos resíduos é resultado da diversidade de matérias-primas (*inputs*) utilizados no processo produtivo, além do que dependendo da origem do lixo gerado, haverá uma diferente composição gravimétrica, isto é, com características próprias.

Das característica de heterogeneidade dos resíduos, decorre o princípio da tratabilidade. Este define uma especificidade no tratamento, para cada fração do resíduo, dependendo da sua composição físico-química e do objetivo sob o qual o tratamento se sustenta. Mas se da natureza heterogênea do lixo derivam soluções heterogêneas de tratamento, a ação diretiva deve buscar integrá-las entre si, dando origem a um novo princípio de ação, o princípio da integrabilidade. Por este princípio, as especificidades devem ser respeitadas, porém o gerenciamento deve buscar uma ação conjunta, integrada

em um funcionamento harmônico, onde as partes se complementam, de uma maneira lógica e funcional (Silveira, 1996).



### I.3.3 - Anisotropia :

A anisotropia é uma característica inerente aos resíduos sólidos, pois estes se incluem entre as substâncias que reagem de maneira diferente, quando da ação de um determinado fenômeno. Por essa característica adotar “medidas-padrão” de ação (incluindo o tratamento), esbarra em maiores possibilidades de risco , em virtude de uma certa aleatoriedade do comportamento dos resíduos frente as ações de tratamento.

A característica da anisotropia conecta um outro princípio de ação, extremamente importante, do ponto de vista da extensão das externalidades geradas pelo gerenciamento dos resíduos sólidos : o princípio do potencial impactante. Este princípio está ligado à multiplicidade de efeitos deletérios e não previsíveis dos resíduos sólidos, enquanto potencialmente poluidores ao meio ambiente e por sua vez ao próprio homem.

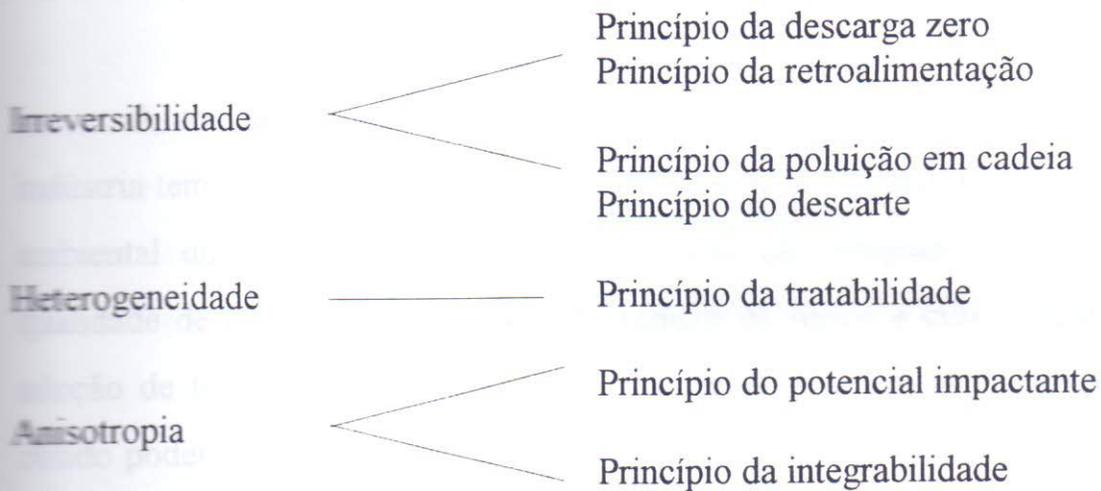
Dois princípios de ação devem ainda ser considerados no gerenciamento dos resíduos sólidos: o princípio da poluição em cadeia e o princípio do descarte. O primeiro princípio está intimamente ligado à

característica da irreversibilidade e do princípio da tratabilidade. Este estabelece que mesmo usando os métodos de tratamento mais eficientes para cada fração do lixo, ainda assim haverá descarte. Isto quer dizer que sempre haverá resíduos seja na forma de efluentes líquidos, novos resíduos sólidos, ou emissões atmosféricas.

Pelo que foi dito, qualquer que seja o processo de tratamento dos resíduos utilizado, os subprodutos desses processos têm que ter um potencial menos poluidor ou inertes ao meio ambiente e ao homem, do contrário ter-se-ia um cenário de poluição em cadeia, com efeitos degenerativos ao meio ambiente piores que os efeitos que seriam causados caso os resíduos não sofressem qualquer forma de tratamento.

O princípio do descarte, está intimamente relacionado aos elementos anteriores, sobretudo, com respeito a característica da heterogeneidade. Assim busca-se dar aos subprodutos gerados a disposição mais adequada do ponto de vista ambiental. Todavia, a heterogeneidade é uma característica dinâmica do lixo, e cada vez mais ocorre a introdução de substâncias sintéticas e artificiais que são menos biodegradáveis (em condições naturais). Daí, alguns resíduos precisarem de soluções tecnológicas ainda não disponíveis, pelo menos em larga escala, ou efetivas em termos de custos, de modo que recebam algum tipo de disposição final (não definitiva), a espera da solução mais adequada.

A conexão entre as características dos resíduos sólidos e os princípios diretivos para aplicação dos instrumentos de gestão, são mostrados a seguir :



As linhas de ação da gestão dos resíduos sólidos são o resultado da combinação destes princípios e podem ser resumidos em quatro vertentes : minimização na fonte de origem, a reciclagem, a reutilização, o tratamento e disposição dos resíduos gerados, as quais são discutidas a seguir.

## **I.4 - Linhas de Ação na Gestão dos Resíduos Sólidos :**

### **I.4.1 - Minimização na Fonte de Origem :**

Minimizar a geração de resíduos na fonte significa adotar técnicas que permitam tanto a redução do volume gerado, como a toxicidade desses resíduos nas unidades de geração. Do ponto de vista econômico, torna-se significativo buscar o maior grau de eficiência dentro das unidades produtivas, otimizando o uso dos insumos produtivos e diminuindo as externalidades ambientais geradas e seus efeitos nocivos. Dentro das unidades produtivas o objetivo então seria o de diminuir o desperdício na produção, através de medidas que

atuassem diretamente sobre os processos usados, bem como em relação aos materiais utilizados nesses processos. Vale ressaltar que essas medidas podem tanto ser de caráter técnico como de caráter organizacional.

A adoção de medidas que permitem a diminuição dos resíduos na indústria tem duas motivações básicas : a) atender as exigências da legislação ambiental que regula a geração e disposição de efluentes, bem como a qualidade de produtos e processos; b) reduzir os riscos e custos através da adoção de tecnologias limpas. Alguns dos benefícios que as empresas têm obtido podem ser listados a seguir : redução de custos com matérias-primas; redução de custos com energia; melhoria da qualidade do produto; melhoria da produtividade; diminuição do tempo morto; redução dos riscos da saúde da mão-de-obra; redução dos riscos ambientais; melhoria da imagem pública da empresa, especialmente quanto à demanda crescente de consumidores verdes<sup>7</sup>.

Um programa de minimização na geração de resíduos na fonte atinge três estratégias dentro dos processos utilizados pela empresa :

- 1) Alterações dos materiais utilizados (*inputs*);
- 2) Alterações Tecnológicas;
- 3) Alterações de procedimentos/práticas operacionais.

1) *Alterações dos Materiais Utilizados (Inputs) :*

Essa estratégia é definida de acordo com o tipo de processamento envolvido, especialmente quanto a flexibilidade dos equipamentos utilizados.

---

<sup>7</sup> Denominação dada aos consumidores com preocupações ecológicas e cujas preferências voltam-se aos produtos "ecologicamente corretos".

Como exemplo, pode-se citar a substituição de metais tóxicos, como mercúrio, cádmio e chumbo, por outras substâncias menos tóxicas, ou ainda a substituição de compostos halogenados por outros não halogenados.

Também em algumas indústrias é possível se alcançar um menor índice de geração de resíduos através da utilização de materiais com maior grau de pureza ou pela substituição de materiais auxiliares potencialmente menos tóxicos ou biodegradáveis. É o caso por exemplo da indústria de mineração.

## 2) Alterações Tecnológicas :

As tecnologias baseadas em processos limpos constituem o grande eixo de mudança interna da empresa visando atender às exigências de minimização de rejeitos. Elas podem consistir em mudanças nos processos propriamente ditos, no layout dos equipamentos e tubulações, nas condições operacionais, na redução do consumo de água, energia, etc. Algumas dessas mudanças, já implantadas em algumas indústrias são : a) substituição de processos químicos por processos mecânicos; b) substituição de tratamentos ácidos e alcalinos por processos mecânicos; c) Instalação de tecnologias avançadas como ultrafiltração, osmose reversa, eletrodialise com objetivo de desagregar os componentes dos efluentes e retorná-los ao processo; d) Instalação de tecnologias desenvolvidas pelas próprias empresas geradoras para redução de resíduos, implicando em inovação tecnológica ou novos produtos objeto de patente pelas mesmas.

### 3) *Mudanças de Procedimentos* :

As mudanças de procedimentos são tanto organizacionais como administrativas, através de práticas que permitam o maior controle e monitoramento na utilização dos processos e, conseqüentemente, na geração dos resíduos. Estes procedimentos implicam, por exemplo, no treinamento de pessoal, melhoria no manuseio dos materiais; medidas de prevenção de derramamento e vazamento; manutenção preventiva; monitoramento dos índices de poluição; segregação dos resíduos perigosos e não perigosos.

Vale ressaltar que o programa de minimização de geração de rejeitos dentro da empresa deve, do ponto de vista econômico, ser utilizado até o ponto em que os benefícios marginais se igualem aos custos marginais da adoção de tal política.

#### **I.4.2 - Redução e Reutilização:**

A redução pode ser, também, encarada como uma resultante da estratégia de minimização de resíduos. Seu objetivo é permitir que produtos com a mesma finalidade possam ser produzidos com uma menor quantidade de material incorporado aos mesmos. Tal possibilidade também está assentada no desenvolvimento de tecnologias que permitam a criação de substitutos próximos. Como exemplo pode-se citar a indústria vidreira que está produzindo recipientes de vidro com as mesmas características de durabilidade e resistência, com menor uso de matérias-primas.

A redução também pode ser vista da quantidade gerada de produtos potencialmente não bio-degradáveis, através do maior aproveitamento dos mesmos. Por exemplo, ao invés de se produzirem grande quantidade de potes e garrações com menores volumes de capacidade, produz-se, como medida-padrão unidades com maior capacidade.

O Quadro 1.3 a seguir ilustra algumas medidas que vão significar a redução na geração de resíduos.

**QUADRO 1.3 : MEDIDAS TOMADAS QUE SIGNIFICAM A REDUÇÃO NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS :**

Produtos	Medidas
Papéis	diminuição do tamanho das folhas; cópias em ambos os lados do papel.
Papelão	redução no peso.
Plástico Rígido	diminuição do peso; produção de plástico mais durável e de melhor qualidade que aumenta a reutilização das embalagens.
Latas de aço	diminuição do estanho utilizado.
Latas de Alumínio	diminuição da espessura dos recipientes.
Vidro	Utilização de garrações de maior capacidade no lugar de recipientes menores; fabricação de garrafas mais leves com a mesma resistência.

Fonte : Informativos CEMPRE.

A reutilização, por sua vez, como o próprio nome evidencia, implica em dar um novo uso a alguns materiais (com mesma forma), como aqueles que servem como recipientes antes de descartá-los. Assim por exemplo, na indústria de cerveja e refrigerantes são utilizadas garrafas retornáveis. Também vários recipientes de produtos (especialmente de vidro) após consumidos, são reutilizados em outros fins.

A reutilização também pode ser pensada em termos de um “mercado de segunda-mão” (Bower, 1995), onde toda sorte de bens pode ser reutilizado, como por exemplo, roupas, móveis, utensílios domésticos, etc.

### **I.4.3 - Reciclagem :**

No sentido mais simples reciclagem significa simplesmente reintroduzir, como matéria-prima, o descarte de antigos produtos para dar origem a novos, no processo produtivo. Assim, os materiais descartados tornam-se *inputs* para outras atividades produtivas ou mesmo podem ser utilizados no mesmo processo de produção

Admitindo que a reciclagem implica em algum tipo de beneficiamento, esta pode ser classificada em dois tipos : a) a reciclagem ocorre através de operações simples, que não implicam em modificações físicas, químicas ou biológicas dos materiais; b) a reciclagem ocorre através de modificação da composição física, química ou biológica dos materiais, dando origem, inclusive, a novos produtos, diferentes daqueles formados pela matéria-prima original.

Assim, dois benefícios são imediatos : em primeiro lugar, a economia de inputs (energia e materiais); em segundo lugar, dar valor econômico a produtos que não tinham valor para seu consumidor original; Por extensão dois outros benefícios podem ser auferidos; a diminuição dos resíduos gerados e, por conseguinte, a necessidade de dar uma destinação final a estes, reduzindo a quantidade de aterros necessários para a disposição.

A reciclagem, também, representa uma solução bastante significativa para o problema dos resíduos sólidos na indústria. De fato, quando a equação relacionada aos custos de recuperação for menor que os custos de transporte, tratamento e disposição, a reciclagem torna-se bastante atrativa.

Há que se distinguir, entretanto, dois tipos de empresas que utilizam materiais reciclados. Aquela que faz a reutilização do rejeito dentro do próprio processo, fazendo antes a recuperação do material (remoção das impurezas); e outra que compra “produtos” reciclados, fazendo, entretanto, também o tratamento adequado para gerar produtos com materiais reciclados economicamente competitivos<sup>8</sup>.

Os principais produtos recicláveis e os processos de reciclagem utilizados são apresentados no Quadro 1.4 a seguir.

---

<sup>8</sup> As técnicas de tratamento compreendem a separação química, física e eletroquímica, dependendo, obviamente, do material reciclado usado como matéria-prima.

**QUADRO 1.4 : PRINCIPAIS MATERIAIS RECICLÁVEIS E PROCESSOS DE RECICLAGEM UTILIZADOS :**

Material	Especificação	Processo de Reciclagem	Reutilização	Observação
Vidro	incolor ambar verde	o vidro é 100% reciclável. Quando transformado é fundido a temperatura bem inferior a aquela necessária a fusão das matérias-primas	embalagens de alimentos e de bebidas; vidraçaria; ornamentação.	A utilização do caco de vidro como matéria-prima se faz sem perdas : 1ton de vidro refundido gera 1 ton de vidro novo
Plástico	termoplástico polietileno PET Polipropileno PVC Termofixos.	1-estocagem dos fardos coletados;2-desinteração dos fardos; 3-lavagem e retirada das impurezas metálicas e inorgânicas; 4-moagem e separação por hidrocentrifugação; 5-secagem e embalagem.	Embalagens de alimentos; artigos para o lar; sacarias; brinquedos	No Brasil não existe um sistema de padronização obrigatória das embalagens plásticas.
Papel	Branco Krafi Cariolina Ondulado Misto.	1- desagregação da pasta celulósica;2-limpeza e depuração da massa obtida; 3-refinação da massa; 4-formação da folha de papel; 5-secagem da folha de papel.	Jornais; revistas cadernos embalagens envelopes formulários.	cada tonelada de papel reciclado evita o corte de 25 a 30 eucalipitos com 3 anos de idade, ou uma área plantada de 100 a 350 m <sup>2</sup> .
Metal	alumínio cobre ferro.	1- no aproveitamento de latas, o latão é inicialmente compactado e processado com a eliminação de tintas e vernizes com a fusão do latão. Haverá um novo lingote que será enviado a empresa produtora do lingote.	latas chapas placas móveis.	Dentre os materiais recicláveis, o alumínio é que possui o maior valor de revenda. A economia de energia no reprocessamento do alumínio é de 95%.

Fonte : Amazonas; Goundour; Castro, apud Queiroz Lima, 1995.

#### **I.4.4 - Tratamento e Disposição dos Resíduos Sólidos :**

A quarta linha de ação consiste em dar um tratamento e destino final ao lixo de acordo com suas particularidades, sua origem e composição físico-química. Por essa matéria ser objeto específico do estudo em questão, será dedicado um capítulo à parte aos métodos de tratamento, voltando-se para aqueles que são aplicados no país.

Com o

na, segundo  
do volume de  
mensagem ou  
combustão criativa  
volume do lixo  
maiores, de  
De como de  
utilizados recor

Quar

compostagem  
Cierpostage

II.1 - Vir

O An

ma os re

## CAPÍTULO II

### Tratamento e Disposição de Resíduos Urbanos no Brasil

Existem vários métodos de tratamento e disposição dos resíduos sólidos, particularmente com relação àqueles considerados perigosos (*hazardous residues*). Para cada método de tratamento utilizado, é dada uma disposição adequada e, em alguns casos, o método de tratamento é o próprio meio de destinação final do lixo.

Com relação a cada técnica de tratamento utilizada, pode-se agrupá-las, segundo seu princípio básico, em quatro categorias: a) redução mecânica do volume do lixo, utilizando-se equipamentos de compactação, trituração, prensagem ou enfardamento; b) redução térmica do volume do lixo, através da combustão controlada, geralmente, em incineradores; c) redução biológica do volume do lixo, através da ação controlada de microorganismos aeróbios ou anaeróbios; d) redução química, mediante a utilização de processos químicos. Do ponto de vista operacional, entretanto, observa-se que os métodos utilizados recorrem a mais de um princípio de tratamento.

Quanto aos resíduos sólidos municipais, três são os métodos comumente usados no Brasil : o Aterro Sanitário, a Usina de Reciclagem e Compostagem, e a Incineração.

#### II.1 - Aterro Sanitário:

O Aterro Sanitário é classificado como um método de disposição, onde os resíduos são depositados no solo, seguindo um conjunto de

especificações técnicas, aos quais asseguram a integridade tanto do ponto de vista sanitário, quanto ambiental.

Tecnicamente, o aterro sanitário consiste no aterramento dos resíduos, em unidades chamadas células, onde o lixo deve ser confinado, após ser compactado e coberto. Além desses procedimentos, que minimizam a produção de odores e a proliferação de vetores, outras medidas são também adotadas no sentido de controlar os líquidos e gases produzidos pela decomposição do lixo<sup>9</sup>.

### II.1.1 - Operações Básicas de um Aterro Sanitário :

A utilização de um aterro sanitário segue uma seqüência planejada de operações realizadas diariamente, assim definidas: a) descarregar, de maneira controlada, os resíduos, na superfície do terreno ; b) amontoar os resíduos, com o uso de um trator de esteiras; c) compactar os resíduos em camadas sobrepostas de aproximadamente 0,40 m, formando células de 3,0 m de altura e taludes laterais de 1m (Vertical) e 3m (Horizontal); d) ao final de cada jornada de trabalho, cobrir os resíduos com material adequado<sup>10</sup>, com espessura variando proporcionalmente com o material utilizado; e) realizar nova compactação (SESAN, 1994). Estas operações e mesmo a construção de um novo aterro sanitário devem observar os princípios listados a seguir:

a) garantir que não haja contaminação do lençol freático pela infiltração do líquido percolado no solo. Assim, recomenda-se

<sup>9</sup> Exatamente por se adotarem princípios e técnicas que eliminam ou atenuam os efeitos ambientais causados pelos resíduos, é que o aterro se torna um meio de tratamento. E, enquanto um meio de tratamento, esta fundamentado no processo de digestão aeróbia e mesmo anaeróbia, dependendo da introdução de ar nas células.

<sup>10</sup> Em geral, é utilizado areia grossa ou brita.

estabelecer uma altura bastante segura entre a parte inferior do terreno e o nível mais alto do lençol freático, sendo esta fixada em 2,5 metros. Quando esta espessura for menor que 2,5 metros, recomenda-se a impermeabilização com argila (CETESB, 1979). Também é importante o grau de impermeabilidade do solo, onde serão lançados os resíduos, recomendando-se um nível de permeabilidade nunca inferior a  $10^{-5}$  centímetros/segundo, o que garante um maior tempo até que o resíduo atinja o lençol freático;

b) garantir uma compactação adequada, geralmente, em camadas de 0,5 m. Uma boa compactação diminui os riscos de erosão, de incêndio, e lixiviação dos líquidos produzidos durante a decomposição, pelas águas das chuvas, fato que prolonga a vida útil do terreno.

c) utilizar um material de cobertura que, ao mesmo tempo, tenha uma elevada capacidade de absorção de contaminantes, e baixa permeabilidade. Desse modo se minimiza a geração de maus odores, reduz-se a entrada de águas pluviais, previne-se a proliferação de vetores e evita-se os incêndios provocados pelos desprendimentos de gases.

d) garantir o controle e drenagem dos percolados e gases. Para tanto se constrói um sistema de drenagem constituído por canaletas de concreto armado, assentadas sobre um berço de brita espalhadas manualmente. No encontro de dois ou mais dutos de líquidos percolados, a partir desse ponto, é construída uma caixa de ligação, de onde parte um dreno vertical para a emanção dos gases. Drenos

menores (tubos de concreto) também podem ser construídos para facilitar a coleta e veiculação do líquido percolado<sup>11</sup>.

e) poder reutilizar o terreno após esgotada sua vida útil, para outros fins como áreas de lazer, estacionamentos, área de cultivo, entre outros fins.

É importante para eficiência operacional do aterro que todos os parâmetros aqui analisados sejam objeto de um constante monitoramento.

## **II.1.2 - Metodologia para Implantação de um Aterro Sanitário :**

Enquanto projeto de engenharia, a implantação de um Aterro Sanitário engloba um conjunto de estudos que vão desde o levantamento das informações preliminares, do ponto de vista edafo-climáticos, para a escolha do terreno, até aos estudos referentes à construção e operação do aterro.

Segundo Queiroz Lima (1995), a seqüência de etapas que constituem a implantação de um aterro sanitário são : I) levantamentos básicos; II) estudos e projetos; III) plano de execução do aterro sanitário.

I) Levantamentos básicos : incluem as informações da população geradora do lixo; seleção do terreno; regime pluviométrico; levantamento geotécnico; e levantamento topográfico.

---

<sup>11</sup> O Sistema de drenos deve canalizar os líquidos percolados para uma Estação de Tratamento, no qual o Chorume será transformado em um material inerte.

As informações sobre a população compreendem : tamanho da população, taxa de crescimento demográfico, geração de lixo per capita, e tipologia do lixo coletado.

A seleção do terreno deve levar em consideração as vias de acesso e a localização, de preferência guardando uma certa distância dos núcleos urbanos.

O levantamento geotécnico é necessário para o conhecimento do perfil do solo e subsolo, no que tange a sua constituição, permeabilidade, capacidade de carga, nível do lençol freático e localização de terrenos com materiais que possam servir de cobertura (Queiroz Lima, 1995).

II) Estudos e Projetos : a parte relativa aos estudos e projetos engloba, entre outros, os seguintes pontos : a) estudo de viabilidade técnica e econômica; b) Lay Out das partes que comporão o aterro; c) Estudo de Impacto Ambiental e Respectivo Relatório de Impacto Ambiental EIA-RIMA; d) projeto básico das edificações; e) memorial técnico contendo aspectos como - vida útil do aterro, sistema de drenagem superficial e do percolado, sistema de tratamento do percolado; especificação da mão-de-obra e equipamentos; cronograma de execução e previsão dos custos operacionais.

III) Plano de execução do Aterro Sanitário : diz respeito a execução dos investimentos fixos de capital, nos prazos determinados pelo cronograma físico de execução, definido na fase anterior.

### **II.1.3 - Métodos de Aterramento :**

Segundo as condições hidrológicas e topográficas, pode-se usar três diferentes técnicas ou métodos de operação, quais sejam :

1) Método da Área: indicado para áreas baixas, onde o aterramento é executado, sobre o terreno, em células superpostas (Silva Pinto, 1979).

2) Método da Trincheira : indicado para áreas planas, onde o aterramento é feito através da abertura de valas ou trincheiras, com o uso do material removido no próprio terreno.

3) Método da Rampa : constituído aproveitando o relevo do terreno, aproveitando-se o talude ou contenção existente. O material para cobertura também deve ser escavado e compactado no próprio terreno.

### **II.1.4 - Benefícios de um Aterro Sanitário :**

Os benefícios de um Aterro Sanitário são aqueles decorrentes da minimização ou eliminação das externalidades ambientais e sanitárias, ligadas a má disposição dos resíduos sólidos e seus efeitos indiretos sobre a saúde humana.

### **II.2 - Usinas de Reciclagem e Compostagem:**

As Usinas de Compostagem e Reciclagem constituem-se em unidades de operação com um certo grau de mecanização, que têm como finalidade

realizar duas tarefas significativas: a) a reciclagem da matéria orgânica que compõe o lixo e b) a realização da triagem de materiais inertes potencialmente recicláveis.

### II.2.1 - Reciclagem da Matéria Orgânica :

Toda massa constituída de matéria orgânica no lixo, seja de origem animal ou vegetal pode dar origem a um composto orgânico, com características de humus, material considerado excelente condicionador de solos, melhorando suas propriedades físico-químicas. O processo responsável por essa transformação é denominado de compostagem. Esta é o resultado da decomposição da matéria orgânica por meio de estabilização microbiológica, onde, na ausência ou disponibilidade de oxigênio, atuam microorganismos aeróbios e/ou anaeróbios.

- *Decomposição Aeróbia :*

O Processo de decomposição aeróbia ocorre quando a transformação da matéria orgânica se realiza na presença de oxigênio, na massa do lixo, seja como resultado do revolvimento periódico do material, seja por insuflação de ar, ou mesmo através dos dois métodos (Silva Pinto, 1979).

O processo final até se chegar ao composto passa por duas fases distintas: na primeira ocorrem intensas reações bioquímicas de oxidação, com grande liberação de calor e elevação da temperatura. Esta fase termina ao ser alcançado o estado de bioestabilização. A segunda compreende um longo período de maturação, no qual a massa em fermentação atinge a humificação,

isto é, um material do tipo humus, que reúne as características de adubo. À transformação total do composto em humus é dada o nome de processo de cura.

A primeira fase, dependendo do tipo do material a ser compostado e do processo utilizado, tem duração de 25 a 35 dias, enquanto que a segunda requer um período de 30 a 60 dias (Pereira Neto, apud Galvão Junior, 1994).

- *Decomposição Anaeróbia :*

No caso da decomposição anaeróbia, a transformação da matéria orgânica ocorre na ausência de oxigênio. Assim, a decomposição ocorre pela ação de organismos anaeróbios que metabolizam os nutrientes, por um processo de redução lenta, usualmente acompanhada de desprendimento de odores desagradáveis gás sulfídrico ( $H_2S$ ) e enxofre (Silva Pinto, 1979).

Observa-se que no processo de decomposição anaeróbio, realizado de forma industrial, é requerido o confinamento do lixo em celas metálicas ou de concreto, para que seja minimizada a entrada de oxigênio na massa em decomposição. Pode-se, também, utilizar processos químicos para acelerar a redução do oxigênio nas celas, para que tenha início o processo de redução anaeróbia. Vale ressaltar que uma das características marcantes do processo anaeróbio é a geração de um subproduto do processo de compostagem, o metano ( $CH_4$ ), formado através da ação de bactérias metanogênicas que se desenvolvem em ambientes livres de oxigênio (Silva Pinto, 1979).

De forma mais analítica, a decomposição aeróbia pode ser encarada como um processo de combustão lenta, realizado pela ação de microorganismos aeróbios, que ao se reproduzirem no material orgânico, põem em curso o processo de decomposição. A decomposição aeróbia transforma as substâncias orgânicas em outros compostos, na presença de oxigênio, assim, por exemplo: o carbono dos hidrocarbonetos assume a forma de gás carbônico, o hidrogênio dessas mesmas substâncias se transforma em água, o azoto em ácido nítrico e o enxofre em ácido sulfúrico (Silva Pinto, 1979).

Para que a decomposição ocorra de maneira adequada e de forma acelerada, alguns procedimentos adicionais devem ser tomados :

- a) que existam condições favoráveis para um bom arejamento da massa, visto que a velocidade de decomposição está diretamente relacionada à abundância do oxigênio (Silva Pinto, 1979);
- b) que se mantenha a temperatura elevada por um certo período de tempo, objetivando eliminar os organismos patogênicos, observando, entretanto, que não se eleve muito a temperatura vez que poderá destruir os microorganismos responsáveis pela decomposição;
- c) que se mantenha um teor de umidade entre 40 e 60% da massa do lixo, condição indispensável para a digestão microbiana.

## **II.2.2 - Aspectos Operacionais do Processo de Compostagem :**

O processo de compostagem e, por seu turno, a qualidade do composto estão diretamente ligados às propriedades químicas do lixo que,

juntamente com outros fatores ambientais, levarão ao processo de estabilização microbiana.

As propriedades químicas do lixo derivam dos elementos nutricionais que serão utilizados pelos microorganismos no processo de decomposição da massa orgânica, o qual opera como fonte de energia para sua reprodução, manutenção da estrutura e organização celular (Golueke apud Galvão Júnior, 1994).

Os fatores ambientais, como umidade, temperatura e aeração, são necessários para que a decomposição microbiana ocorra. São os fatores ambientais que podem ser controlados pelo homem e, a depender do processo utilizado para tal, vão originar uma variante do sistema de compostagem convencional.

A influência dos fatores citados (nutricionais e ambientais) pode ser avaliada em termos dos parâmetros assim definidos: Parâmetros nutricionais - nível de carbono, de nitrogênio, relação carbono-nitrogênio; Parâmetros ambientais - temperatura, umidade, e aeração.

Quando • *Parâmetros Nutricionais* :

Nível de Carbono ( C ) - essa medida é importante, uma vez que esse elemento é usado pelos microorganismos como fonte de energia, sendo parte integrante das estruturas celulares (Golueke & Diaz apud Galvão Júnior, 1994). O carbono é encontrado, em grande quantidade, na massa orgânica em decomposição, como nas sobras de alimento, papéis e refugos oriundos de

limpeza de jardins - celulose e lignina - cujas moléculas são mais resistentes ao ataque microbiológico.

Ressalta-se que parte da massa e da geração de calor, características do processo de compostagem, devem-se à oxidação do carbono que gera o dióxido de carbono (Galvão Júnior, 1994).

Nível de Nitrogênio (N) - a presença de nitrogênio é indispensável para a constituição celular dos microorganismos presentes na compostagem e seu metabolismo leva ao desenvolvimento desses microorganismos. O nitrogênio é encontrado em materiais provenientes da limpeza de jardins, quintais, restos de alimentos e da excreção animal.

Relação C/N - o equilíbrio entre os macronutrientes é representado pela relação C/N, da qual depende o próprio sucesso da compostagem. A relação C/N deve ser mantida em nível adequado para que se complete a degradação total da massa orgânica. Caso a relação C/N seja muito baixa, a aplicação agrícola de um composto que não tenha sido degradado completamente, fará com que o nitrogênio disponível no solo seja absorvido pelo composto aplicado, até que seu processo de decomposição se estabilize. Quando a relação C/N é muito alta, a redução do nitrogênio em relação ao carbono determina uma "redução da reprodução e crescimento celular, na proporção da exaustão do nitrogênio (Silva Pinto, 1979 ;Galvão Júnior, 1994).

- *Parâmetros Ambientais :*

## Temperatura:

Na primeira fase do processo de compostagem, as leiras podem registrar de 40 a 60° C, temperatura esta suficientemente alta para destruir os organismos patogênicos, bem como, satisfatória à manutenção do equilíbrio no ecossistema dos microorganismos principalmente fungos e bactérias. Caso a temperatura ultrapasse os 60° C, corre-se o risco de eliminação dos microorganismos. A primeira fase se completa exatamente quando a fonte de carbono mais disponível for exaurida, de modo que a temperatura cai para valores entre 35° e 38° C.

## Aeração:

Segundo Galvão Junior (1994) a aeração é importante para o controle de temperatura, aceleração da atividade microbiana e diminuição da emissão de odores. Ressalta-se, entretanto, que a taxa de aeração torna-se excessiva quando ultrapassa a taxa de geração de calor na massa de compostagem, causando esfriamento da mesma ou quando acelera a evaporação, reduzindo a umidade a níveis que inibem a atividade microbiológica (Golueke; Diaz, apud Galvão Júnior, 1994).

A taxa ótima de aeração será a que atender a demanda bioquímica por oxigênio durante as diversas fases do processo de atividade microbiana, o que depende de outros fatores ambientais e operacionais controlados durante esta atividade.

## Nível de Umidade:

A massa orgânica do lixo deve ter um nível de umidade que se situe entre 40 e 70%, para que a atividade microbiana se desenvolva adequadamente. Quando a umidade está abaixo de 40% a atividade microbiana pode ser inibida. Por outro lado quando a umidade ultrapassa a 70%, pode provocar condições de anaerobiose (Lima, apud Galvão Júnior, 1994).

Vale observar que a importância do nível de água na massa de lixo em decomposição, deve-se à própria estrutura celular dos microorganismos - constituída por cerca de 90% de água - , além do que todo nutriente necessário ao metabolismo celular precisa ser dissolvido em água, antes de sua assimilação. Em termos práticos, este é um parâmetro que depende muito das características físicas do lixo a ser compostado e, ainda, da capacidade de aeração do processo utilizado.

Ressalta-se que o tamanho da partícula do material a ser compostado também é um elemento importante quanto aos resultados e tempo de compostagem obtido. De fato, quanto mais fragmentado for o material, menor será o período de compostagem, tornando mais eficaz o controle deste elemento, assim como aumentando a eficiência do processo utilizado.

### **II.2.3 - O Composto<sup>12</sup> :**

<sup>12</sup> A produção do composto orgânico obedece as normas relativas ao assunto, em vigor na Portaria nº 01. 04/03/83, da Secretaria de Fiscalização Agropecuária do Ministério da Agricultura e da Portaria nº 84 29/03/82, do Ministério da Agricultura. Também devem ser obedecidas as seguintes especificações técnicas : a) são admitidas no máximo 2%, em peso, da soma de vidro, outros materiais cerâmicos, pedras, ossos e material metálico, existentes no composto; b) é admitido no máximo 0,5%, em peso, de materiais plásticos, trapos e panos (somados) no composto.

O composto orgânico, resultado do processo de compostagem, tem composição química bastante variável e, por suas características de condicionador do solo, assemelha-se bastante ao húmus. De fato, a principal utilização do composto reside na sua capacidade de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, facilitando a absorção de nutrientes pelas plantas, mas não propriamente como um fertilizante, já que a quantidade existente de nutrientes no lixo é baixa. Em média, no grupo de nutrientes nobres (macronutrientes) as pesquisas têm revelado que as quantidades percentuais de nitrogênio (N), fósforo (P) e Potássio (K) existentes no lixo são baixas, respectivamente 0,9%, 0,6% e 0,4%, para que o composto seja considerado um fertilizante (Silva Pinto, 1979).

Dependendo de sua qualidade, entretanto, a qual está ligado tanto a completa retirada dos materiais inertes indesejáveis, quanto ao tempo do processo de fermentação - tempo de cura -, o composto pode ser aplicado na agricultura com desempenho comparável ao esterco de curral (CEMPRE, 1994).

O composto, após sua estabilização, tem uma coloração escura, baixo teor de umidade, baixa densidade e temperatura e boa granulometria. Além disso, enquanto adubo orgânico, o mesmo não prescinde do fertilizante mineral, já que apresenta um melhor resultado quando associado a este (SESAN, 1994)

A aplicação do composto é indicada para solos argilosos, salinos e alcalinos, em geral, bastante pobres em húmus. Além disso, o composto torna os solos mais friáveis, mais fáceis de trabalhar, melhora sua estrutura, reduz a

erosão, permite melhor aeração das raízes e ainda aumenta a capacidade de reter umidade, mantendo os elementos nutritivos no solo. (Silva Pinto, 1979).

• *Vantagens da Aplicação do Composto :*

- a) retenção da umidade no solo em períodos secos;
- b) prevenção da erosão;
- c) aumento da permeabilidade à água durante o período chuvoso;
- d) melhoria das propriedades biológicas do solo com aperfeiçoamento de sua microestrutura;
- e) algum conteúdo dos nutrientes principais (N, P, K, Mg, Ca);
- f) prevenção da lixiviação do nitrogênio orgânico;
- g) excelente condicionador para qualquer tipo de solo;
- h) aplicação do composto na viticultura, para a prevenção da erosão;
- i) aplicação do composto em culturas que não necessitam de camada protetora de húmus; tais como a horticultura, a fruticultura e a arboricultura;
- j) aplicação do composto em áreas de recreação pública (parques e jardins), assim como em campos de futebol e jardins particulares.

#### **II.2.4 - Sistemas de Compostagem :**

O processo de compostagem ou de “fabricação” do composto é realizado pelo emprego de diferentes tecnologias, integrantes de diferentes sistemas de operação, em geral, mecanizados. A cada tipo ou método é dado o nome de sistema, ou mesmo, como adotado no Brasil, usina.

Saneco De maneira genérica, pode-se dizer que as usinas são centros de triagem e de compostagem dos resíduos sólidos domésticos (principalmente), nas suas frações inorgânicas e orgânicas, respectivamente, operacionalizadas em maior ou menor escala por equipamentos eletro-mecânicos, (Galvão Júnior, 1994).

São inúmeros os sistemas existentes de produção industrial de “composto”, tanto por decomposição aeróbia quanto por decomposição anaeróbia. No Brasil, os sistemas predominantes são : Sistemas Aeróbios : Sistema Dano, Sistema Maqbrit, Sistema Sanecom, Sistema Yok, Sistema Stollmeier e Sistema Triga. Sistema Anaeróbio : Sistema Beccari.

#### **II.2.5 - Etapas do Processo de Compostagem :**

Do ponto de vista operacional, a compostagem realizada em usinas pode ser fracionada em dois processos distintos : um processo de tratamento mecânico e outro de fermentação.

O processo de tratamento mecânico compreende as operações necessárias realizadas para possibilitar uma melhor fermentação, isto é, o processo de compostagem em si. Já o processo de fermentação, compreende a compostagem, enquanto o processo de estabilização microbiológica, onde se cumpre, de maneira controlada, as duas fases já anteriormente descritas, bioestabilização e humificação.

A eficiência operacional do processo depende muito do sistema utilizado em cada usina. Assim, por exemplo, em sistemas como o Maqbrit, o

Sanecom e o Yok a compostagem é realizada ao ar livre, em leiras, no chamado pátio de compostagem. Por outro lado, em Sistemas como o Dano e o Triga, a compostagem é realizada em ambiente fechado, onde mediante o controle artificial dos principais parâmetros que compreendem o ciclo de fermentação é obtida uma aceleração do processo.

Dos vários sistemas industriais, atuando no Brasil, três operações mecânicas são comuns na maioria deles : a recepção do lixo, a catação ou triagem e a trituração ou moagem. Estas operações são destinadas a retirar produtos indesejáveis, homogeneizar e reduzir a massa do lixo, que entrará em processo de decomposição. Além dessas três, o peneiramento seja do lixo não triturado, seja do composto, também é um operação muito comum em vários sistemas.

A recepção do lixo é feita, em geral, através de fossos ou silos, onde o caminhão transportador descarrega o lixo diretamente sobre ele. Na recepção, deve existir ainda balanças para a pesagem da quantidade de lixo recebido, o que permite se conhecer o rendimento em termos do lixo que é transformado em composto.

Os fossos podem ser de chão movediço, instalado no fundo, acompanhada de chapas metálicas, que funcionam como esteiras que arrastam o lixo (CEMPRE, 1994), ou fosso com braço articulado ou ponte rolante, que servem para apanhar o lixo e descarregá-lo no equipamento da operação seguinte. Em alguns sistemas verifica-se, também, a presença de moegas ou tremonhas na recepção, que servem para deslizar o lixo que é despejado.

A catação (triagem) é feita, na maioria dos sistemas, de forma manual, com o uso de esteiras rolantes, com largura e velocidade variando de acordo com o número de catadores em operação (Ribeiro da Luz, 1986). Esta operação é feita em galpões, e o material retirado, por tipo, é depositado em carrinhos móveis, que se direcionam a etapa posterior do processo.

Os trituradores são, em geral, moinhos de martelo e as peneiras variam em função da eficiência requerida. Estas últimas, em geral, são rotativas, de forma circular ou sextavada, com furos em seus corpos, com a finalidade de retirar os componentes de menor dimensão dentre os mais volumosos, que saem pela extremidade oposta à entrada (CEMPRE, 1994).

No caso das usinas com Sistema Dano, a decomposição aeróbia é feita com a utilização de um bioestabilizador, que consiste em uma chapa de aço de até 30m de comprimento, dotada de movimento rotativo de 1 a 12 rpm, onde o lixo permanece sob condições adequadas para a sua decomposição, por um período de quatro a oito dias (Silva Pinto, 1979).

Quanto ao Sistema Triga, a usina compõem-se de higienizadores, que são silos ou torres troncocônicas, onde ocorre a fermentação após o lixo ser triturado.

Vale ressaltar que em regiões com população superior a 300.000 habitantes, deve-se utilizar um processo que acelere o processo de compostagem, como os biodigestores, utilizados, por exemplo, nas usinas com sistema Dano (CEMPRE, 1994).

No que diz respeito aos material triado, este recebe, em geral, algum tipo de beneficiamento, na própria usina, antes de ser enviado ao consumidor. Isto ocorre através do enfardamento ou prensagem, usados para reduzir o volume do lixo e, com isso, diminuir, também, o espaço requerido para a estocagem.

É Importante também assinalar que o rendimento da usina tanto em termos do material reciclado, quanto da qualidade do composto, é substancialmente aumentado com a introdução da coleta seletiva.

#### **II.2.6 - Benefícios da Usina de Reciclagem e Compostagem :**

É possível a divisão de duas classes de benefícios ligados à implantação de Usinas de Reciclagem e Compostagem.

A primeira classe de benefícios está ligada a atividade de reciclagem promovida pela usina, tanto a reciclagem de material orgânico, feita diretamente pela usina, quanto a dos materiais inertes realizada de forma indireta pelas usinas.

Assim as usinas ao promoverem a reciclagem estão gerando benefícios em termos de redução do consumo de matérias-primas e energia (inputs). Decorre daí, também, os benefícios ligados ao aproveitamento do composto do solo, o qual opera como fonte de receita para o empreendimento. De outro ângulo, gera-se benefícios ao produzir um valor econômico a algo destituído de qualquer valor de mercado.

A segunda classe de benefícios, diz respeito aos efeitos diretos e indiretos da própria usina enquanto método de tratamento. Aqui se incluem :

- a) todos os benefícios ambientais e sanitários por se dar um tratamento/destino adequado ao lixo, evitando os efeitos ambientais e sanitários já citados;
- b) os benefícios em termos de vantagens comparativas com relação a outros métodos de tratamento - usina não causa poluição atmosférica ou hídrica, menores custos de operação e transporte do lixo;
- c) geração de empregos diretos, particularmente para os catadores de lixo que vivem em torno dos lixes;
- d) permite a redução do lixo aterrado;
- e) a parcela que é descartada, como rejeito da usina tem um potencial de contaminação menor que os resíduos brutos, resultado do tratamento que recebem, o que diminui o custo por tonelada aterrada. (CEMPRE, 1994).

## II.2.7 - Desvantagens.

No que se refere as desvantagens é importante que sejam enumerados os pontos a seguir :

- a) é um método de disposição parcial, já que, em geral, somente cerca de 30 a 50% do lixo recebido na usina é descartado, requerendo ser complementado, seja por incineração no próprio local (caso das usinas mistas), seja via aterro dos resíduos.
- b) os sistemas que utilizam a cura do composto ao ar livre são fortemente influenciados pela ocorrência de chuvas;
- c) a existência de mercado para o composto é essencial para a viabilização do processo; flutuações excessivas do preço do composto, que quando prolongadas geram problemas de fluxos de caixa para as Usinas. Assim a garantia efetiva de mercado é condição

*sine qua non* para a viabilidade do empreendimento (Silva Pinto, 1979).

### **II.3 - Usina de Incineração :**

Quanto a incineração, viabilizada em área física e instalações denominadas de Usinas de Incineração, sua difusão ainda é bastante restrita no País, a não ser pela existência de unidades de pequena escala utilizadas no tratamento do lixo hospitalar. Por não terem sido obtidas informações suficientes para um análise particularizada deste método de tratamento no Brasil, levou a que esta alternativa fosse abandonada do escopo do trabalho.

Vale, entretanto, fazer algumas observações quanto a eficiência deste método de tratamento, pelo menos com relação as suas vantagens e desvantagens.

#### **II.3.1 - Vantagens da Usina de Incineração :**

- a) grande redução do volume a ser descartado, cerca de 80% do lixo processado, reduzindo assim a necessidade de aterros;
- b) redução do potencial de poluição hídrica provocado pelos resíduos sólidos já que reduz sua disposição em aterros;
- c) minimização da poluição (biológica) potencial provocada pelos resíduos potencialmente perigosos;
- d) possibilidade de recuperação de energia;
- e) operação que independe das condições meteorológicas.

### II.3.2 - Desvantagens da Usina de Incineração :

- a) maiores custos fixos por unidade de inversão, bem como, maiores custos operacionais do empreendimento;
- b) exigência de mão-de-obra qualificada, bem como de manutenção constante;
- c) poluição atmosférica provocada, caso a usina não esteja sendo operada de forma adequada, com danos a saúde do homem e ao meio ambiente. A operação ambientalmente saudável exige a instalação de um sistema de depuração, havendo pois um investimento adicional para a instalação dos equipamentos requeridos.

No caso de um projeto integrado de resíduos sólidos, a incineração é recomendada como o método mais eficiente para os resíduos sólidos de origem hospitalar. Ainda assim, existe uma controvérsia quanto ao uso deste método assentada nos seguintes pontos :

- a) somente cerca de 3% do lixo hospitalar apresenta um potencial poluidor superior àquele de origem doméstica;
- b) os custos de inversão mesmo de um incinerador de escala pequena, são bastantes altos;
- c) Existe uma capacidade ociosa significativa para os incineradores em operação no país;
- d) Como, em geral, estes tipos de incineradores não são equipados com equipamentos de lavagem de gases a poluição gerada gera efeitos ambientais superiores àqueles evitados pela incineração do lixo hospitalar.

Os dois capítulos anteriores tiveram por objetivo demonstrar os aspectos relevantes de natureza sanitária e ambiental que devem ser levados em consideração quanto a decisão econômica da implantação dos métodos de tratamento selecionados. No capítulo seguinte, far-se-á uma análise do serviço de coleta e destinação dos resíduos no país.

## CAPÍTULO III

### Diagnóstico e Fatores Determinantes da Geração, Coleta e Disposição dos Resíduos Sólidos no Brasil.

Os efeitos adversos causados pelos resíduos sólidos e a necessidade de introdução dos métodos de tratamento/disposição para minimizar ou eliminar estes efeitos, prescinde de elementos que possam apontar o quadro da situação da coleta, tratamento e disposição dos resíduos sólidos no Brasil e, ainda quais os fatores que determinam, em primeiro lugar, a quantidade de lixo gerada e em segundo lugar, o índice de cobertura da coleta do lixo, em cada estado.

O resultado acerca das variáveis que determinam o índice de coleta do lixo servirá para apontar quais os fatores que estão relacionados aos déficits na oferta dos serviços de coleta de lixo doméstico no país e, por essa via, dar uma noção da magnitude das externalidades potenciais a serem geradas.

Tal raciocínio se prende ao fato que os moradores de domicílios que não têm seu lixo coletado, depositarão este lixo em locais não apropriados, isto é, fora dos padrões ambientais e sanitários como requeridos pelos métodos de tratamento/disposição apresentados no capítulo anterior.

Desse modo, o déficit na coleta fornece uma dimensão aproximada dos problemas que serão advindos e, portanto, das externalidades potenciais relacionadas ao lixo doméstico.

Do mesmo modo, a estimação das variáveis determinantes do lixo gerado serão elementos para se verificar a evolução da quantidade de lixo que

deveria ser coletada em cada momento, o que confrontado com o nível de atendimento, fornece uma aproximação das externalidades potenciais geradas pelos resíduos sólidos.

### **III.1 - Oferta e Eficácia dos Serviços de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos no Atual Contexto Sócio-econômico.**

Um diagnóstico mais confiável acerca da real situação do problema do lixo urbano no Brasil esbarra numa questão fundamental : a disponibilidade de dados acerca da coleta regular do lixo, que permita estabelecer parâmetros sobre a qualidade e eficiência dos serviços oferecidos. Contudo com base nos dados existentes, é possível traçar um perfil da situação no país, pelo menos em seus aspectos gerais.

Segundo Pereira Neto (1993), o Brasil mantém hoje uma taxa de geração (média) de lixo per capita de 720 gramas/dia, o que equivale a cerca de 100.000 t/dia de lixo a ser coletado. Outros estudos porém apontam que esta taxa deve situar-se em torno de 550 gramas/hab/dia.

No que diz respeito a oferta dos serviços de Coleta de Lixo doméstico no Brasil, o que se observa é uma distribuição desses serviços seguindo a seguinte tendência : a) distribuição espacial irregular, onde se observa dois movimentos : i) distribuição desproporcional dos serviços de coleta segundo as regiões geográficas do país, com as regiões mais pobres registrando os maiores déficits (Serôa da Mota, 1996); ii) concentração dos serviços de coleta nas regiões metropolitanas das capitais dos Estados, havendo um grande déficit desses serviços nos municípios localizados na zona rural, ou com menor densidade demográfica; b) distribuição assimétrica desses serviços, segundo o nível de renda da população, dentro da própria cidade que

oferece este tipo de serviço à população, no qual o nível de acesso ao serviço varia diretamente proporcional com o nível de renda da população.

**TABELA 3.1 - PROPORÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA COM ACESSO AO SERVIÇO DE COLETA DE LIXO (%), SEGUNDO AS REGIÕES E O NÍVEL DE RENDA.**

REGIÕES	NÍVEL DE RENDA	PROPORÇÃO DA POPULAÇÃO COM ACESSO AO SERVIÇO DE COLETA DE LIXO				
		1981	1990	1995	1990-1981	1995-1990
NORTE	0-1 SM	15,7	30,7	36,6	15,0	6,1
	1-2 SM	17,9	33,8	38,3	15,9	4,5
	2-5 SM	27,9	48,5	51,9	20,6	3,4
	> 5 SM	56,5	71,1	75,5	14,6	4,4
	TOTAL	36,6	59,9	58,6	23,3	-1,3
NORDESTE	0-1 SM	29,0	43,9	25,3	14,9	-18,6
	1-2 SM	33,1	51,3	32,9	18,2	-18,4
	2-5 SM	46,9	60,7	49,7	13,8	-11
	> 5 SM	72,4	80,2	79,2	7,8	-1
	TOTAL	46,7	64,2	48,1	17,5	-16,2
CENTRO-OESTE	0-1 SM	25,9	48,0	48,0	22,1	0
	1-2 SM	33,8	56,6	48,6	22,8	-8
	2-5 SM	49,7	64,0	65,3	14,3	1,3
	> 5 SM	75,7	86,2	86,6	10,5	0,4
	TOTAL	54,6	76,3	70,8	21,7	-5,5
SUDESTE	0-1 SM	41,9	64,2	53,8	22,3	-10,2
	1-2 SM	49,1	63,8	56,6	14,7	-7,2
	2-5 SM	64,7	75,3	74,9	10,6	-0,4
	> 5 SM	86,8	92,4	92,4	5,6	0
	TOTAL	72,4	85,1	82,1	12,7	-3
SUL	0-1 SM	35,7	59,1	49,1	23,4	-1
	1-2 SM	44,3	64,4	54,6	20,1	-9,8
	2-5 SM	58,4	77,1	69,8	18,7	-7,3
	> 5 SM	78,3	91,2	87,9	12,9	-3,3
	TOTAL	63,5	83,9	75,8	20,4	-8,1
BRASIL TOTAL	0-1 SM	33,0	51,3	37,0	18,3	-14,3
	1-2 SM	40,3	56,8	43,4	16,5	-13,4
	2-5 SM	57,3	69,6	63,9	12,3	-5,7
	> 5 SM	81,9	89,0	88,4	7,1	-0,6
	TOTAL	62,8	78,4	69,2	15,6	-9,2

Fonte: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio 1981, 1990, 1995.

Obs : Esta tabela é uma extensão para o ano de 1995, do trabalho de Seroa da Mota (1996, p.70)

Na Tabela 3.1 é apresentada a proporção da população urbana com acesso ao serviço de coleta de lixo, segundo o nível de renda, em cada região demográfica, para os anos de 1981, 1990 e 1995. Pela tabela pode-se verificar as diferenças existentes no nível de atendimento do serviço de coleta seguindo as duas tendências básicas antes mencionadas.

Em primeiro lugar, a maior concentração dos serviços encontra-se nas regiões mais desenvolvidas. De fato, para qualquer um dos três anos tomados para análise o nível de atendimento é superior nas regiões Sul e Sudeste em relação as regiões Norte e Nordeste. Em 1995, por exemplo, o nível de atendimento total para as regiões Norte e Nordeste era de 58,6% e 48,1%, respectivamente, enquanto que para as regiões Sul e Sudeste 75,8% e 82,1% respectivamente.

Em segundo lugar, a assimetria quanto ao nível de atendimento relacionado ao nível de renda da população atendida. Desse modo, também, para qualquer um dos três anos tomados para análise, considerando os dados nacionais, o nível de atendimento cresce de forma direta com o nível de renda. Em 1995, por exemplo, para a população que percebia até 1 (um) salário mínimo o acesso era de 37%, subindo progressivamente até chegar a 88,4% na classe de renda superior a 5 (cinco) salários mínimos.

A Tabela 3.1 também demonstra como evoluiu o nível de atendimento dos serviços de coleta de lixo nos períodos de 1981-1990 e 1990-1995, tanto com relação as regiões geográficas do país, como também, em relação a cada faixa de renda.

Assim, primeiramente tomando como base o ano de 1981, para o ano de 1990 verifica-se que ocorreu um crescimento considerável no nível de atendimento, independente da região demográfica e da faixa de renda da população atendida. No país como um todo o crescimento total foi de cerca de 15,6% pontos percentuais. Destacando-se que o maior crescimento ocorreu para a população situada nas classes de renda mais baixas.

Todavia, tomando como base o ano de 1990, para o ano de 1995 a tendência de crescimento no nível de atendimento se inverteu. Na verdade, observa-se uma redução no nível de atendimento em todas as regiões, assim como para todas as faixas de renda. Com relação a faixa de renda este decréscimo no nível de atendimento foi mais acentuado para as classes de renda mais baixas, situadas entre 0 a 2 salários mínimos.

**TABELA 3.2 DOMICÍLIOS COM ACESSO AO SERVIÇO DE COLETA DE LIXO (%)**

CHARACT. DOMICÍLIO	BRASIL	NORTE	NORDESTE	SUDESTE	SUL	CENTRO-OESTE
COLETADO (1995)	72,0	64,1	50,2	83,8	77,4	71,5
OUTRO	28,0	35,9	49,8	16,2	22,6	28,5
COLETADO (1993)	69,9	60,4	46,2	81,9	73,8	68,9
OUTRO	31,1	39,6	17,5	18,1	26,2	31,1

Fonte: IBGE - Síntese dos Indicadores, 1993 e 1995, Brasil

**TABELA 3.3 DOMICÍLIOS COM ACESSO AO SERVIÇO DE COLETA DE LIXO (%), SEGUNDO A CLASSE DE RENDIMENTO NO BRASIL (1995)**

Nível do Serviço Coletado	Domicílios Particulares Percentuais						
	Classe de Rendimento Mensal Domiciliar						
Assistente	Até 1SM	1 à 2 SM	2 à 3 SM	3 à 5 SM	5 à 10 SM	10 à 20 SM	Mais de 20 SM
<b>TOTAL</b>	3.472.184	5.940.204	5.157.484	7.070.531	8.152.102	4.721.946	3.078.219
Assist. Assist.	1.197.513	2.522.601	2.771.424	4.736.055	6.620.213	4.165.244	2.791.341
Assist. Totais	34%	42%	54%	67%	81%	88%	91%
<b>URBANA</b>	1.961.143	3.871.739	3.820.356	5.890.294	7.432.829	4.472.545	2.966.728
Assist. Assist.	1.141.434	2.427.933	2.668.572	4.592.850	6.471.355	4.098.730	2.754.450
Assist. Totais	58%	63%	70%	78%	87%	92%	93%

Fonte : IBGE - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio - PNAD, 1995.

Nas Tabelas 3.2 e 3.3 são apresentados os dados relativos ao nível de atendimento da coleta nos anos de 1993 e 1995, enfocando agora o nível de atendimento a partir dos domicílios, onde pode-se verificar que as duas tendências apontadas na Tabela anterior se mantêm.

Na Tabela 3.2 são apresentados os dados relativos ao nível de atendimento da coleta segundo as grandes regiões, nos anos de 1993 e 1995. Mais uma vez pode-se constatar que o nível de atendimento aumenta para os domicílios situados nas regiões mais desenvolvidas do País, particularmente para as regiões sul e sudeste, que ultrapassam os 75%.

Analisando agora a Tabela 3.3, percebe-se que o nível de atendimento dos domicílios varia diretamente com a classe de rendimento, aumentando

progressivamente tanto quando se considera somente os domicílios urbanos, ou quando se toma o universo de todos os domicílios.

É importante assinalar ainda que os habitantes pertencentes às classes de renda mais baixa são moradores das periferias, favelas e ainda baixadas situadas, em geral, nos grandes centros urbanos onde, por falta de atendimento ocorre com maior frequência a disposição do lixo em lixes, logradouros públicos ou mesmo na rede de águas pluviais, e por conseguinte, gerando os problemas ambientais já descritos. Nestas áreas o baixo nível de atendimento dos serviços de coleta, é explicado pelas administrações municipais, como decorrência da dificuldade de acesso a estas localidades. Tal dificuldade, inclusive, faz com que a coleta realizada seja feita, de modo diferenciado, daquela praticada nos demais bairros e distritos municipais. (IBAM, 1994).

**TABELA 3.4 - DOMICÍLIOS COM ACESSO AO SERVIÇO DE COLETA DE LIXO SEGUNDO AS NOVE REGIÕES METROPOLITANAS.**

Regiões Metropolitanas	Domicílios Particulares Permanentes			Moradores em domicílios part. perman.		
	Atendidos pela Coleta	Total de domicílios	Nível de * Atendimento	Moradores c/ Lixo Coletado	Total de Moradores	Nível de * Atendimento
IBAM Belem	208.863	250.209	83	1.012.442	1.202.959	84
IBAM Fortaleza	305.402	453.588	67	1.402.589	2.142.297	65
IBAM Recife	464.773	660.863	70	2.049.716	2.977.844	69
IBAM Salvador	408.217	554.647	74	1.723.098	2.396.547	72
IBAM B. Horiz.	603.600	856.199	70	2.422.413	3.600.800	67
IBAM R. de Janeiro	2.197.122	3.028.952	73	7.764.876	11.206.350	69
IBAM São Paulo	4.304.149	4.471.725	96	16.321.851	17.082.143	96
IBAM Curitiba	500.883	578.825	87	1.913.944	2.263.218	85
IBAM Porto Alegre	741.463	856.310	87	2.535.340	2.970.288	85

Fonte: Pesquisa Nacional por amostra de domicílio 1989, Tomos 1, 2, 3 e 4.

Nota : \* estabelecido como a percentagem entre o número de domicílios atendidos e número total de domicílios.

**TABELA 3.5 - DOMICÍLIOS COM ACESSO AO SERVIÇO DE COLETA DE LIXO SEGUNDO OS ESTADOS DA FEDERAÇÃO.**

ESTADOS	Domicílios Particulares Permanentes			Moradores em domicílios Part. Perm.		
	Atendidos pela Coleta	Total de Domicílios	Nível de Atend. *	Moradores c/ Lixo Coletado	Total de Moradores	Nível de Atend. *
AMAZONAS	171.349	276.399	62	832.545	1.380.626	60
PARÁ	276.416	506.330	55	1.339.519	2.530.706	53
MATO GROSSO DO SUL	252.390	429.207	59	1.029.042	1.761.028	58
MATO GROSSO	175.103	388.714	45	744.011	1.761.028	42
GOIÁS	567.350	1.138.619	50	2.302.518	4.860.165	47
DF	403.842	434.051	93	1.690.091	1.814.373	93
MINAS GERAIS	2.050.195	3.668.608	56	8.294.064	15.626.972	53
ESPIRITO SANTO	278.831	576.295	48	1.133.593	2.486.238	46
RIO DE JANEIRO	2.625.107	3.689.866	71	9.429.474	13.911.841	68
SÃO PAULO	7.649.822	8.373.846	91	29.309.900	32.447.464	90
PARANÁ	1.375.090	2.194.558	63	5.349.704	8.960.571	60
SC	565.769	1.033.876	55	2.317.366	4.400.370	53
RIO GRANDE DO SUL	1.609.746	2.453.360	66	5.742.569	9.040.203	64
PIRANHÃO	133.943	1.019.002	13	612.945	5.099.247	12
PRACÍ	108.637	541.361	20	492.596	262.924	18
CEARÁ	443.634	1.335.949	33	2.045.746	6.384.873	32
RIO GRANDE DO NORTE	250.335	486.943	51	1.111.556	2.280.097	49
PARAÍBA	375.445	706.671	53	1.637.935	3.205.973	51
PERNAMBUCO	815.421	1.580.904	52	3.590.757	7.257.367	49
ALAGOAS	223.694	503.196	44	1.026.850	2.384.467	43
SERGIPE	137.415	302.885	45	611.939	1.398.874	44
BAHIA	990.413	2.489.872	40	4.423.007	11.564.684	38

Fonte: Pesquisa Nacional por amostra de domicílio 1989, Tomos 1, 2, 3 e 4.

Nota : \* estabelecido como percentagem entre o número de domicílios atendidos e número total de domicílios.

Nas tabelas 3.4 e 3.5 são apresentados os dados relativos ao nível de atendimento segundo o número de domicílios e o número de moradores com acesso ao serviço de coleta do lixo doméstico, por Estado e quanto as nove Regiões Metropolitanas do País. Vê-se que o nível de atendimento cresce significativamente quando se considera as Regiões Metropolitanas (RM),

corroborando a afirmação de que o serviço de coleta é mais concentrado nestas Regiões .

Isto pode ser constatado comparando os índices de atendimento para os Estados e as Regiões Metropolitanas respectivas. Desse modo, verificando-se a partir dos domicílios : Pará 53% e Região Metropolitana de Belém 84%; Ceará 32% e Região Metropolitana de Fortaleza 65%; ; Pernambuco 49% e Região Metropolitana de Recife 69%; Bahia 38% e Região Metropolitana de Salvador 72%; Minas Gerais 53% e Região Metropolitana de Belo Horizonte 67%; Rio de Janeiro 68% e Região Metropolitana do Rio de Janeiro 69%; São Paulo 90% e Região Metropolitana de São Paulo 96%; Paraná 60% e Região Metropolitana de Curitiba 85%; Rio Grande do Sul 64% e Região Metropolitana de Porto Alegre 85%.

Vale observar, também, que mesmo nas regiões metropolitanas o serviço também é concentrado, desta feita nas capitais ou cidades mais urbanizadas. Um exemplo pode ser tomado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Assim os municípios do Rio de Janeiro e Niterói tinham em 1994 um índice de cobertura de cerca de 80%, enquanto que nos demais municípios da Região Metropolitana os índices eram os seguintes :

Baixada Fluminense - 60 a 75%; São Gonçalo - 40%; Magé - 13%; Itaboraí - 21%; de Macacu - 60%; Maricá - 35%; Guarapimirim 12%.  
IBAM (1994) , COMLURB (1994).

**TABELA 3.6 - NÚMERO DE MUNICÍPIOS ATENDIDOS PELO SERVIÇOS DE COLETA E LIMPEZA PÚBLICA, SEGUNDO AS GRANDES REGIÕES E ESTADOS DA FEDERAÇÃO (1989).**

REGIÕES E ESTADOS	TOTAL MUNICÍP. A	NÚMERO DE MUNICÍPIOS									
		LIMPEZA PÚBLICA					COLETA DE LIXO				
		B*	% (B/A)	C**	% (C/A)	s/ ser.	B*	% (B/A)	C**	% (C/A)	s/ ser.
BRASIL	4.425	3.14	71,1	1.13	25,7	141	3.10	70,2	928	21,0	280
		4		8			8				
NORTE	296	209	70,1	36	12,1	52	206	69,1	9	3,0	82
RONDÔNIA	23	18	78,3	2	8,7	3	21	91,3	0	0,0	2
ACRE	12	12	100,0	0	0,0	0	12	100,0	0	0,0	0
AMAZONAS	62	56	90,3	0	0,0	6	53	85,5	0	0,0	9
PARAÍMA	8	1	12,5	0	0,0	7	1	12,5	0	0,0	7
PARÁ	105	66	62,9	23	21,9	15	71	67,6	8	7,6	25
PARAPUÁ	9	5	55,6	3	33,3	1	6	66,7	1	11,1	2
TOCANTINS	79	51	64,6	8	10,1	20	42	53,2	0	0,00	37
SUDESTE	1.461	1.05	72,2	395	27,0	11	972	66,5	273	18,7	108
		5									
PARANÁ	136	126	94,1	2	1,5	6	68	50,0	1	0,7	67
PARANÁ	118	117	99,2	0	0,0	1	96	81,4	0	0,0	22
CEARÁ	178	95	53,4	83	46,6	0	12	6,7	52	29,2	6
R. G. NORTE	152	139	91,4	12	7,9	1	139	91,4	12	7,9	1
PARAÍBA	171	131	76,6	40	23,4	0	144	84,2	23	13,5	4
PERNAMBUCO	168	77	45,8	91	54,2	0	112	66,7	56	33,3	0
ALAGOAS	97	84	86,6	11	11,3	2	86	88,7	8	8,2	3
PERGÍPE	74	73	98,6	1	1,4	0	73	98,6	1	1,4	0
PIAUÍ	367	211	57,5	155	42,2	1	242	65,9	120	32,7	5
SUDESTE	1.430	939	65,7	478	33,4	12	958	67,0	447	31,3	25
MINAS GERAIS	723	505	69,8	205	28,4	12	536	74,1	162	22,4	25
ESPIRITO SANTO	66	18	27,3	48	72,7	0	18	27,3	48	72,7	0
RIO DE JANEIRO	69	14	20,3	55	79,7	0	11	15,9	58	84,1	0
SÃO PAULO	572	402	70,3	170	29,7	0	393	68,7	179	31,3	0
SUL	857	616	71,9	189	22,1	52	648	75,6	161	18,8	48
PARANÁ	318	210	66,0	104	32,7	4	229	72,0	87	27,4	2
SANTA CATARINA	206	158	76,7	40	19,4	8	162	78,6	35	17,0	9
R. G. SUL	333	248	74,5	45	13,5	40	257	77,2	39	11,7	37
CENTRO OESTE	379	325	85,8	40	10,6	14	324	85,5	38	10,0	17
MATO G. SUL	72	51	70,8	18	25,0	3	55	76,4	15	20,8	2
MATO G. DO SUL	95	82	86,3	9	9,5	4	81	85,3	10	10,5	4
GOIÁS	211	192	91,0	12	5,7	7	188	89,1	12	0,6	11*
D. F.	1	0	0,0	1	100,0	0	0	0,0	1	100,0	0

Fonte : IBGE - Levantamento Distrital de Saneamento - 1989 apud. Edgar Bastos de Souza et Alli, IPEA, texto para discussão n° 304.

Notas : \* Somente no Distrito Sede.

\*\* No Distrito Sede e em outros Distritos

A Tabela 3.6 mostra a proporção da distribuição dos serviços de coleta e limpeza pública nos municípios, segundo os Estados e Regiões Geográficas (1989). Sob este prisma, a proporção dos municípios com oferta dos referido serviços é mais ou menos simétrica, para todas as regiões do país.

### III.1.1 - Coleta Seletiva :

Das duas formas de coleta seletiva existentes, espontânea e institucional, no Brasil, prevalece a coleta seletiva espontânea realizada por catadores individuais autônomos, que exercem essa atividade quase sempre de maneira informal, como subemprego.

As experiências de coleta seletiva institucional no país, podem ser divididas em três tipos : a) coleta seletiva feita no próprio domicílio, a partir de recipientes diferenciados entregues a população para cada tipo de lixo; b) coleta seletiva por entrega voluntária, onde são definidos locais chamados Postos de Entrega Voluntária, onde a população deposita em “lixeiros” de cores diferenciadas os materiais associados a cada cor; c) coleta seletiva realizada em locais específicos, como condomínios, prédios públicos, colégios, associações, etc, onde as pessoas também podem depositar o material reciclável em lugares pré-determinados e conforme alguns padrões antes definidos.

Segundo pesquisa realizada pelo IPT/CEMPRE em 1994, existiam cerca de 82 programas de coleta seletiva operados por prefeituras no país. Este baixo índice é explicado como decorrência não só da falta de um planejamento para a grande maioria dos municípios brasileiros, mas também

devido aos altos custos que a coleta seletiva envolve quando comparado a coleta convencional . Em média o aumento é de dez vezes superior a coleta convencional.

**TABELA 3.7 :COMPOSIÇÃO DA COLETA SELETIVA (%).**

<b>Componentes</b>	<b>Porto Alegre</b>	<b>Curitiba</b>	<b>Média 6 cidades *</b>
Papel/papelão	26	31	41
Plástico rígido	20	6	11
Plástico filme	11	7	6
Metais ferrosos	16	22 **	16
vidro	15	11	15
Tetra - Pak	5	-	1
Alumínio	2	1	1
Rejeito	5	22	9

Fonte : Pesquisa Ciclossoft/CEMPRE.

\* Curitiba, Florianópolis, Salvador, Santos, São José dos Campos (SP) e São Paulo.

\*\* Sucata ferrosa e latas de aço.

A tabela 3.7 demonstra a composição do lixo a partir da coleta seletiva, onde pode-se observar a maior incidência de papel e papelão no total do lixo coletado, mesmo em cidades com renda per capita relativa mais alta no país, como é o caso das cidades onde foi realizada a pesquisa citada acima. Este dado é importante quando se compara o preço relativo do papel e papelão com os dos demais materiais recicláveis.

### III.2 - Distribuição Geográfica dos Métodos de Tratamento:

**TABELA 3.8 QUANTIDADE DE LIXO COLETADO E FORMAS DE DISPOSIÇÃO  
SEGUNDO AS GRANDES REGIÕES DO PAÍS - 1989**

GRANDES REGIÕES	QUANTIDADE LIXO COLETADO - UNIDADES DE DESTINO FINAL																						
	VAZADOURRO					ATERRO					USINA												
	TOTAL	ACET. ABERTO	ÁREAS ALAGADAS	TOTAL	CONTROL.	SANITÁRIO	RES. ESPEC.	TOTAL	COMPOSTAGEM	RECICLAGEM	INCINERAÇÃO	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL								
(t/DIA)	t/DIA	%	t/DIA	%	t/DIA	%	t/DIA	%	t/DIA	%	t/DIA	%	t/DIA	%	t/DIA								
BRASIL	96.287	45.854	47,6	1.588	1,6	47.442	49,3	21.091	21,9	22.456	23,3	107	0,1	43.654	45,3	2.895	3,0	2.104	2,2	192	0,2	5.191	5,4
NORTE	5.341	3.574	66,9	1.217	22,8	4.791	89,7	213	4,0	196	3,7	0	0,0	409	7,7	138	2,6	0	0,0	3	0,1	141	2,6
NORDESTE	24.403	21.946	89,9	180	0,7	22.126	90,7	1.329	5,4	550	2,3	41	0,2	1.920	7,9	180	0,7	177	0,7	0	0,0	357	1,5
CENTRO-OESTE	4.581	2.475	54,0	1	0,0	2.476	54,0	1.237	27,0	600	13,1	0	0,0	1.837	40,1	230	5,0	15	0,3	23	0,5	268	5,9
SUDESTE	50.794	13.315	26,2	186	0,4	13.501	26,6	12.508	24,6	20.562	40,5	47	0,1	33.117	65,2	2.238	4,4	1.777	3,5	161	0,3	4.176	8,2
SUL	11.168	4.544	40,7	4	0,0	4.548	40,7	5.804	52,0	548	4,9	19	0,2	6.371	57,0	109	1,0	135	1,2	5	0,0	249	2,2

Fonte: IBGE/Deiso - Departamento de Estatística e Indicadores Sociais - PNSB/89 - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (Conforme Serôa da Motta, 1996).

Quando se verifica a disposição do lixo coletado, vê-se que no país como um todo a disposição a céu aberto chegava a quase 50% do lixo total gerado. Mais uma vez se observa diferenças significativas entre as regiões do país, quanto ao destino do lixo, especialmente quanto à percentagem do total que não recebe qualquer tipo de tratamento.

Na tabela 3.8 são apresentados os dados quanto às formas de tratamento segundo as regiões brasileiras. Verifica-se que dos métodos de tratamento utilizados, a disposição em aterro (controlado e sanitário) é bastante representativa, aumentando a percentagem do total nas regiões sul e sudeste. Observa-se também a pouca relevância, em termos relativos, do uso de outros métodos de tratamento como : compostagem (3%); reciclagem (2,2%); incineração (0,2%); havendo pois uma distribuição espacial da utilização destes métodos que também guardam relação com o desenvolvimento da região.

Há que se destacar que, embora os dados apresentados na tabela 3.8 referem-se ao ano de 1989, pesquisas mais recentes realizadas nos estados demonstram que o quadro geral não se alterou. Assim, por exemplo, em 1994, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) estimava que 87% dos resíduos coletados no Estado de São Paulo eram descarregados em lixes e aterros controlados.

Particularmente com relação as Usinas de Reciclagem e Compostagem, sua distribuição geográfica em 1994 era a seguinte :

**TABELA 3.9 - NÚMERO DE USINAS DE LIXO  
EXISTENTE NO PAÍS SEGUNDO OS ESTADOS  
E A REGIÃO GEOGRÁFICA.**

Região do País	Estado	Número de Usinas
Brasil		70
Norte	-	Nenhuma em atividade
Nordeste	Paraíba	01 (uma)
	Pernambuco	01 (uma)
	Rio Grande do Norte	01 (uma)
Centro-Oeste	Distrito Federal	02 (duas)
Sudeste	Espírito Santo	01 (uma)
	Minas Gerais	07 (sete)
	Rio de Janeiro	11 (onze)
	São Paulo	21 (vinte e uma)
Sul	Paraná	08 (oito)
	Santa Catarina	04 (quatro)
	Rio Grande do Sul	13 (treze)

Fonte : Galvão Júnior (1994).

Mais uma vez verifica-se na tabela 3.9 que as Regiões Sul e Sudeste, são as regiões que são dotadas de uma melhor infra-estrutura quanto ao tratamento/ destino final do lixo coletado nos municípios, concentrando assim, o maior número de Usinas de Reciclagem e Compostagem nestas regiões.

No que diz respeito a forma de tratamento/disposição final dada ao lixo hospitalar, pode-se observar na tabela 3.10, que este recebia o mesmo destino que os resíduos provenientes de outras fontes, em um número bastante significativo de municípios, independente da região geográfica. Assinalando-se, entretanto, que nas regiões sul e sudeste, a proporção dos municípios que davam outro destino final aos resíduos hospitalares é maior que nas demais regiões do país.

**A TABELA 3.10 - NÚMERO DE MUNICÍPIOS ATENDIDOS PELOS SERVIÇOS DE COLETA COMERCIAL E HOSPITALAR SEGUNDO AS GRANDES REGIÕES E ESTADOS DA FEDERAÇÃO.**

REGIÕES E ESTADOS	TOTAL MUNI- CÍPIO	MUN. QUE COLETAM LIXO HOSP.	DESTINO DADO AO LIXO HOSPITALAR			
			OUTRO DESTINO		MESMO DESTINO	
			a	b	c	d
BRASIL	4.425	2.516	61	310	1.871	266
<b>NORTE</b>	296	100	1	13	80	9
RONDÔNIA	23	13	-	2	10	1
ACRE	12	10	-	2	7	1
AMAZONAS	62	13	-	1	13	-
RORAIMA	8	1	-	-	1	-
PARÁ	105	43	1	8	32	5
AMAPÁ	9	5	-	-	4	1
TOCANTINS	79	15	-	-	13	1
<b>NORDESTE</b>	1.461	852	5	73	748	17
MARANHÃO	136	33	-	2	30	-
PIAUI	118	42	-	5	35	1
CEARÁ	178	141	-	15	126	2
R. G. NORTE	152	114	-	13	96	1
PARAÍBA	171	65	-	2	63	-
PERNAMBUCO	168	137	3	19	113	-
ALAGOAS	97	28	-	1	26	1
SERGIPE	74	51	-	5	43	3
BAHIA	367	241	2	11	216	9
<b>SUDESTE</b>	1.430	861	45	161	538	121
MINAS GERAIS	723	393	9	62	302	19
ESPIRITO SANTO	66	53	-	6	41	6
RIO DE JANEIRO	69	63	-	5	52	7
SÃO PAULO	572	352	36	83	143	89
<b>SUL</b>	857	446	9	42	291	98
PARANÁ	318	201	5	25	134	33
SANTA CATARINA	206	103	1	10	53	30
R. G. SUL	333	142	3	7	94	35
<b>CENTRO OESTE</b>	379	256	1	21	214	21
MATO G. SUL	72	57	-	12	37	37
MATO G.	95	53	-	1	44	44
GOIÁS	211	146	-	8	133	133
D. F.	1	1	1	-	-	-

Fonte : IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. (1989)

a - em incineradores; b - incinerado a céu aberto; c - vazadouro; d - aterro.

Pela mesma tabela também se verifica o pouco uso de incineradores, pelos municípios, no tratamento/destino final do lixo hospitalar.

Os resultados da tabela 3.10 foram ratificados em recente pesquisa, IBAM (1994), onde foi observado que nos municípios que realizavam a coleta do lixo hospitalar (a maioria dos municípios consultados inclusive capitais), esta era feita justamente com a coleta do lixo domiciliar, além do que, em muitos casos, o lixo hospitalar recebia a mesma destinação do lixo domiciliar.

### III.3 - Aspectos Qualitativos do Lixo Urbano Brasileiro.

Um diagnóstico da situação dos resíduos sólidos urbanos também deve levar em consideração os seus aspectos qualitativos, pois como se observou no capítulo 1, estes também vão ser importantes na definição dos métodos de tratamento/disposição a serem utilizados.

Na tabela 3.11 é apresentada a composição média dos resíduos sólidos urbanos em 1989.

**TABELA 3.11 : COMPOSIÇÃO MÉDIA E ÍNDICE DE APROVEITAMENTO DO LIXO DOMICILIAR NO BRASIL**

Componentes do lixo urbano	participação percentual (em peso)	índice de aproveitamento potencial *
papel e papelão	25	papel - 35%; papelão - 65%
plásticos	3	mole 35%; duro - 65%
vidros	3	claro e escuro 100%
metais ferrosos e não-ferrosos	4	latas 100%; metais 70%
trapos e couros	2	30%
matéria orgânica	60	60%
outros materiais	3	40%

Fonte : Ambiental, Engenharia e Consultoria (Nov. 1989) \* sem coleta seletiva

A composição média do lixo domiciliar brasileiro, apresentada na tabela 3.11, pode, entretanto, diferir bastante quando se toma as capitais individualmente. A tabela 3.12 apresenta a composição do lixo para quatro capitais brasileiras. Vê-se que mesmo para capitais com renda per capita semelhante, Rio de Janeiro e São Paulo, a composição varia particularmente com relação a sua fração orgânica.

**TABELA 3.12 - COMPOSIÇÃO DO LIXO EM ALGUMAS CAPITAIS BRASILEIRAS (% DO PESO)**

Componentes	São Paulo	Rio de Janeiro	Salvador	Fortaleza
Matéria Orgânica	61	34	43	65,6
papel e papelão	14	27	19	14,6
plásticos	13	13	11	7,8
metais	3	3	4	5,0
vidros	2	2	4	7,4
têxteis	-	3	1	-
outros	5	18	18	-

Fonte: Pesquisa Ciclosoft/CEMPRE; Programa Sanear/Rio Cine.

Importante assinalar, que a composição média do lixo varia conforme a cidade, o clima, os hábitos e o padrão de vida da população, sendo esses dois últimos fatores particularmente decisivos na determinação da composição média do lixo doméstico, que compreende a maior parte do lixo urbano coletado. Assim quanto mais alto o poder aquisitivo da população, maior a quantidade de restos de papel, papelão, plásticos, vidros e metais que constituem basicamente o material de embalagem, daquilo que foi consumido pela população em suas atividades diárias domésticas : alimentação, asseio, conservação, lazer, consertos, etc. Estes fatores, teoricamente, explicariam as diferenças na composição do lixo, para as capitais citadas.

**TABELA 3.13 : EVOLUÇÃO DO PERCENTUAL (%) DE PLÁSTICO E PAPEL E PAPELÃO NO LIXO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO:**

Anos	Plásticos	Papel e papelão
1981	7	42
1986	9	40
1989	11	32
1991	11	28
1993	14	24

Fonte : COMLURB/informativo CEMPRE abril/94.

A composição do lixo também muda com o tempo, fruto especialmente da mudança dos hábitos, inclusive no padrão de consumo, da população. A tabela 3.13 acima mostra a evolução de alguns componentes do lixo na cidade de Rio de Janeiro, no qual observa-se um aumento significativo do percentual de plásticos em detrimento do percentual de papel e papelão.

### **III.4 - Determinantes da Coleta e Geração de Lixo a partir dos Estados Brasileiros :**

A necessidade da verificação das variáveis que determinam tanto a coleta, como a geração dos resíduos sólidos, tem como objetivo final poder gerar previsões do quanto de lixo não será coletado em cada caso, e desse modo se ter uma medida de referência quanto a geração potencial de externalidades ambientais. Este resultado será demonstrado ao final do capítulo.

#### **III.4.1 - Determinantes da Coleta de Resíduos Sólidos :**

Para se verificar os determinantes do comportamento do nível de atendimento da coleta de lixo doméstico nos Estados, estimou-se uma regressão pelo método dos mínimos quadrados, seguindo as seguintes especificações :

a) modelo Cross Section para os Estados da Federação, em 1995, excluindo-se os Estados do Amapá, Rondônia, Roraima e Acre, pois seus níveis de cobertura da coleta de lixo doméstico não constam da Pesquisa Nacional por Amostra por Domicílio (PNAD), tomada como referência de dados.

b) variável dependente : déficit no atendimento do serviço de coleta de lixo doméstico por Estado. Esta variável foi tomada como a razão entre o número de domicílios que não possuem coleta de Lixo Doméstico e o número de domicílios totais.

c) variáveis independentes : Produto Interno Bruto per capita dos Estados; densidade demográfica, representada pela razão entre a

população residente e a área geográfica do Estado. Além destas, duas outras variáveis foram testadas: dispêndio por Estado com saneamento, como parcela percentual do PIB e nível de Desenvolvimento da População, representado pelo índice de Desenvolvimento Humano - IDH.

Os resultados, estatisticamente significantes, e que demonstraram ser os melhores resultados para fins de previsão, são apresentados abaixo:

$$\text{def} = 0,1338269 - 0,0005556 \text{ dens} + 602,70763 \frac{1}{\text{PIBPc}}$$

(3,00)                    (-2,54)                    (7.60)

$$R^2 = 0,828$$

$$F = 46,03$$

onde, def = déficit no atendimento da coleta de lixo doméstico.

dens = densidade populacional

PIBPc = Produto Interno Bruto per capita.

obs : estatísticas t-Student entre parênteses.

Pelos resultados obtidos, fica evidente que o déficit no atendimento é explicado satisfatoriamente pela densidade populacional e inverso do PIBPc dos Estados, o que é comprovado pela significância dos parâmetros ao nível de significância de 1%. Estas variáveis podem ser ditas como àquelas que definem satisfatoriamente o déficit no nível de atendimento, haja vista o valor obtido do coeficiente de determinação,  $R^2 = 0,88109$ , ou do Coeficiente de determinação ajustado,  $R^2 = 0,82289$ .

Além disso, estes resultados corroboram as observações feitas anteriormente, de que existe uma relação inversa entre os índices de atendimento e o nível de riqueza da população atendida, aqui evidenciado pelo Produto Interno Bruto per capita. Assim, quanto maior o PIB per capita do Estado menor o déficit e, portanto, maior o nível de atendimento da coleta.

Por outro lado, também, se evidencia a relação negativa entre o déficit e a concentração populacional. Quanto mais povoado o Estado, representado pela densidade demográfica, menor será o déficit no serviço de coleta. Este resultado ressalta o fato de existirem Economias de Escala na Coleta dos Resíduos Sólidos Domésticos. Desta forma, quanto maior a concentração populacional, menores os custos médios envolvidos no serviço de coleta, o que aumenta a eficiência nos serviços oferecidos.

#### **III.4.2 - Determinantes da Geração de Lixo no País .**

A indisponibilidade de informações (séries históricas) dificulta a determinação das variáveis que teriam relevância na geração de lixo no país, especialmente com relação à existência de estatísticas sobre a geração de lixo.

Todavia, com base em algumas informações disponíveis, procurou-se construir esta série e a partir dela verificar os determinantes da geração de lixo no país. Estes resultados são apresentados na tabela 3.14, a seguir.

**TABELA 3.14 - GERAÇÃO DE LIXO SEGUNDO AS CAPITAIS DOS ESTADOS (1989) :**

CAPITAL	COLETADO t.	ÍNDICE DE COBERT. (%)	LIXO GERADO t.
MANAUS	1550	0,80	1937,5
BELÉM	1033	0,84	1229,76
SÃO LUÍS	350	0,32	1093,75
TEREZINA	186	0,38	581,25
NATAL	632	0,69	915,94
JOÃO PESSOA	422	0,71	594,37
MACEIÓ	450	0,63	714,25
ARACAJU	500	0,64	781,25
SALVADOR	1500	0,72	2083,33
BELO HORIZONTE	1479	0,67	2207,46
VITÓRIA	350	0,66	500
RIO DE JANEIRO	4030	0,69	5840,58
SÃO PAULO	8834	0,95	9298,95
CURITIBA	988	0,84	1176,19
FLORIANÓPOLIS	185	0,73	253,42
PORTO ALEGRE	1741	0,85	2048,23
CAMPO GRANDE	247	0,78	316,67
CUIABÁ	210	0,64	328,12
GOIÂNIA	1050	0,67	1567,16
BRASÍLIA	843	0,93	906,45

Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (1989) e PNAD (1989) Tomos I, II, III, IV.

A tabela 3.14 mostra como os dados referentes ao lixo gerado foram construídos. Os procedimentos adotados foram os seguintes : a) adotou-se a série estatística da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 1989, fazendo , entretanto, alguns ajustes para aqueles dados que não pareciam corresponder a realidade. No caso, as informações foram checadas com os órgão de Limpeza Pública das capitais a que se referiam os dados; b) Para o

ano citado (1989), tomaram-se os índices de cobertura<sup>13</sup> dos serviços de coleta das Regiões Metropolitanas e Estados, citados na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD- 1989)<sup>14</sup>; c) com os índices de cobertura calculados, dividiu-se a quantidade coletada de lixo pelo respectivo índice de cobertura para cada Estado. O resultado foi, então, usado como a variável dependente do modelo.

As variáveis explicativas foram escolhidas conforme o que é citado na literatura existente sobre o assunto como fator causal de determinação do lixo gerado. Assim pois, consideraram-se as seguintes variáveis<sup>15</sup> : a) população (residente); b) Renda per capita - adotando-se como *proxy* o Produto Interno Bruto Per capita dos Estados; c) Nível de Instrução da População, adotando-se como variáveis testadas o “índice de Instrução” e, mesmo, o “Índice de Desenvolvimento Humano - IDH”.

Observa-se, ainda, que as variáveis população e PIB per capita, apresentavam elevada multicolineariedade o que comprometia os resultados da regressão. Assim, a variável população foi substituída pela variável densidade populacional, segundo o que fora definido no modelo anterior.

<sup>13</sup> O índice de cobertura é calculado como o número de domicílios com acesso ao serviço de coleta sob o número de domicílios totais.

<sup>14</sup> Foram adotados os seguintes procedimentos, a partir destas informações : i) Para os Estados que possuem Regiões Metropolitanas (PA, BA, BH, RJ, SP, PR, RS), adotou-se o índice de cobertura correspondente ao da Região Metropolitana; ii) para Brasília adotou-se o índice correspondente ao do Distrito Federal. Explica-se que este procedimento foi adotado porque os serviços de coleta que servem às capitais, têm, em geral, abrangência para as Regiões Metropolitanas. Daí, o índice de cobertura para a Região Metropolitana ser uma boa aproximação para os das respectivas capitais. De igual modo, o índice de cobertura do Distrito Federal, parece ser uma boa aproximação do de Brasília; iii) finalmente para os demais Estados, o procedimento adotado partiu da hipótese de que existe uma diferença entre o nível de atendimento para os Estados e para as suas respectivas capitais. Para se achar esta diferença utilizou-se a diferença média existente entre os nove Estados anteriores e suas respectivas Regiões Metropolitanas. O resultado obtido foi que, em média, o nível de atendimento nas Regiões Metropolitanas é 20% superior aos Estados. De posse desse resultado somou-se 20% ao nível de atendimento em cada Estado que não possuía Região Metropolitana.

<sup>15</sup> Com relação as variáveis selecionadas, ver por exemplo Beed : Bloom (1996).

A melhor fórmula funcional, para fins de previsão, e os resultados da regressão estatisticamente significantes, estimada pelo método dos mínimos quadrados, são apresentados abaixo :

$$\text{lixoger} = 2554,88 + 0,296 \text{ dens} - 2,28 \text{ PIBPc} + 0,000523 \text{ PIBPc}^2$$

(2,90)            (-3,99)            (2,80)            (5,74)

$$R^2 = 0,895$$

$$F = 42,74$$

onde,            lixoger = lixo gerado segundo as capitais dos estados

                  dens = densidade populacional

                  PIBPc = Produto Interno Bruto per capita.

Pelos resultados obtidos fica evidente que o lixo gerado é explicado satisfatoriamente pela densidade populacional e PIB per capita dos Estados, o que é comprovado pela significância dos parâmetros ao nível de significância de 1%. Ademais, estas variáveis podem ser ditas como as determinantes do lixo gerado no país, pela relevância do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,895$  e mesmo do coeficiente de determinação ajustado  $R^2 = 0,874$ .

Os resultados obtidos indicam que a quantidade de lixo gerado é diretamente relacionada ao tamanho da população e, particularmente, com o grau de concentração populacional especificado pela variável densidade populacional. Esta definida como no modelo anterior, isto é, a razão entre a população residente na capital e área geográfica do município da capital. A variável densidade demográfica é usada, então, como proxy da população. De modo que, como a área geográfica do município permanece a mesma, o

crescimento da densidade demográfica do município guarda a relação positiva entre o crescimento da população e a quantidade de lixo gerado.

Por outro lado, a quantidade de lixo gerada evidenciou uma relação quadrática com o PIB per capita. Assim para valores baixos do PIB per capita a relação com o lixo gerado é negativa, entretanto, para valores altos do PIB per capita, a relação com o lixo gerado é positiva.

Para as cidades com um baixo PIB per capita, um aumento do mesmo leva a um decréscimo do lixo gerado, fato que para ser melhor explicado precisaria de maiores investigações acerca das atividades econômicas dessas capitais. Todavia, é importante se observar os seguintes elementos: em primeiro lugar, como a variável dependente é lixo gerado (em tonelada), originário de todas as atividades econômicas urbanas, o aumento do PIB per capita nestas cidades, pode representar um maior desenvolvimento de atividades que geram menos lixo e assim o volume total do lixo diminua com o aumento do PIB per capita. Em segundo lugar, deve-se relevar os aspectos de natureza qualitativa do lixo, pois pode ocorrer uma mudança qualitativa no lixo gerado, em função do aumento do PIB per capita, o que afeta o peso específico do lixo gerado de cada unidade geradora, no caso pode diminuir, e assim pode ocorrer a diminuição da quantidade total de lixo gerado.

Não obstante, para as cidades com um alto PIB per capita, um aumento do PIB per capita leva a um acréscimo no lixo gerado, fato que pode ser explicado pela maior geração per capita para as faixas de renda mais altas<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> Acerca da maior geração de lixo per capita para faixas de renda mais altas ver os resultados apresentados por Beed. Bloom. Op. cit

O importante com relação aos resultados dos dois modelos, é se poder chegar a uma estimativa aproximada da quantidade de resíduos que se deixa de coletar em um determinado período e, por essa via, ter-se uma noção das externalidades potenciais que serão geradas.

Para comprovar o que foi dito e admitindo a hipótese de que os parâmetros dos modelos permaneçam constantes no tempo, foi feita uma "simulação" dos resultados que seriam obtidos com os mesmos para duas capitais brasileiras : São Paulo e São Luís, com notadas diferenças quanto as variáveis consideradas nos modelos.

#### **São Paulo : (ano de 1989)**

Densidade Populacional do Estado : 131,65 hab./km<sup>2</sup>

Densidade Populacional da Capital : 7.194,94

PIB per Capita : R\$5.897,13

Equação 1 :

$$\text{def} = 0,1338269 - 0,0005556 \times 131,65 - 602,70763 \times \frac{1}{5.897,13}$$

$$\text{def} = 0,1338269 - 0,07314 + 0,10220$$

$$\text{def} = 0,1628 \text{ ou } 16,28 \%$$

Equação 2 :

$$\text{lixo ger} = 2.554,88 + 0,296 \times 7.194,94 - 2,28 [5.897,13] + 0,000523 [5.897,13]^2$$

$$\text{lixo ger} = 2.554,88 + 2.129,70 - 13.445,45 + 18.187,92$$

$$\text{lixo ger} = 9.490,05 \text{ t/dia.}$$

Com os resultados os resultados dos dois modelos combinados ter-se-ia:

$$\text{lixo não coletado} = 0,1628 \times 9.490,05 \text{ t/dia} = 1.544,98\text{t/dia.}$$

Cerca de 1.544,98 toneladas por dia não seriam coletadas e, portanto, causariam externalidades. Contabilizando este resultado em um ano, os resultados parecem mais relevantes :

$$1.544,98 \text{ t/dia} \times 365 \text{ dias} = 563.917,70 \text{ t/ano.}$$

Mais de 500 mil toneladas de lixo que vão causar as externalidades já descritas.

### **São Luís : (ano de 1989)**

Densidade Populacional do Estado : 15,57 hab./km<sup>2</sup>

Densidade Populacional da Capital : 750,656

PIB per Capita : R\$1.194,32

Equação 1 :

$$\text{def} = 0,1338269 - 0,0005556 \times 15,57 + 602,70763 \times \frac{1}{1.194,32}$$

$$\text{def} = 0,1338269 - 0,008650692 + 0,5046$$

$$\text{def} = 0,6297 \text{ ou } 62,97 \%$$

Equação 2 :

$$\text{lixo ger} = 2.554,88 + 0,296 \times 750,656 - 2,28 [ 1.194,32 ] + 0,000523 [1.194,32]^2$$

$$\text{lixo ger} = 2.554,88 + 222,194 - 2.723,04 + 746,0073$$

lixo ger = 800,041 t/dia.

Com os resultados combinados dos dois modelos ter-se-ia:

lixo não coletado =  $0,6297 \times 800,041 \text{ t/dia} = 503,78 \text{ t/dia}$ .

Cerca de 192 toneladas por dia não seriam coletadas e, portanto, causariam externalidades. Contabilizando este resultado em um ano :

$503,78 \text{ t/dia} \times 365 = 183.881,81 \text{ t/ano}$ .

O potencial de externalidades geradas seria de 183.881,81 t/ano.

Para se verificar a eficiência do modelo quanto a previsão realizada, calculou-se o erro percentual médio para cada um dos modelos com respeito a as duas capitais consideradas.

**TABELA 3.15 - ERRO PERCENTUAL MÉDIO DAS VARIÁVEIS DEPENDENTES DOS MODELOS**

Variáveis/Capital	Real (1)	Previsto (2)	2/1	EPM*
def (%)/São Paulo	91	83,72	0,92	
def (%)/São Luís	87	62,97	0,71	0,18
lixo ger.(t)/São Paulo	9.289	9.490	1,02	
lixo ger.(t)/São Luís	1.093	800,041	0,73	0,14

Fonte : o próprio autor.

\* EPM - Erro Percentual Médio

Verifica-se na tabela 3.15 que o erro percentual médio entre o déficit (def) real e o estimado é de 0,18, enquanto que o erro percentual médio entre o lixo gerado (lixo ger.) real e o estimado é de 0,14.

Comparando os valores reais e os previstos apresentados na tabela 3.15, percebe-se, também, que os modelos apresentam melhor previsão para a cidade com maior PIB per Capita e maior densidade populacional.

### **III. 5 - Aspectos Institucionais ligados a Coleta e Disposição dos Resíduos Sólidos :**

A Constituição Federal na atribuição de competência da União, Estados, Distrito Federal e Municípios em seu texto estabelece para a atividade Pública de Saneamento Básico, na qual está incluso o serviço de limpeza pública, a seguinte normatização :

“Cabe à União as diretrizes do Saneamento Básico” (art. 21, inciso XX, Brasil , 1988).

É da competência comum a todas as esferas de governo promover a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico.

“É da competência municipal organizar e prestar os serviços públicos de interesse local, como é o caso dos serviços públicos de saneamento básico” (art. 30, inciso V, Brasil, 1988). Enquanto uma atividade de interface ambiental, a atividade de Saneamento Básico e, por sua vez, a de limpeza pública, são reguladas também a nível Federal, pelo CONAMA - Conselho

Nacional de Meio-Ambiente que exerce função deliberativa, dentro do SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente.

Cabe, entretanto, a Estados e Municípios legislar de forma complementar e supletiva, inclusive ficando instituído aos órgãos municipais a competência para o licenciamento ambiental das atividades potencialmente poluidoras (como o são as alternativas de tratamento/disposição do lixo).

As principais resoluções do CONAMA pertinentes ao assunto são as seguintes :

- Orientação para uso e implementação de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (nº 1/86).
- licenciamento de obras de saneamento (nº 5/88)
- gerenciamento de resíduos industriais (nº 6/88)
- resíduos de Unidades de Saúde, Portos e Aeroportos (nº 6/91).
- destinação final dos resíduos sólidos (nº 5/93).

Como serviço de limpeza pública, estão incluídos os serviços de varrição das vias e logradouros públicos, de capinação e poda; como também, os serviços de coleta e destino final do lixo dentro da zona urbana do município, excluindo, entretanto, o lixo industrial cujo manuseio, acondicionamento, armazenagem, coleta, transporte e destino final, fica a cargo da própria empresa geradora.

As diretrizes e princípios básicos da prestação do serviço de limpeza pública, bem como de outros serviços públicos municipais, são estabelecidos pela Lei Orgânica do Município.

Além daquela, outros instrumentos legais ligados diretamente aos municípios são o Código de Posturas que regula a colocação do lixo e outros detritos nas vias públicas e terrenos urbanos vazios; a Lei do Uso e Ocupação do Solo, a qual disciplina, entre outros, as zonas específicas para a instalação das áreas que serão utilizadas para o destino final dos resíduos sólidos; o Código de Obras que disciplina o tratamento adequado de afluentes em toda e qualquer edificação em área urbana do município; e o Plano Diretor que fixa todo o planejamento do município, inclusive, com relação à formulação de estratégias, objetivos, metas e uso de instrumentos pelo sistema de limpeza pública.

Do ponto de vista da execução do serviço de limpeza pública, este pode ser realizado de forma centralizada ou descentralizada.

Na administração descentralizada, o serviço será executado por pessoa com personalidade jurídica distinta da do município. Aqui, distinguem-se três regimes diferenciados para a terceirização dos serviços : a) Regime de Permissão, sob o qual é outorgado ao prestador do serviço a execução do mesmo, na forma de decreto e com todas as condições, direitos e obrigações previstas em lei, no edital e na proposta vencedora, conforme a licitação pública; b) Regime de Concessão, que toma a forma de um contrato administrativo delegado a terceiros, passando, entretanto, por autorização legislativa prévia que regulará a concessão, bem como todas as questões pertinentes ao contrato; c) Consórcio Intermunicipal, formalizado entre os municípios interessados com a finalidade última de executar o serviço de forma compartilhada. Aqui, também, a participação do município dependerá

de autorização legislativa prévia, sem contrariar os limites impostos pela Lei Orgânica de cada Município participante.

Observe-se que, em todos os casos, é obrigatória a licitação pública para a execução de tais serviços, por terceiros. Ressalte-se, também, que os instrumentos legais do município têm seus atos normatizados a partir da legislação Federal e/ou Estadual, assim como pelos Decretos, Resoluções e Portarias dos Órgãos e poderes competentes.

## CAPÍTULO IV

### **Análise de Custo-Benefício como Auferidora dos Resultados Sociais Advindos do Tratamento do Lixo.**

O diagnóstico realizado no capítulo anterior deu uma noção da localização espacial dos problemas ligados aos resíduos sólidos, de modo que a questão agora é determinar os elementos envolvidos na valoração de custos e benefícios dos métodos de tratamento. Para tanto, esta valoração só será possível com a definição teórica do instrumental de análise que será usado para se chegar aos benefícios e custos do projeto, o que inclui o tratamento teórico dispensado aos resíduos sólidos enquanto externalidades.

Neste capítulo, o objetivo será abordar os elementos teóricos que norteiam a decisão econômica pautada na análise custo-benefício (a partir do princípio paretiano), assim como fazer uma caracterização econômica dos resíduos dentro do tratamento das externalidades, inclusive, apontando os métodos de tratamento/disposição selecionados de resíduos sólidos, como meios de evitar as externalidades negativas geradas pelos mesmos e, por essa via, promover a melhoria do bem-estar social.

#### **IV.1 - Critérios de Eficiência e Falhas no Sistema de Mercado:**

O princípio básico da análise do bem-estar<sup>17</sup> é que qualquer decisão econômica visa à maximização de algum resultado para o tomador da decisão. Este é considerado o componente de racionalidade que norteia não só a ação

---

<sup>17</sup> A partir de modelo o da concorrência perfeita.

dos agentes individuais, mas também, a sociedade em suas múltiplas relações e agentes.

forma:

**resultado** Maximizar um resultado significa confrontar alternativas de ação e verificar qual aquela que possibilita um maior ganho ou implica em uma menor perda, quando se consideram as restrições existentes.

perda:

**produto** A decisão que um indivíduo toma está sempre associada a dois resultados : um direto e outro indireto. E, por isso, implicitamente envolve dois níveis. Um está ligado ao resultado imediato que o indivíduo recebe ao tomar aquela ação. O outro nível está associado à comparação da alternativa de não tomar a ação, o custo de oportunidade que tal ação significa, em termos do sacrifício dos recursos usados para que essa ação seja tomada.

sacrifício:

**margem** Quando a decisão é o consumo de um bem, o resultado imediato é a utilidade marginal proveniente do consumo deste bem (seu valor de consumo). Por outro lado, o custo de oportunidade se manifesta no sacrifício de se gastar uma quantidade de dinheiro que poderia ter outro uso, e daí gerar outra utilidade marginal, na aquisição de outro bem. Sob este ponto de vista, o preço pago na aquisição do bem, deve pelo menos, ser igual ao valor do benefício fornecido pelo consumo da unidade marginal do bem.

O preço de mercado de um bem revela, portanto, a “disposição a pagar”, pelo benefício que será obtido com o consumo do mesmo e pode ser usado como parâmetro da medida do *bem-estar* para o indivíduo. Esta é a regra básica que norteia a ação do “consumidor racional”.

De igual modo, quando a decisão diz respeito à produção, o resultado imediato é auferido em termos do retorno que a utilização de um insumo fornece em termos do produto, isto é, sua produtividade marginal. E o resultado alternativo é o custo de oportunidade de se empregarem os fatores econômicos em uma função de produção, senão em outra, ou mesmo empregar os recursos financeiros de outra forma alternativa. Sob esta perspectiva, o emprego de uma unidade extra do insumo deve fornecer uma produtividade marginal, cujo valor é, pelo menos igual ao preço pago pelo fator. Assim, o custo marginal será igual ao preço pago pelo fator.

Com os agentes agindo racionalmente, então, o preço pago por cada bem no mercado deve ser uma boa medida de como a sociedade avalia, em termos reais, o benefício fornecido por aquele bem (seu valor de consumo) e o sacrifício no uso do recurso por utilizá-lo (seu valor de oferta). Se o custo marginal reflete o verdadeiro custo social dos recursos, a condição básica das decisões econômicas é que o preço de mercado seja igual ao custo marginal.

Não obstante, no cerne da questão acerca da decisão dos indivíduos (agentes) está a capacidade dos mesmos de poderem estabelecer um critério sobre o que é “melhor” para o seu bem estar, e a realização desse objetivo se materializa no que a teoria econômica chama de eficiência econômica.

A eficiência econômica atingida por cada agente individual, configura, assim, a motivação que deve regular a atividade econômica para se atingir o máximo bem-estar de toda a sociedade, ou seja, o bem-estar social. Uma

situação de “Equilíbrio Geral da Economia”<sup>18</sup>, e que representa a alocação ótima de todos os recursos da economia. Uma situação que passou a ser chamada convencionalmente de “Alocação Ótima de Pareto”.<sup>19</sup>

O princípio paretiano exprime, desse modo, uma condição de bem-estar máximo (ou de melhor bem-estar), na medida em que todos e cada indivíduo atingem uma posição de máxima eficiência.

A máxima de Pareto é sintetizada como : a condição na qual a produção e o consumo não podem ser rearranjados de modo que a utilidade de um indivíduo possa ser aumentada sem diminuir a de terceiros. Convencionou-se aceitar que um aumento do bem-estar da sociedade ocorre se a posição de pelo menos um indivíduo melhora (há um ganho em termos de eficiência), sem que ocorra qualquer piora na posição de outro indivíduo.<sup>20</sup>

A situação do ótimo de Pareto é, em termos reais, uma “situação idealizada”, onde na realidade não se espera que a economia esteja nessa situação. Mas que se deve buscar chegar a ela. Assim, as regras paretianas definem que as decisões econômicas devem buscar soluções ótimas, no que se definem melhorias paretianas no sentido estrito - MPE (Londero, 1987).

---

<sup>18</sup> A condição de Equilíbrio Geral se estabelece porque, nessa situação, cada agente está escolhendo a cesta de sua preferência, conforme sua restrição orçamentária, de modo que em todos os mercados a demanda iguala a oferta.

<sup>19</sup> Importante dizer que o equilíbrio de mercado é condição suficiente para a eficiência de Pareto. Por outro lado, na hipótese de preferências convexas à alocação eficiente no sentido de Pareto é um equilíbrio de mercado.

<sup>20</sup> Vale observar que definir uma melhoria no bem-estar é claramente um julgamento de valor, como bem observou Little (1973).

#### IV.1.2- Quando o Mercado Falha

Observa-se, entretanto, que a possibilidade de existência do ótimo de Pareto restringe-se à validação de certas hipóteses que delimitam a ação dos agentes e o funcionamento de um mercado concorrencial. Estas hipóteses se resumiriam nas seguintes: comportamento atomizado dos agentes, isto é, a decisão individual dos agentes não teria o poder de influir sobre os agregados básicos da economia: preços, salários, câmbio, juros. Está implícita, também, nesta hipótese, a suposição de que as ações dos agentes podem ser decompostas em variações marginais; a) onipotência nas decisões dos agentes, de forma que suas decisões são pertinentes e têm repercussão sobre si mesmas; não há qualquer efeito que extrapole aos outros agentes (inexistência de externalidades); b) perfeita mobilidade dos recursos da economia, tanto no mercado de bens, quanto no mercado de insumos; c) admite-se uma tecnologia homogênea na indústria, com função de produção, em cada empresa, caracterizada por retornos decrescentes de escala. Acrescenta-se a estas a inexistência de recursos ociosos, isto é, a impossibilidade de desemprego involuntário de recursos.

Ocorre que este mercado está sujeito a falhas, ou melhor, existem certas condições que modificam a capacidade do mercado de alocar, de forma eficiente, os recursos da economia. A pergunta que se faz é como as regras de eficiência podem ser mantidas quando as hipóteses que as sustentam são quebradas.

### IV.1.3 - Os Males e os Bens Públicos:

Os bens públicos (ou males públicos), ao contrário dos bens privados, têm como principais características o fato de que seu consumo é “não-rival” e/ou a ele não é aplicável o “princípio da exclusão”. A não-rivalidade ocorre quando o consumo de um bem por um indivíduo não impede que outro indivíduo possa, simultaneamente, consumir deste bem, sem que isto implique na diminuição do benefício auferido por ambos os indivíduos.

O princípio da exclusão está ligado diretamente ao direito de propriedade que um consumidor obtém quando efetua o pagamento por um bem e, assim o fazendo, adquire os benefícios decorrentes do mesmo, de forma exclusiva. Quando este princípio não é aplicável, significa dizer que a participação de um indivíduo nos benefícios não exclui a possibilidade de que outros indivíduos possam igualmente participar dos mesmos benefícios. Devido a isto, o preço não se torna mais uma boa medida da avaliação marginal desses benefícios, e o mercado não pode mais cumprir o seu papel. O mercado falha exatamente porque os consumidores não precisam mais revelar suas preferências para poder se beneficiar do consumo do bem.

O caso relevante é o consumo dos “ativos ambientais”<sup>21</sup> que, por suas características, são “non-market goods”, de modo que a “disposição a pagar” não é revelada.

---

<sup>21</sup> Os efeitos externos do consumo dos “ativos ambientais”, como por exemplo a fumaça, acaba por torná-la um mal público, visto que todos os indivíduos são afetados pela mesma e seu consumo por um indivíduo não diminui ou afeta o que é consumido por outro indivíduo qualquer.

#### IV.1.4 - Externalidades:

A presença de um bem público, por suas características de não-rivalidade e não-exclusão, revela que a não interdependência entre os agentes, se não pode ser considerada uma hipótese irrealista, é, no mínimo, de pouco apelo empírico.

De fato, é inegável um relacionamento muito estreito entre as decisões dos agentes e, mais, ocorrem efeitos paralelos decorrentes destas decisões no consumo e/ou produção que extrapolam as avaliações marginais dos agentes (individualmente). Em uma palavra: existem externalidades (side effects)<sup>22</sup>. Sob este ponto de vista uma externalidade no consumo poderia ser caracterizada como :

$$(1) U_a = f_a ( X_1, X_2, \dots X_n, Y_1), \quad \frac{\partial u_a}{\partial Y_1} \neq 0$$

onde X se refere a atividade do agente e Y a atividade de outro agente qualquer .

Contudo, para que exista uma externalidade, não basta que haja interdependência entre a atividade realizada por um agente e o nível de utilidade de outro, é preciso que esta atividade não seja acompanhada por uma compensação para aquele que fora prejudicado.

Assim pois, segundo Baumol e Oates (1988), para que realmente haja uma externalidade, duas condições devem ser cumpridas :

I) Uma externalidade está presente quando as relações de produção ou utilidade de algum indivíduo (digamos A) incluem variáveis reais cujos valores são escolhidos por outros (pessoas, corporações, governo), sem uma particular atenção ao efeito provocado no bem-estar do indivíduo A;

II) O tomador de decisão, cuja atividade afeta outros níveis de utilidade ou entra em suas funções de produção, não recebe (paga) uma compensação por esta atividade, em um montante igual, em valor, ao resultado (marginal) dos benefícios ou custos para os outros.

A segunda condição enfatiza o fato de que a não compensação pelo agente gerador do efeito externo conduz a uma perda (ganho) de bem-estar por outrém. Daí, quando cumpridas as duas condições, poderia haver algum ganho de troca entre os indivíduos A e B, ainda que estejam em equilíbrio.

Para o entendimento desta questão segundo Buchanan e Stubblebine (1962) é preciso fazer uma distinção entre as externalidades no que se refere a sua ação sobre os indivíduos. Assim, ter-se-iam : externalidade marginal e externalidade infra-marginal; externalidade potencialmente relevante e externalidade potencialmente não relevante; e externalidade Pareto relevante e externalidade Pareto irrelevante.<sup>23</sup>

Segundo aqueles autores, uma externalidade Pareto relevante existe quando :

<sup>23</sup> Uma resenha sobre o assunto pode ser encontrada em Mishan, E. J. - " The Postwar Literature on Externalities : an interpretative essay ", Journal of Economic Literature, 9 (1), Mar/1971, 1-28.

<sup>24</sup> Não se vai aqui seguir a argumentação completa dos autores, que formalizam uma a uma essas distinções. Segue-se apenas a conceitação mais pertinente ao que se está tratando.

$$(2) (-) \quad \begin{array}{l} u^a Y_1 / u^a X_j > [ u^b Y_1 / u^b Y_j - f Y_1^b / f Y_j^b ]_{Y_1=Y} \quad \text{quando} \\ u^a Y_1 / u^a X_j < 0, \quad e \end{array}$$

$$\begin{array}{l} u^a Y_1 / u^a X_j > (-) [ u^b Y_1 / u^b Y_j - f Y_1^b / f Y_j^b ]_{Y_1=Y} \quad \text{quando} \\ u^a Y_1 / u^a X_j > 0, \end{array}$$

onde, A é a parte afetada pela externalidade;

B é a parte que executa a externalidade; e

$X_j$  e  $Y_j$  são usados para designar, respectivamente,  
as atividades de A e B.

Os sinais representam a ocorrência de uma economia ou deseconomia externa provocada por B sobre A. O que assinala, também, a direção da mudança desejada por A sobre B, para que este mude seu comportamento.

A condição (2) estabelece que a taxa marginal de substituição de A entre a atividade de  $Y_1$  e uma atividade estabelecida como numerário  $X_j$ , deve ser maior do que a “taxa marginal de substituição líquida”<sup>24</sup>, entre a atividade  $Y_1$  e atividade numerário para B.

No entanto, quando B atinge o equilíbrio  $\rightarrow u^b Y_1 / u^b Y_j = f Y_1^b / f Y_j^b$ , a taxa marginal de substituição no consumo é igual a taxa marginal de substituição na produção e, desse modo, os termos entre colchetes são cancelados, com o qual obtém-se :

$$u^a Y_1 / u^a X_j > 0. \text{ Isto indica que novas trocas podem ser efetuadas.}$$

Por outro lado, o equilíbrio paretiano é definido quando :

$$(3) (-) \quad u^a Y_1 / u^a X_j = [ u^b Y_1 / u^b Y_j - f Y_1^b / f Y_j^b ] \quad \text{quando}$$

<sup>24</sup> Definida pelos autores como :  $u^b Y_1 / u^b Y_j - f Y_1^b / f Y_j^b$

$$u^a Y_1 / u^a X_j < 0, \text{ e}$$

$$\begin{aligned} (-) \quad u^a Y_1 / u^a X_j &= (-) [ u^b Y_1 / u^b Y_j - f Y_1^b / f Y_j^b ] \text{ quando} \\ u^a Y_1 / u^a X_j &> 0 \end{aligned}$$

Partindo da equação 2 até se chegar a equação 3, novas trocas devem ocorrer até que  $u^a Y_1 / u^a X_j = 0$ , o que quer dizer que as Externalidades Pareto Relevantes desaparecem no equilíbrio paretiano. Isto é atribuído à suposição de que A vai compensar ou receber uma compensação de B, pelo efeito da externalidade causada por este, até que sua perda ou ganho marginal seja finalmente igual a zero.

Aqui vale uma observação feita por Baumol (1965), de que o elemento de compensação implícito na argumentação de Buchanan-Stubline ocorre através de um pagamento, via preço. Portanto, se a compensação não ocorre chega-se claramente a uma situação de falha de mercado, pois o preço pago por B para realizar uma determinada atividade (digamos de consumo) será subestimado ou superestimado em relação aos benefícios ou malefícios que serão gerados por terceiros, e que não foram considerados na avaliação feita por B.

Há de se considerar, também, que a geração de um efeito externo tem como fonte principal a deficiência acerca dos direitos de propriedade sobre certos bens, particularmente sobre os chamados Bens Livres. A deficiência de direitos de propriedade acaba por provocar um "overuse" dos Bens Livres, gerando efeitos externos sobre os agentes.

## IV.2 - Resíduos Sólidos como Externalidades Ambientais :

Em toda economia, o processo de transformação produtiva gera inevitavelmente resíduos, seja na forma sólida ou líquida. É o resultado das implacáveis Leis da Termodinâmica que estabelecem que toda forma de energia e matéria não pode ser destruída mas sim constantemente convertida ou dissipada, de modo que os *inputs* do processo produtivo geram um equivalente fluxo de resíduos que devem ter algum tipo de destinação.

Segundo Pearce (1994) existe sempre uma equivalência em cada período entre o montante de resíduos gerados ( $W$ ) e o montante de recursos usados ( $I$ ) no processo produtivo. Assim :

$$I = W = W_R + W_P + W_C$$

Pela expressão acima ter-se-ia uma equivalência entre os resíduos gerados na exploração dos recursos naturais  $W_R$ , resíduos gerados no processo de produção  $W_P$ , e os resíduos gerados no consumo  $W_C$ , com o montante de recursos ( $I$ ) que entram na cadeia produtiva.

Há que se distinguir, entretanto, em cada um dos três fluxos de geração de resíduos, aqueles que obtêm um valor econômico positivo (scraps) e aqueles cujo custo de recuperação é maior do que o valor do material recuperado (Wastes).

Os resíduos com valor econômico positivo podem ainda ser divididos entre os que são reprocessados na própria unidade produtiva geradora (home

Scraps), no que se chama de reciclagem indireta e aqueles que podem ser mais tarde vendidos como subprodutos para outras unidades produtivas (prompt scraps).

A distinção entre os materiais que podem ser reciclados ou não, vai depender da tecnologia disponível em cada momento, mas também, da relação que se estabelece entre o custo de recuperação e a receita (benefícios) decorrente da venda ou utilização interna do material reciclado. Se o custo marginal de recuperação exceder a receita marginal advinda da venda do material reciclável, então, este material receberá uma forma de tratamento ou disposição final. Há de se observar que, para a empresa, o tratamento antes da disposição final será exequível, somente quando o custo marginal de tratamento for menor que a diferença entre a receita marginal e o custo marginal de recuperação.

Do ponto de vista econômico, toda forma de resíduo sólido, independentemente da origem, é uma fonte de ineficiência de mercado, na medida que o custo da alienação dos mesmos não é incorporado no preço do produto (Page, 1977). Ocorre, deste modo, uma falha de mercado, pois o preço pago por um bem não inclui o custo referente ao tratamento/disposição dos resíduos após seu consumo pelas unidades econômicas.

Por outro lado, a alienação dos resíduos sólidos, sem qualquer tipo de tratamento, torna-se uma externalidade ambiental, pelas conseqüências degenerativas que estes causam ao meio ambiente e ao homem, reduzindo, por esta via, o bem-estar social. A presença dos resíduos sólidos impõe custos

externos aos agentes econômicos, onde a perda de bem-estar não é acompanhada por nenhum tipo de compensação.

A disposição do lixo sem tratamento em terrenos baldios ou na via pública é um típico caso de deficiência dos direitos de propriedade, pois os agentes tratam os logradouros públicos como lugares onde podem ser alienados os resíduos indiscriminadamente.

Vale também ressaltar que a alienação do lixo pelos agentes não tem o objetivo de gerar as externalidades ambientais decorrentes, mas tão somente é consequência de sua atividade, seja na produção ou no consumo.

As externalidades ambientais causadas pelos resíduos sólidos atuam diretamente sobre o meio-ambiente através da poluição hídrica, da poluição do solo e da poluição atmosférica. Os danos decorrentes sobre o bem-estar humano podem ser estendidos ainda a três categorias<sup>25</sup> : I) perda material e de propriedade; II) valores estéticos; III) saúde e capacidade de geração de renda.

A perda material e de propriedade ocorre pela desvalorização imobiliária causada aos imóveis próximos aos lixões; prejuízos causados pelo entupimento de valas, canais e escoadouros d'água, com conseqüentes inundações, quando da ocorrência de chuvas.

Os valores estéticos perdidos com os resíduos sólidos atingem a paisagem das localidades onde são dispostos de forma inadequada, ou

---

<sup>25</sup> As formas de Poluição hídrica, do solo, e do ar, no que diz respeito aos resíduos sólidos já foram explicadas no capítulo I.

mesmo na porta das casas. Em ambos os casos, os prejuízos estéticos são acompanhados ainda pelos maus odores provocados pela matéria orgânica em decomposição existente no lixo, seja de fonte doméstica ou de qualquer outra fonte.

Os problemas de saúde pública decorrentes dos resíduos são estabelecidos pela relação existente entre resíduos → vetores → doenças<sup>26</sup>, com efeitos multiplicadores sobre a população humana. Os gastos, que são originários das doenças causadas pelos vetores ou contato direto com os resíduos, são o principal custo advindo do tratamento inadequado dado aos resíduos sólidos.

Uma observação importante é que as perdas materiais e de propriedade, bem como a relativa a valores estéticos (incluindo odores), têm um efeito mais direto sobre os agentes e, portanto, são mais facilmente identificadas pelos mesmos. Em contrapartida, os efeitos de saúde, por terem uma relação mais indireta, ou pelo menos, menos visível, com os resíduos, não são identificadas por parte da população como fatores que influenciam na perda de seu bem-estar.

O caso acima pode muito bem ser ilustrado pelo fato de que as pessoas têm por hábito jogar lixo na vizinhança, retirando-o da porta de suas casas. Este tipo de atitude evita, aparentemente, os efeitos estéticos gerados pelos resíduos, porém não evita os efeitos de saúde, inclusive, para o agente gerador do efeito externo.

---

<sup>26</sup> A relação supracitada também já foi objeto do capítulo I.

Por outro lado, é pelo caráter de externalidade ambiental que, ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, é conferido o caráter de bem público, cujos serviços inclui a sua coleta, transporte, tratamento e disposição final. E quanto a tomada de decisão, para qualquer configuração de gerenciamento escolhida, os benefícios devem exceder os custos, assim como, a escolha ótima da atividade é dada pelo ponto onde a diferença entre benefícios e custos é maximizada (Pearce, 1992).

No caso dos resíduos sólidos urbanos, portanto, ocorre a internalização pelas administrações municipais dos custos externos por eles provocados.

### **IV.3 - Mensuração das Externalidades e Critérios de Compensação:**

#### **IV.3.1 - Mensuração de Custos e Benefícios:**

Do ponto de vista da Análise Custo-Benefício, o gerenciamento dos resíduos sólidos pelas administrações municipais, deve considerá-los como externalidades negativas, de modo que deve ser imputada como benefício a diminuição dos efeitos negativos que os resíduos causariam, e como custo os efeitos externos causados.

A decisão quanto às alternativas de tratamento dos resíduos deve, por essa via, do ponto de vista do bem-estar social, incorporar não somente os custos privados (investimento e operacionais), mas também, os custos

externos (custos ambientais), que são evitados quando se dá um tratamento e destino adequado aos resíduos sólidos.

O problema é como medir benefícios e custos em unidades equivalentes e, portanto, comparáveis, para se chegar a uma medida na mudança de bem-estar, quando se adotam métodos de tratamento/disposição para os resíduos sólidos.

A dificuldade ocorre pelo fato de os consumidores não revelarem a sua “disposição a pagar” pelos benefícios de se evitarem as externalidades provocadas pelos resíduos. O que leva à utilização dos chamados “mercados de recorrência”<sup>27</sup>, para expressar os benefícios que seriam obtidos com a utilização de métodos adequados de tratamento/disposição dos resíduos.

A medida de comparação entre custos e benefícios é aquela entre custos evitados (benefícios) pelas externalidades que seriam geradas, e custos de se implantarem e operarem os métodos de tratamento/disposição julgados adequados.

Com base nesse procedimento, pode-se chegar a uma aproximação dos benefícios auferidos em termos monetários e, daí, comparar com os custos, estes já expressos em termos monetários.

---

<sup>27</sup> Os métodos mais indicados para se chegar aos “Surrogate markets”, mercados de recorrência, são os usados para encontrar um valor implícito aos bens ambientais como, a abordagem de preços hedônicos, ou através de avaliação contingente. Para qualquer um dos métodos são requeridos séries históricas, que inexistem no caso brasileiro, ou só poderiam ser obtidas por uma ampla pesquisa direta, o que é oneroso para as pretensões deste trabalho.

Também, é importante dizer que o próprio serviço de gerenciamento gera também externalidades ambientais em todas as suas fases. No caso dos métodos de tratamento adotados, as externalidades principais dizem respeito a poluição atmosférica : emissão de gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>), que são gases que têm potencial de causar “global warming” e acelerar o processo de destruição da camada de ozônio (Powell; Brison, 1994).

A equação completa quanto a decisão da adoção de métodos de tratamento/disposição dos resíduos sólidos municipais seria a seguinte :

$$a) \quad \sum_{t=0} B > \sum_{t=0} C_{ip} + \sum_{t=0} C_e = \sum_{t=0} B_l$$

onde, B = benefícios (custos evitados) com o projeto;

C<sub>ip</sub> = custos de implantação e operação;

C<sub>e</sub> = custos externos gerados com o projeto;

B<sub>l</sub> = benefício líquido obtido com o projeto.

O somatório dos benefícios (custos evitados) têm que ser maior que os custos de implantação e operação, bem como os custos externos gerados pelos próprios métodos de tratamento/disposição adotados<sup>28</sup>, para que a decisão tomada gere bem-estar social, signifique um benefício social líquido .

Uma fórmula alternativa é dada pela expressão abaixo :

$$b) \quad \sum_{t=0} [(C_c - C_s) - C_i]_t = \sum_{t=0} B_{it}^{29}$$

<sup>28</sup> No caso brasileiro, mais uma vez, esbarra-se, neste particular, na indisponibilidade de informações quanto a existência de medidas que possam dar uma aproximação das externalidades geradas.

<sup>29</sup> A partir de MAY (1995).

onde ,  $C_c$  = custos após o projeto;

$C_s$  = custos na ausência do projeto;

$C_i$  = custos de implantação e operação;

$B_{it}$  = benefício incremental com o projeto, todos os

valores definidos para o tempo  $t$ .

A medida do benefício incremental com o projeto pode ser obtida tomando-se a diferença entre os custos “com” e “sem” o projeto, e os custos de implantação e operação do projeto.

#### IV.3.2 - Um Critério de Compensação :

Ficou claro, pelo que foi dito até aqui, que uma regra de decisão econômica, para que se respeite o princípio paretiano, deve considerar a possibilidade de que o efeito da ação interdependente entre os agentes possa ser mutuamente compensada.

Com este intuito, alguns autores elaboram o que passou a ser chamado “princípio da compensação”<sup>30</sup>. Em termos bastante simples, a comparação entre duas situações de bem-estar, por este critério, estabelece que : um estado  $Y$  é socialmente preferível a um estado social  $X$ , se aquele que ganha com o movimento para  $Y$  pode compensar aquele que perde e, ainda assim, obter algum ganho.

Isto ocorre exatamente porque é possível que os ganhadores paguem as perdas a quem teve seu bem-estar diminuído com a ação, de modo que não

---

<sup>30</sup> Aos nomes de Hicks (1939), Kaldor (1939) e, mais tarde, Scitovsky (1941) estão relacionados diretamente a elaboração deste princípio.

haverá ninguém pior após a realização de tal ação e, portanto, se pode cumprir o princípio paretiano.

Em termos de uma função preferência, pode-se pensar que algumas pessoas iriam preferir a posição Y (os ganhadores), embora outros possam ficar indiferentes (perdedores), quando fossem completamente compensados, ocorrendo ao final uma ganho social líquido .

Usando o desenvolvimento feito por Pearce (1976), pode-se demonstrar melhor o que foi dito, do seguinte modo :

seja :  $Cv_g$  = Compensação máxima que os ganhadores estariam dispostos a pagar para empreender a ação.

$Cv_p$  = Compensação mínima que os perdedores estariam dispostos a receber para não serem prejudicados pela ação.

$Ev_p$  = Compensação máxima que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais não executem a ação.

$Ev_g$  = Compensação mínima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a receber para que não realizem a ação.

A prova de compensação é satisfeita quando :

$$(1) \sum_g Cv_g \geq \sum_p Cv_p \quad \text{ocorre a mudança e os perdedores serão compensados.}$$

O somatório da compensação (máxima) que os ganhadores estariam dispostos a pagar para empreender a ação seria maior ou igual a compensação mínima que os perdedores estariam dispostos a receber para não serem prejudicados pela ação.

ou

$$(2) \quad \sum_p EV_p \geq \sum_g EV_g \quad \text{n\~{a}o ocorre a mudan\~{c}a e os benefici\~{a}rios potenciais seriam compensados.}$$

O somat\~{o}rio da compensa\~{c}o (m\~{a}xima) que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais n\~{a}o executem a a\~{c}o seria maior ou igual a compensa\~{c}o m\~{i}nima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a receber para que n\~{a}o realizem a a\~{c}o.

Poderia, entretanto, ocorrer uma situa\~{c}o em que, simultaneamente,

$$(3) \quad \sum_g EV_g \geq \sum_p EV_p \quad \text{e} \quad (4) \quad \sum_g CV_g < \sum_p CV_p$$

$$(5) \quad \sum_g EV_g \geq \sum_g CV_g \quad \text{e} \quad (6) \quad \sum_p CV_p > \sum_p EV_p$$

O somat\~{o}rio da compensa\~{c}o m\~{i}nima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a receber para que n\~{a}o realizem a a\~{c}o seria maior ou igual a compensa\~{c}o m\~{a}xima que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais n\~{a}o executem a a\~{c}o (3). E o somat\~{o}rio da compensa\~{c}o (m\~{a}xima) que os ganhadores estariam dispostos a pagar para empreender a a\~{c}o seria menor que a compensa\~{c}o m\~{i}nima que os perdedores estariam dispostos a receber para n\~{a}o serem prejudicados pela a\~{c}o (4). Ao mesmo tempo, que o somat\~{o}rio da compensa\~{c}o m\~{i}nima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a receber para que n\~{a}o realizem a a\~{c}o seria maior ou igual ao somat\~{o}rio da compensa\~{c}o (m\~{a}xima) que os ganhadores estariam dispostos a pagar para empreender a a\~{c}o (5). E o somat\~{o}rio da compensa\~{c}o m\~{i}nima que os perdedores estariam dispostos a receber para n\~{a}o serem prejudicados pela a\~{c}o seria maior que o somat\~{o}rio da

compensação (máxima) que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais não executem a ação (6).

De modo que se teria :

$$(7) \sum_g Ev_g \geq \sum_g Ev_p, \sum_g Cv_g \text{ e } (8) \sum_p Cv_p > \sum_p Ev_p, \sum_g Cv_g$$

O somatório da compensação mínima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a receber para que não realizem a ação seria maior ou igual ao somatório da compensação máxima que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais não executem a ação e ao somatório da compensação máxima que os ganhadores potenciais estariam dispostos a pagar para empreender a ação. Juntamente com o fato de que o somatório da compensação mínima que os perdedores estariam dispostos a receber para que não fossem prejudicados pela ação seja maior que o somatório da compensação máxima que os perdedores estariam dispostos a pagar para que os ganhadores potenciais não executem a ação e ao somatório da compensação máxima que os ganhadores estariam dispostos a pagar para empreender a ação.

Com isto não se sabe se  $\sum_g Ev_g$  é maior ou menor que  $\sum_p Cv_p$ , de modo que não há como apontar qual seria a situação preferível, com ou sem a ação.

Na vigência das desigualdades acima, o princípio da compensação não satisfaz para expressar uma Melhoria de Pareto. Tal situação foi apontada por Scitovsky no que ficou conhecido como Paradoxo de Scitovsky.

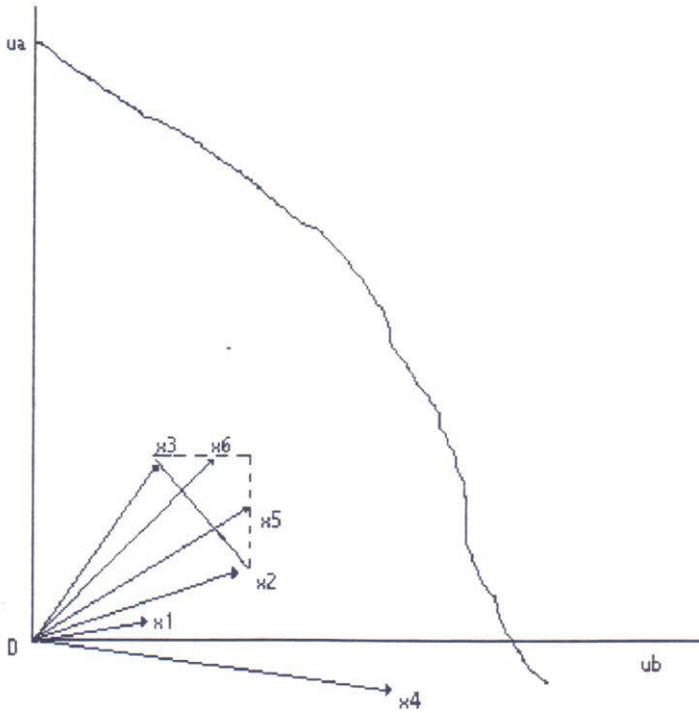
Observa-se que a situação (2) evidencia uma clara distribuição de renda e, assim, a regra da compensação poderia ser usada em comparação com os efeitos distributivos de uma decisão. Aqui, vale ressaltar que as condições acima são possíveis na efetuação do pagamento da compensação. Se ela não ocorre, e este parece ser o caso mais comum, evidencia-se uma distribuição dos rendimentos, em favor dos beneficiários da decisão.

Todavia, numa situação no contexto da oferta de um bem público, deverá haver perdedores potenciais, porém os benefícios sociais serão repartidos de forma igualitária entre perdedores e ganhadores. Assim sendo, se a parcela dos benefícios mais do que compensar os perdedores, gera-se um efeito líquido a despeito de que possa haver perdedores. Observa-se ainda que este parece ser o caso típico da oferta de tratamento adequado ao lixo urbano que atinge a todas as camadas da população.

O que é interessante, entretanto, é que o princípio da compensação, introduziu na Análise Custo-Benefício o critério da “Melhoria Potencial de Pareto”, pelo qual a relevância social de uma decisão econômica (projeto) existe se a soma total do benefícios obtida com o projeto por seus ganhadores for suficiente para pagar e garantir que, se o projeto for executado, exceda a soma total de dinheiro que os perdedores aceitariam como compensação (Sugden; Willians, 1976).

Para ilustrar a diferença existente entre o “critério paretiano” e o “critério de Melhoria Potencial de Pareto”, pode-se observar a figura 3.1 abaixo;

Figura 3.1 : Critério Paretiano X Critério da Melhoria Potencial de Pareto.



Na figura 3.1, representativa da Curva de Possibilidade de Utilidade entre os indivíduos **a** e **b**, identificam-se quatro cursos de ação possíveis e mutuamente excludentes ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ) que podem ser tomados a partir da situação **D** subótima.

Pelo critério paretiano, a escolha de  $DX_4$  será logo eliminada, pois implica na piora da situação de **A**. Comparando as ações restantes, chega-se a que  $DX_2$  e  $DX_3$  são melhores no sentido de Pareto em relação a  $DX_1$ , visto que de  $X_1$  é possível melhorar **A** e **B** ao se passar para os pontos  $X_2$  e  $X_3$ . Todavia, a comparação entre  $DX_2$  e  $DX_3$ , pelo critério paretiano, não é possível, uma vez que, para qualquer um destes casos, haverá uma melhora da posição de um indivíduo em detrimento do outro. As posições  $X_2$  e  $X_3$  são Pareto incomparáveis.

Supondo, agora, que seja escolhido o curso de ação  $DX_3$ , e o indivíduo A possa compensar B para que este não fique em pior situação do que se estivesse em  $X_2$ . Esta situação pode ser indicada em  $X_5$ . Desde que a posição  $X_5$  possa ser alcançada de  $X_3$ , e  $X_5$  é Pareto- superior a  $X_2$ , então se pode considerar  $X_3$  como Pareto Potencialmente Superior a  $X_2$ .

Ressalte-se, entretanto, que se pode supor, também, seja optado o curso de ação  $DX_2$ , e ao indivíduo B seja possível compensar A para que este não fique em pior situação, caso estivesse em  $X_3$ . Esta situação é alcançada em  $X_6$ . Como a posição  $X_6$  (hipoteticamente) pode ser alcançada de  $X_2$ , então poderíamos considerar  $X_2$  como Pareto Potencialmente Superior a  $X_3$ . Este seria o próprio argumento que fundamenta o Paradoxo de Scitovsky, pois tanto A como B poderiam ser ditos potencialmente superiores relativamente um ao outro.

Na definição “ex-ante” de um juízo distributivo em favor de A ou B, a escolha de somente um curso de ação ( $X_2$  ou  $X_3$ ) seria possível.

No caso da adoção de métodos de tratamento/disposição adequados, a decisão tomada, desde que seguindo os princípios e procedimentos sanitários adequados, tornaria os benefícios resultantes independentes de quaisquer efeitos distributivos. Dito de outro modo, a decisão tomada atingiria de modo indiscriminado a todos, não causando, portanto, efeito distributivo.

No próximo capítulo V, a seguir, serão discutidos os custos de implantação e de operação dos métodos de tratamento selecionados, e no capítulo VI, serão calculados os benefícios advindos com a implantação dos mesmos, para que se determine, por fim, o benefício líquido social.

## CAPÍTULO V

### **Investimento e Custos Requeridos por Usinas de Reciclagem e Compostagem e Aterros Sanitários.**

Para a determinação dos custos e benefícios tanto da Usina de Reciclagem e Compostagem como de um Aterro Sanitário, criou-se um modelo idealizado quanto à população a ser atendida. Assim admitiu-se que a implantação destes métodos de tratamento venha a atender uma população de 1.000.000 de habitantes, e que o índice de cobertura da coleta seja de 100%.

#### **V.1 - Usina de Reciclagem e Compostagem <sup>31</sup>:**

Como já assinalado no capítulo I, existem diferentes sistemas ou processos de compostagem utilizados no Brasil, tanto no que diz respeito à compostagem por decomposição aeróbica quanto por decomposição anaeróbica.

Cada processo é constituído, por sua vez, de diferentes operações de tratamento mecânico e de fermentação, as duas fases operacionais nas quais se constituem o processo utilizado em qualquer Usina a ser implantada.

---

<sup>31</sup> O Projeto de Engenharia da Usina de Reciclagem e Compostagem, particularmente quanto a infraestrutura, seguiu, em linhas gerais, os elementos apontados pelo Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental do Complexo de Destinação dos Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Belém (SESAN, 1994), já que o mesmo se aplicava ao modelo definido por este estudo.

Para efeito de cálculo de “custos” (implantação e operação) utilizou-se tecnologia-padrão, isto é, o conjunto de operações que são comuns à maioria dos “Sistemas” utilizados no país.

Por outro lado, no que diz respeito à escolha da capacidade instalada para a usina de Reciclagem e Compostagem a ser instalada, adotou-se como referência uma escala de processamento de 500 t/dia de lixo bruto, com um regime de trabalho de 8 horas em um turno contínuo.

A escala de produção adotada seria destinada a cidades de médio porte, com população entre 200.000 a 1.000.000 de habitantes. Esta escala de produção parte da consideração de uma produção média (per capita) de lixo doméstico de 0,500 kg/dia. Além disto, a escolha desta escala de produção segue as experiências brasileiras onde, mesmo para as cidades com população acima de 1.000.000 de habitantes, as usinas têm em média uma capacidade de processamento de 500 t/dia. Deste modo, mesmo em cidades de grande porte (acima de 1.000.000 de habitantes) a adoção desta escala de produção atende à demanda por este tipo de serviço. Até porque, para as cidades que geram uma quantidade de lixo doméstico superior a 500 t/dia, existe a possibilidade de implantação de novas unidades com capacidade de processamento que venha complementar a necessidade requerida.

Há de se observar também que a experiência com a implantação de Usinas com capacidade superior a 750 t/dia indica serem ineficientes se revelado ineficiente, seja por problemas operacionais, problemas com o mercado de recicláveis, ou devido à existência de Deseconomias de Escala.

Para a escala de produção adotada, o Sistema de processamento<sup>32</sup> será composto por 2 (duas) unidades, cada qual com capacidade de processar até 250 t/dia, com funcionamento independente e completo. Cada unidade, por sua vez, será formada por duas linhas de triagem de 125 t/dia, montadas em paralelo, abrigadas sob uma única cobertura e contando com os sistemas listados a seguir :

- I - Sistema de Recepção do Lixo e Alimentação;
- II - Sistema de Catação;
- III - Sistema de Trituração;
- IV - Sistema de Peneiramento
- V - Sistema de Tratamento e Estocagem do Composto;
- VI - Sistema de Beneficiamento e Estocagem dos Materiais Separados;
- VII - Sistemas Auxiliares;
- VIII - Urbanização e Ajardinamento.

Por sua vez, cada módulo de processamento será composto das seguintes instalações :

- I) Alimentação do lixo;
- II) Tratamento e separação do lixo;
- III) Fermentação Aeróbia.

I - Sistema de Recepção e Alimentação - formado pelos seguintes elementos :

---

<sup>32</sup> As informações quanto a definição do Sistema de Processamento, bem como, o preço total dos equipamentos, foram obtidos, via fax, junto a empresa Iguaçumec Eletromecânica Ltda. Observa-se que outras empresas fornecedoras de equipamentos foram contactadas mas não enviaram respostas.

- Balança rodoviária com capacidade de 30 t e plataforma de 8 x 3 m, em concreto;
- Cabine de pesagem;
- Fosso de concreto com capacidade de 120m<sup>3</sup>, por módulo, para descarga simultânea de três caminhões coletores;
- Pátio de manobras;
- Carregador hidráulico tipo pólipó, modelo MEC-4000, confeccionado em chapas de aço carbono, acionado diretamente por motor e bomba hidráulica de engrenagens, cinco cilindros hidráulicos, capacidade de carga de 0,7 m<sup>3</sup>, e plataforma de operação individual;
- 2 (duas) - moegas metálicas para recepção do lixo, construídas em chapas de aço carbono, com capacidade 5 m<sup>3</sup>;
- 2 (dois) - transportadores mecânicos tipo taliscas, construídos em chapas e vigas laminadas de aço carbono, com as dimensões de 4,1m de comprimento e 1,2m de largura e velocidade de 5,0 m/min.

II - Sistema de Catação - formado pelos seguintes elementos :

- 2 (dois) - transportadores mecânicos contínuos de correia (catação), construídos em chapas de aço carbono, com dimensões de 30,0m de comprimento e 1,2 m de largura, acionado por motor e redutor.
- 62 (sessenta e dois) - carrinhos metálicos manuais, com capacidade total de 250 litros, construídos em chapas de aço carbono, com duas rodas maciças de borracha sintética.

III - Sistema de Trituração - formado pelos seguintes elementos :

- 2 (dois) - moinhos trituradores para lixo, do tipo martelo, confeccionados em chapas de aço carbono, com placas de silício,

acionamento indireto por motor elétrico de 60CV, motor para 20 martelos em aço-liga e 1 grelha de dilaceração;

- 2 (duas) - bicas de alimentação tipo balística para eliminação de materiais não-trituráveis, confeccionadas em aço carbono;
- 2 (duas) - estruturas de sustentação do moinho, confeccionadas em vigas laminadas de aço carbono.

IV - Sistema de Peneiramento - formado pelos seguintes elementos :

- 1 (uma) peça - peneira rotativa cilíndrica, com dimensões de 5,00m de comprimento e 1,56m de diâmetro, confeccionada com chapa de aço carbono e malha de peneiramento com diâmetro de “ $\frac{3}{4}$ ”;
- 2 (dois) - transportadores mecânicos contínuos de correia, com dimensões de 5,5m de comprimento e 0,8m de largura, com função de retirar o material peneirado;
- 1 (um) - transportador mecânico contínuo de correia, com dimensões de 8,5m de comprimento e 0,8m de largura, acionado por motor, cuja função é a alimentação do composto curado.

V - Sistema de Tratamento e Estocagem do Composto - formado pelos seguintes elementos :

- 04 (quatro) - prensas hidráulicas verticais para enfardamento de papel, papelão e plástico fino, com capacidade de 800kg/h, confeccionadas em chapas metálicas de aço carbono, acionadas por motor elétrico de 10 CV, para fardos de até 100 kg;
- 02 (duas) - prensas hidráulicas horizontais para enfardamento de latas, com capacidade de 650kg/h, confeccionadas em chapas de aço carbono, acionadas por motor elétrico de 5CV, para fardos de 50kg.

VI - Sistema de Tratamento e Estocagem dos Materiais Separados - formado pelos seguintes elementos :

- Junto aos prédios da Usina deverá ser construído um pátio, pavimentado, para realizar a etapa de Cura do Composto, com área suficiente para a maturação e para trinta dias de estocagem.

VII - Sistemas Auxiliares :

- Engloba as obras de infra-estrutura, e deverá ser composto das seguintes obras : administração, iluminação, sistema de drenagem da área industrial e sistema de esgoto sanitário;

- A administração deverá contar com área suficiente para acomodar 10 funcionários e será composta de : salas, refeitório, banheiros e vestiário;

- A parte relativa à iluminação contará com um sistema de iluminação interna e externa;

- O sistema de drenagem será composto de caixas de drenagem, conectadas por tubulação a um tanque de armazenamento, equipado por bombas;

- O sistema de esgoto sanitário será composto por um sistema de fossa e sumidouro.

VIII - Sistema de Urbanização e Ajardinamento :

- Engloba a pavimentação da área (pátio) de cura, vias de circulação e estacionamento de veículos e, ainda, o ajardinamento da área em volta da Usina.

- Os investimentos necessários para uma Usina com capacidade (escala de produção) de 500 t/dia são listados abaixo :

## 1 - Terreno :

O valor dos terrenos, segundo a Engenharia de Avaliações (NB-502/89 - Avaliação de Imóveis Urbanos), depende de uma série de fatores como por exemplo: testada (m); localização, mercado, etc, de modo que não é possível se estabelecer um valor padrão como referência, mesmo se conhecendo a área a ser destinada à Usina. Ainda assim, para efeito de cálculo foi atribuído o valor de R\$2,50 para o m<sup>2</sup> do terreno, com base no preço médio do m<sup>2</sup> dos terrenos localizados fora do perímetro urbano.

Área considerada 150.000m<sup>2</sup>. Valor m<sup>2</sup> R\$2,50 logo :  $2,50 \times 150.000$   
= R\$375.000,00

## 2 - Infra-estrutura :

a) Sede Administrativa : área construída 350m<sup>2</sup>;

- Sala da Superintendência;
- Sala da Secretaria e Arquivo;
- Almoxarifado;
- Refeitório;
- Cozinha e Despensa;
- Sanitário masculino (55m<sup>2</sup>);
- Sanitários feminino (55m<sup>2</sup>).

f) Muro (160m parte frontal, 250m partes laterais);

g) Estação de Pesagem (cabine de pesagem 12m<sup>2</sup>) e plataforma de concreto de 8x3m;

h) Guarita (14m<sup>2</sup>);

- i) Portão de ferro (9,80 m<sup>2</sup>);
- j) Sistema sanitário: fossas sépticas (comprimento 1,60m; largura 0,80m;profundidade de 1,00m) e sumidouros (tanque cilíndrico na extensão de 1,00m de diâmetro por 1,00m de profundidade);
- k) Rede de Distribuição (água); 798m com tubulação e PVC (diâmetros variando de 150mm, 110mm e 85mm);
- l) Rede de Distribuição Complementar : 720 metros com tubulação de ferro galvanizado rosqueado, classe 10, com diâmetros de 100 e 105mm, e reservatório elevado (de concreto com capacidade de 50.000 litros);
- m) Sistema de Drenagem : composto de caixas de drenagem conectadas por tubulação e um tanque de armazenamento;
- n) Fossos de recepção: 120m<sup>3</sup>;
- o) Pavimentação da Área de Cura : 3.000m<sup>2</sup>;
- p) Pátio de recepção : 200m<sup>2</sup>;
- q) Galpão de Triagem - área coberta 560m<sup>2</sup>, confeccionado em chapas de aço carbono, com pés e tesoura treliçadas, com cobertura e fechamento nas cabeceiras, em telhas galvanizadas de 0,6mm, contravento horizontal e longitudinal com chumbadores;
- r) Lagoa de Estabilização.

Total da Infra-estrutura : R\$551.527,47. Os cálculos da Infra-estrutura são apresentados no anexo 1.

### 3 - Equipamentos :

- 1 - Carregador hidráulico tipo póliplo, modelo MEC-4000;
- 2 - Moega metálica;
- 2 - Transportador mecânico do tipo taliscas;
- 2 - Transportador mecânico contínuo de correia (30,0 x 1,2);
- 4 - Transportador mecânico contínuo de correia (6,5 x 0,8);
- 1 - Transportador mecânico contínuo de correia (8,5 X 0,8);
- 62 - Carrinho metálico;
- 2 - Moinho Triturador;
- 2 - Bica de alimentação do tipo balística;
- 2 - Peça de estrutura de sustentação do moinho;
- 4 - Prensa hidráulica vertical;
- 4 - prensa hidráulica horizontal;
- 1 - Peneira Rotativa cilíndrica;
- 1 - Conjunto Moto bomba Ksb - ETANDRM - Mod 40-160 com motor elétrico de 15 HP. Valor : R\$1.800,00
- 1 - Conjunto Moto bomba ETABLOCK - Mod 32 -125 com motor elétrico de 3 CV. Valor : R\$530,00
- 1 - Balança Rodoviária (40t) : R\$10.000,00

Valor dos equipamentos, inclusive, montagem e "Posta em

Marcha":

Valor : R\$1.912.233,00

### 4- Veículos :

- 1 - Caminhonete do tipo Caçamba (modelo Ford F1000 pot. 88,2 C. V. diesel.). Valor : R\$29.909,00.
- 1 - Caminhão do tipo basculante (modelo Ford F12000/194 - 131 4,0/11). Valor:R\$64.200,00.

## 5 -Móveis e Utensílios :

- 3 - Mesas p/ escritório;
- 2 - Estantes em ferro;
- 3 - Cadeiras de Escritório;
- 2 - Arquivo (em ferro);
- 10 - Cadeiras de Madeira;
- 1 - Aparelho de ar condicionado;
- 4 - Mesas de Madeira;
- 1 - Filtro de água Industrial;
- Utensílios em geral.

Valor Total : R\$ 40.000,00.

## 6 - Uniformização e Fornecimento de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) :

O trabalho na Usina exige certos equipamentos , bem como uma padronização quanto aos uniformes utilizados, que também contribuem para a segurança e maior grau de salubridade no trabalho. Os componentes básicos do EPI são: bota, galocha, luvas, toucas e máscaras. Com este conjunto, espera-se a perfeita proteção da mão-de-obra ligada ao processo de operação da Usina.

Para efeito de cálculo, adotou-se a necessidade imediata de compra de 50 kits de EPE, e 100 uniformes, seguindo a determinação da mão-de-obra requerida para se trabalhar na Usina e, ainda, uma reserva de cerca de 20% do material. Os cálculos são mostrados na tabela 5.1 abaixo.

**TABELA 5.1 UNIFORMIZAÇÃO E EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL .**

Item	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Valor Total
Conj. Calça/camisa	80	31,00	2.480,00
Calçado	80	16,00	1.280,00
EPI	50	32,52	1.626,00
Total	-	-	5.386,00

Fonte : Conjuntura Econômica set/96.

Valor Total do Investimento : R\$2.978.255,47

## **V.2 - Considerações acerca do Mercado de Recicláveis oriundos de Usinas de Tratamento no Brasil :**

As experiências com a implantação de Usinas de Reciclagem e Compostagem no Brasil têm demonstrado que o êxito obtido pelas mesmas, depende da possibilidade de comercialização dos seus “produtos” (CEMPRE, 1994). Isto quer dizer que um estudo de mercado para os produtos reciclados, inclusive o composto, é indispensável à manutenção da viabilidade da usina. Caso a demanda seja insuficiente para oferta dos reciclados gerados, isto pode provocar a acumulação de estoques indesejáveis, o que resulta na geração de externalidades ambientais, a exemplo do mau odor e da proliferação de vetores<sup>33</sup>.

A dinâmica do mercado de recicláveis de uma usina é, entretanto, fortemente atrelada à reciclagem industrial, já que esta última se constitui na

<sup>33</sup> Este fato, leva a que um estudo de mercado prévio dos materiais recicláveis de uma Usina, especialmente do composto orgânico, seja condição necessária para a manutenção de suas operações. A não relevância deste elemento ou mesmo a sua subestimação pode levar a uma grande resistência da população diretamente afetada pelas externalidades geradas pela Usina, ocasionando por esta via, seu fechamento. Este foi um dos fatores, por exemplo, que levou a paralização das atividades da Usina de Belém.

demanda potencial para os produtos recicláveis da primeira. Daí porque é preciso que se estabeleça a relação entre o mercado de recicláveis para os “produtos” de uma Usina e a Reciclagem Industrial. Deste modo, algumas considerações têm de ser feitas acerca do Mercado da Reciclagem Industrial no País.

O mercado da reciclagem tem sua dinâmica regulada pelo preço das matérias-primas primárias (virgens) em relação à redução dos custos decorrente da utilização de matéria-prima secundária, em substituição à matéria-prima primária. Quando o processamento da matéria-prima secundária (incluindo a coleta, separação, transporte e processamento em si) gera um custo menor que aquele incorrido na aquisição e processamento do material virgem, então, a compra de matéria-prima secundária torna-se economicamente atrativa para a indústria.

A reciclagem realizada pelas indústrias é algo que deve ter como contrapartida a redução do custo unitário da produção do produto final da empresa, realizada a partir da matéria-prima secundária. Ainda é importante que seja levado em consideração o resultado, quanto à qualidade e eficiência, que a utilização da matéria-prima secundária poderá trazer em termos do produto final.

No Brasil<sup>34</sup>, embora a reciclagem industrial já acumule experiências pioneiras de muitos anos, sua escala de atividade por linha de produto é

---

<sup>34</sup> Em termos institucionais, a primeira experiência no ramo da reciclagem coube ao Programa Nacional de Reciclagem - PRONAR, elaborado entre 1982 e 1984. Este, apesar de ser concebido dentro do que seria uma visão estratégica do governo, que vinha ao encontro do problema energético brasileiro, não logrou resultados significativos.

considerada ainda longe do ideal, pelo menos, quando comparada à dos países desenvolvidos.

Considerando que o nível de reciclagem é determinado pela participação da produção da matéria reciclável quanto ao total de material virgem utilizado no processo industrial (CEMPRE/IPEA, 1995), a tabela 5.2 apresenta os dados mais recentes para os principais produtos recicláveis : papel, plástico, vidro, aço, alumínio (inclusive latas).

**TABELA 5.2 - NÍVEL DE RECICLAGEM NO BRASIL (1995)**

Produtos	Papel	Plástico	Vidro	Aço	Alumínio	
					Total	Latas
Nível de Reciclagem (%)	37	11	23	25	11	56

Fontes :

ANFPC - Relatório 95, Abremplast - Relatório 95, MME - Anuário 95;

IBS - Relatório 95; Abal - Relatório 95. Apud : RELATÓRIO CEMPRE/

IPEA - A Economia da Reciclagem: Agenda Para uma Política Nacional, 1995.

Estes níveis de reciclagem na indústria, teoricamente, refletem a demanda potencial para os produtos das Usinas de Reciclagem e Compostagem. Cabe observar, porém, que o índice alcançado pela indústria recicladora de cada produto depende de um conjunto de fatores, tais como : tecnologia disponível para reciclagem; índices técnicos, em cada indústria, de aproveitamento e rendimento do material reciclado; grau de impurezas da matéria-prima secundária; mercado de matérias-primas primárias, entre outros. Cabe observar que o peso de cada um desses fatores comporta-se de forma diferente para cada tipo de produto em questão.

## **Composto Orgânico :**

O composto orgânico constitui-se no principal subproduto de uma Usina de Reciclagem e Compostagem, e sua produção está diretamente ligada a dois fatores. O primeiro é a qualidade do composto e o segundo é o seu próprio mercado. A interação destes dois elementos define o preço do composto, bem como as possibilidades de sua comercialização.

De fato, o valor do composto orgânico está relacionado com as suas propriedades em relação aos demais substitutos, no que tange à sua utilização agrícola.

Os substitutos do composto podem ser divididos em duas classes : uma de substitutos “quase perfeitos” e outra de substitutos próximos. No primeiro caso, incluem-se todos os adubos de origem orgânica, a exemplo dos apresentados a seguir: farinha de osso, torta de mamona, torta de algodão e de babaçu, além do esterco de curral e de galinha, que reúnem características bastante semelhantes quanto à sua utilização na agricultura. No segundo caso, estão os fertilizantes minerais, que não reúnem as mesmas características do composto, especialmente quanto à existência de macro e micronutrientes do solo. Contudo, são por vezes usados como substitutos, em certas culturas agrícolas, variando sua utilização em função dos preços relativos de ambos.

Em verdade, quando se objetiva um melhor rendimento do solo, o composto orgânico e os fertilizantes minerais devem ser utilizados de maneira complementar, variando a proporção, em função de cada cultura, e dos resultados que se deseja alcançar.

Vale ressaltar que a qualidade do composto está diretamente associada ao processo de compostagem utilizado e, portanto, seu preço, em última instância, vai estar diretamente associado a este fator. Assim, por exemplo, o processo de compostagem vai definir a presença de metais pesados, bem como PH, umidade, relação C/N, fatores estes que irão especificar a qualidade do composto. Além do mais, a existência de uma demanda regular para o composto que será produzido pela usina, é uma questão fundamental, visto que o estoque de composto resulta em externalidades negativas.

### **Sucatas de Metais :**

As sucatas de metais podem ser divididas em metais ferrosos e não ferrosos, e se constituem num conjunto assaz heterogêneo de materiais, que são descartados pelas empresas, na condição de peças em ferro fundido, laminados e forjados. No plano domiciliar, encontram-se itens como carcaças de veículos e eletrodomésticos descartados após o fim de sua vida útil. Parcela considerável do lixo doméstico são também as embalagens metálicas - no caso as latas, constituídas na sua maioria por alumínio e laminados de estanho. As sucatas de metais, especialmente, aço, ferro, alumínio e estanho, apresentam a particularidade de terem alto valor agregado, o que é um incentivo à sua reciclagem, devido aos elevados custos de processamento da matéria-prima primária. Todavia, em termos relativos, estas se constituem numa parcela bastante pequena no total do lixo coletado pelas administrações municipais. Exceção se faça às latas de alumínio e de estanho (aço revestido ou não)<sup>35</sup>.

---

<sup>35</sup>As latas de aço revestido são : de folhas-de-flandres (aço revestido com estanho), usadas como embalagens de alimentos; cromadas (aço revestido com cromo), usadas em óleos de carro.

As embalagens de alumínio são apontadas, inclusive, como o material reciclável de maior valor agregado. O quilo equivale a cerca de 60 latinhas e o seu preço ultrapassa a US\$500,00 a tonelada (em média).

Em 1995, segundo a Associação Brasileira de Alumínio - ABAL, foram reciclados 2,3 bilhões de latas no Brasil; para os anos subsequentes, foram projetados os seguintes números : 1996 (3,9 bilhões de unidades); 1997 (7,7 bilhões de unidades) e 1998 (9 bilhões de unidades). Um crescimento esperado de mais de 300% com relação a 1995, quando o País alcançará um índice de reciclagem acima de 70%.

Além da fabricação de latas, as sucatas de alumínio são usadas na fabricação de peças fundidas para automóveis, nas usinas siderúrgicas como desoxidantes na fabricação de aço, na produção de chapas, perfis e ligas. Observe-se que as sucatas de alumínio assumem, também, a forma de retalhos, perfis extrudados, pistões e outras peças fundidas.

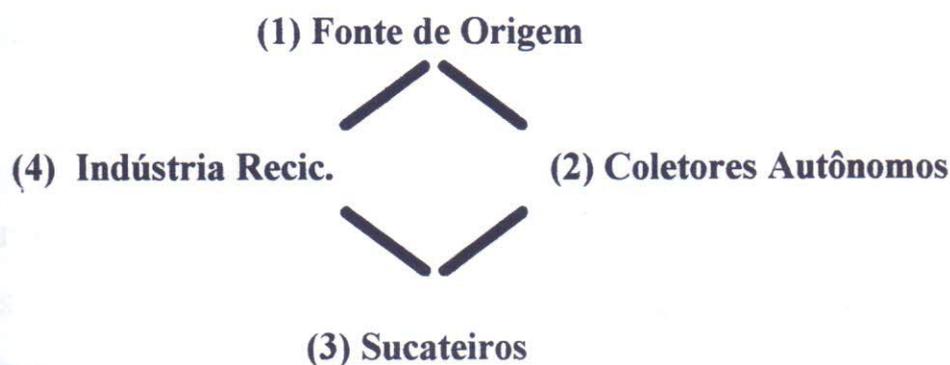
As latas (tanto de alumínio quanto de laminados de aço estanhado) encontradas no lixo, em geral, são contaminadas tanto por matéria orgânica, como por terra, vidro, plástico e outros metais. Devido a esta contaminação é feita uma divisão entre as sucatas de latinhas : as latas de 1<sup>a</sup>, que são aquelas que ainda não entraram em contato com o lixo, em geral coletadas na fonte de origem; e as latas de 2<sup>a</sup> que são aquelas misturadas com o lixo e, portanto, com um grau considerável de impurezas. A existência de impurezas leva à adoção de tecnologias de alto custo energético e operacional, para realizar a limpeza requerida, na utilização da matéria-prima secundária na indústria. A existência de impurezas é a causa, inclusive, do baixo rendimento na

siderurgia, resultando em um maior consumo de energia para fundir a escória formada com a sujeira, bem como, de insumos (cal) para neutralizar o efeito desta sujeira.

É importante ressaltar que quem abastece o produtor/reciclador são os sucateiros. Estes realizam, em geral, um beneficiamento primário como prensagem e enfardamento. No elo inicial da cadeia entre o material descartado e o produtor final surge, também, a figura do coletor autônomo.

A figura 5.1 abaixo, demonstra o ciclo do produto reciclável :

Figura 5.1 - Ciclo do produto reciclável :



### **Vidro :**

O vidro possui três características que o tornam um produto de alto rendimento para a indústria de reciclagem : a) retornabilidade : pelas suas características como recipiente inerte<sup>36</sup> e impermeabilidade, as embalagens de vidro são largamente reaproveitáveis em seu uso específico, bastando lavagem ou esterilização a altas temperaturas; b) Reutilização: no sentido de que as embalagens de vidro podem ser reutilizadas para usos diferentes daqueles que lhe deram origem. Pode-se citar, como exemplos : copos, vasos, adornos,

porta-objetos; c) o vidro como matéria-prima secundária é 100% e infinitamente reciclável. Isto ocorre sem que haja mudanças em suas características físicas, bem como, no grau de pureza inicial. A total reciclabilidade é garantida submetendo o vidro a altíssimas temperaturas nos fornos das vidraçarias. Estas características tornam o vidro “*produzido*” pelas usinas bastante atrativo para a indústria recicladora - no caso, isto é feito pelas vidraçarias.

Segundo a ABIVIDRO (1994), o Brasil é recordista na reutilização e retornabilidade, o que diminui um pouco o potencial de coleta do lixo doméstico e, portanto, o que se esperaria que uma Usina produzisse. Segundo esta mesma Associação, a média per capita nacional de consumo de vidro é de 200 gramas/mês.

A demanda pelo vidro triado nas usinas vai, no entanto, depender de vários fatores. Em primeiro lugar, que exista uma Vidraçaria na localidade ou nas proximidades, com potencial de demanda para o material triado. Isto porque os custos de transporte são considerados altos, devido ao elevado peso específico do vidro. Caso a produção seja inferior à demanda, haverá também a possibilidade de Deseconomias de Escala no transporte destes materiais. As variáveis a serem consideradas nos custos de transporte serão basicamente o peso e a distância a ser percorrida, da usina até a Vidraçaria. Em segundo lugar, o grau de contaminação existente no vidro triado pela Usina : os contaminantes do vidro, especialmente aqueles provocados por metais, causam problemas tanto com relação à qualidade do vidro reciclado, como também no próprio processo de reciclagem. No primeiro caso, as impurezas

---

<sup>26</sup> Não deixa gosto nos conteúdos.

aparecem na forma de manchas, que além da má aparência estética, tornam o vidro mais quebradiço. No segundo caso, os contaminantes podem danificar o material refratário existente nos fornos, reduzindo sua vida útil.

Segundo a ABIVIDRO (1994), para que a matéria-prima secundária seja considerada de boa qualidade, a proporção de contaminantes, que pode chegar a 60kg por tonelada de cacos, tem de ser reduzida para 2,5 kg por tonelada, teor que, ainda assim, pode levar a 20% de descarte, no controle de qualidade (Ribeiro da Luz, 1992).

A qualidade do caco é condição básica na formação dos preços de venda e, portanto, caso a usina não realize qualquer tipo de beneficiamento primário, a receita unitária gerada por este “*produto*” será muito baixa.

### **Papel :**

O papel é reciclado com o nome de *aparas*. Por *aparas* entende-se toda forma de resíduos de papel, proveniente de diferentes fontes de origem do lixo coletado, e que inclui os diferentes tipos de papéis conhecidos. Segundo o IPT e a Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose - ANFPC, existem 22 categorias de *aparas* classificadas no país, provenientes dos seguintes tipos de papéis produzidos : papel jornal, papel para imprimir, papéis para escrever, papéis para embalagens, papéis para fins sanitários, cartões e cartolinas, e papéis para fins especiais.

As únicas classes de papéis não recicláveis são: papéis para fins sanitários e papéis especiais<sup>37</sup>. No primeiro caso, a impossibilidade da reciclagem é resultado da contaminação a que se destina o mesmo. No segundo caso, é decorrente da sua aplicação industrial, que não permite qualquer forma de reaproveitamento.

Considerando-se todos os tipos de papel, a taxa de reciclagem/recuperação no Brasil tem-se mantido em torno de 32%, conforme demonstra a tabela 5.3, a seguir :

---

<sup>37</sup> Aqui incluem-se o papel vegetal e o papel carbono. Além disto, outros papéis não-recicláveis são aqueles impregnados com certas substâncias impermeáveis à umidade.

**TABELA 5.3 : TAXAS DE RECUPERAÇÃO DE PAPÉIS  
RECICLÁVEIS NO BRASIL (1978-1994)**

<b>ANOS</b>	<b>CONSUMO APARENTE DE PAPEL DE TODOS OS TIPOS (1.000 t.) (a)</b>	<b>CONSUMO APARENTE DE PAPÉIS RECICLÁVEIS (1.000 t.) (b)</b>	<b>TAXA DE RECUPERAÇÃO % (b)/(a)</b>
1978	2.696	836	31,0
1979	3.169	948	29,9
1980	3.428	1052	30,7
1981	3.009	920	30,6
1982	3.327	966	29,0
1983	3.184	1003	31,5
1984	3.219	1085	33,7
1985	3.599	1155	32,1
1986	4.115	1390	33,8
1987	4.371	1489	34,1
1988	3.771	1429	37,9
1989	4.294	1596	37,2
1990	4.053	1479	36,5
1991	4.208	1487	35,3
1992	3.948	1473	37,3
1993	4.184	1624	38,8
1994	4.604	1719	37,3

Fonte : ANFPC - Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose.

Os cartões e cartolinas (cartão duplex), bem como o papel ondulado (papelão), constituem-se nos tipos de papéis que utilizam maior percentual de matéria-prima secundária, no caso fibras recicladas. Daí porque, em termos relativos, estes constituem-se na maior parcela do consumo de papéis recicláveis. A tabela 5.4, a seguir, mostra a participação relativa do consumo de papéis recicláveis no País, segundo o tipo de apara.

**TABELA 5.4 : CONSUMO DE RECICLÁVEIS NO BRASIL (1994):**

TIPOS	CONSUMO (1.000 t)	PARTICIPAÇÃO (%)
Papel Ondulado	950	55,3
Aparas brancas	136	7,9
Arquivo branco	95	5,5
Jornais	83	4,8
Aparas Kraft	81	4,7
Aparas de Cartolina	70	4,1
Aparas de Tipografia	68	4,0
Outros Tipos	49	2,8
Misto	187	10,9
Totais	1.719	100

Fonte : ANFPC - Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose (1995).

Pela classificação da ANFPC, as aparas brancas dividem-se em três tipos : a) aparas brancas de primeira que, por sua qualidade, são consideradas substitutos perfeitos da matéria-prima virgem; b) aparas brancas de segunda, formadas basicamente por formulários contínuos, e c) aparas brancas de terceira, formada basicamente pelo arquivo branco de boa qualidade.

As aparas *Kraft*, são destinadas aos fabricantes de papel *Kraft*.

As aparas de jornais são reutilizadas, em geral, mediante processo de destintamento (*re-inking*), dando origem à fabricação de papel sanitário. Este tipo de tecnologia, além de importada, apresenta custo elevado. Outros tipos de tratamento prévio, como o branqueamento ou depuração, podem ser requeridos, quando se objetiva obter certas características do produto, na fabricação de tipos de papéis mais nobres ou de melhor qualidade.

As caixas de papel ondulado, juntamente com os papéis de embrulho, são reutilizadas pelas empresas que fabricam papéis de embalagem. A origem doméstica, também, é relevante e constitui-se basicamente de papéis de embalagem, como ainda de jornais e revistas descartadas.

Vale observar que a reciclagem de papel, do ponto de vista técnico, sempre exige um percentual de matéria-prima primária, isto é, fibras virgens<sup>38</sup>. Além disso, os custos do processo de fabricação de papéis ou cartões, com matéria-prima reciclável, não diferem significativamente daqueles realizados com matéria-prima virgem. Assim, a atividade de reciclagem é sempre uma atividade complementar, mas nunca substituta da produção realizada a partir de material virgem.

Do ponto de vista da comercialização, é possível se fazer uma divisão em duas grandes categorias de aparas: i) as aparas brancas, que não têm qualquer tipo de impressão ou revestimento e que, por sua homogeneidade e limpeza, têm maior valor econômico e ii) as aparas mistas, de qualidade inferior, por estarem impressas e terem composição heterogênea. Por estas características, o preço por tonelada da apara mista, não chega a um quarto do preço da apara branca (de primeira).

Nos programas de reciclagem implantados a partir das usinas de reciclagem e compostagem, o grande problema é esta diversidade do papel coletado, em sua maioria constituído de aparas mistas e, portanto, de menor valor econômico unitário por tonelada. Isto é, em parte, decorrente do tipo de coleta realizada, em geral, não seletiva, onde ocorre a mistura dos vários tipos

---

<sup>38</sup> Isto quando se quer manter as mesmas características dos papéis feitos com o uso de fibra primária.

de papéis. A alta contaminação do papel coletado faz com que este seja classificado como *misto de terceira* ou aparas mistas de terceira. Estas, em geral, apresentam as seguintes características : a) umidade máxima : 20%; máximo de impurezas: 10%; máximo de materiais proibitivos : 5%.

O demandante de aparas de papéis é, geralmente, a indústria de papel e celulose. No entanto, a ANFPC (1995) só considera como empresa fabricante recicladora aquela cujas matérias-primas secundárias, correspondem a mais de 50% das matérias-primas consumidas no processo produtivo.

Nos grandes centros, surge também a figura do aparista, que faz a função de intermediário entre os convertedores (supermercados, lojas de Departamento, grandes estabelecimentos fabris) e as empresas de papel e celulose (a indústria recicladora). O aparista, realiza um beneficiamento primário das aparas recolhidas, como as operações de separação e enfardamento, além do transporte até as empresas. Observe-se também, que o aparista, em geral, com relação à fonte domiciliar e os estabelecimentos comerciais de menor porte (o grande varejo do setor), não realiza a coleta do material, isto sendo feito por uma rede de catadores, que coletam o material e o comercializam com o aparista. Nos locais onde a coleta é realizada de forma seletiva, os aparistas se tornam os maiores competidores do material coletado pelas administrações municipais.

Vale também destacar que os papéis fabricados com matéria-prima essencialmente secundária (reciclada), ainda sofrem uma resistência da

população quanto a seu consumo. Isto se deve a sua baixa qualidade, o que limita sua utilização onde são exigidos padrões específicos de qualidade.

Por fim, vale assinalar que o principal ítem responsável pela formação de preços dos papéis recicláveis é o custo da coleta, daí porque o preço do papel reciclável apresenta forte variação, seja espacial ou temporal.

### **Plástico :**

Há vários tipos de plástico<sup>39</sup> e seu processamento como matéria-prima exige uma separação em pelo menos duas categorias : a) plásticos duros ou rígidos, usados principalmente na fabricação de recipientes, brinquedos, peças componentes de carro etc; e b)plásticos filmes, que são na verdade, uma película plástica utilizada na confecção de sacolas e sacos plásticos, além de embalagens para produtos como leite, iogurtes, queijos etc.

Considerando apenas a resina de origem, a classificação adotada pelas indústrias produtoras de artigos plásticos é a seguinte, segundo o IPESI (1992):

PET - Polietileno Tereftalato - utilizado em garrafas para refrigerantes, fibras sintéticas etc.

PEAD - Polietileno de Alta Densidade - utilizado na confecção de engradados para bebidas, garrafas para produtos químicos de limpeza doméstica, tubos para líquidos e gás, filmes, baldes, tambores etc.

---

<sup>39</sup> Enquanto matéria-prima secundária, os plásticos podem ser divididos em duas categorias : a) os termofixos, que uma vez moldados em determinado processo de transformação, não podem ser mais reprocessados; b) os termoplásticos, que podem ser reprocessados várias vezes, pelo mesmo ou por outro processo de transformação, desde que seguidas as exigências técnicas pertinentes.

V (PVC) - Cloreto de Polivinila - utilizado em tubos e conexões para água, garrafas de água mineral e para detergentes líquidos, lonas, calçados e equipamentos médico-cirúrgicos.

PEBD - Polietileno de Baixa Densidade - utilizado nas embalagens de alimentos, sacos industriais, sacos para lixos, lonas agrícolas, filmes etc.

PP - Polipropileno - utilizado em embalagens para massas de biscoito, potes para margarinas, seringas descartáveis, equipamentos médico-cirúrgicos etc.

PS - Poliestireno - utilizado na fabricação de aparelhos de som e tv, copos descartáveis, embalagens de alimentos etc.

Segundo a ABREMPLAST, das cerca de 200 mil toneladas de plásticos rígido e filme reciclados no Brasil, em 1994, apenas 40% foi proveniente do lixo urbano. Observa-se, também, que em média o plástico filme corresponde a 29% do total de plásticos, separados nas cidades que fazem coleta seletiva.

Do ponto de vista técnico, a reciclagem de plásticos pode ser dividida em três níveis : reciclagem primária, reciclagem secundária e reciclagem terciária. No Brasil, o maior mercado é o da reciclagem primária, que consiste na regeneração de um único tipo de resina, separadamente. Este tipo de reciclagem absorve cerca de 5% do plástico consumido no país e é, geralmente, associado à produção industrial, pré-consumo (CEMPRE, 1994). A reciclagem secundária consiste no processamento de polímeros reciclados ou não. A reciclagem terciária, por sua vez, consiste na aplicação de

processos químicos para recuperar as resinas que compõem o lixo plástico, de modo a revertê-las ao seu estágio químico inicial.

A contaminação é a principal restrição à reciclagem de materiais plásticos. Os principais contaminantes são os orgânicos, bem como metais e papéis. Tal contaminação reduz sensivelmente os preços do material reciclado. Este é o caso do material que vem do lixo não coletado seletivamente. De fato, a qualidade do material depende da fonte de separação, onde se observa que aquele que provém da coleta seletiva é mais limpo do que aquele separado nas usinas ou lixões.

Os plásticos provenientes do lixo devem passar por um processo rígido de reciclagem até se tornarem uma matéria-prima secundária de qualidade significativa. As operações por que deve passar o plástico reciclado são as seguintes : separação por tipo de resina, lavagem, trituração ou desintegração, para atingir a forma de grânulos. Na forma de grânulos, o plástico é fundido, extrudado e peletizado. Algumas empresas recicladoras realizam as operações até se obter a forma de grânulos.

O principal mercado consumidor de plástico reciclado rígido na forma de grânulos, são as indústrias de artefatos plásticos que reutilizam o material na produção de baldes, cabides, garrafas de água sanitária, acessórios para automóveis etc.

O preço também é muito variado e, mais uma vez, vai depender da qualidade do produto.

Uma das grandes dificuldades da reciclagem é exatamente a existência de diferentes famílias de plásticos que, muitas vezes, são incompatíveis entre si, impossibilitando sua mistura no processo de reciclagem, o que, ocorrendo, produz materiais defeituosos ou de baixa qualidade. Assim, para a reciclagem, os vários polímeros precisam ser identificados e separados, o que é difícil de se fazer pela simples inspeção visual. Esta é uma dificuldade a mais para as Usinas de Reciclagem e Compostagem, as quais precisam dar um treinamento adequado aos operários que participam da etapa de triagem.

Um aspecto comum a todos os tipos de sucata é a grande instabilidade de preços ao longo do ano, fato decorrente de dois fatores básicos : a) variação no preço das matérias-primas virgens; b) variações no nível de atividade da economia do País, que altera tanto o nível de geração quanto de utilização dos resíduos.

Esta oscilação de preços no mercado de “sucatas” também se reflete nos preços pagos na porta das usinas, independentemente do tipo de produto vendido.

A oscilação de preços no mercado de sucatas pode ser vista na tabela 5.5. a seguir :

TABELA 5.5 : PREÇOS DO MATERIAL RECICLADO (PREÇO MÉDIO/t) NO BRASIL.

ITEM/MÊS - ANO	MAI/95	JUL/95	SET/95	JAN/96	JUL/96	SET/96	FEV/97	ABR/97
PAPELÃO	125,00	128,00	81,00	57	49,5	48	65	58,64
PAPEL BRANCO	150,00	123,00	117,00	62,00	90,00	67	68,67	94,44
LATAS DE AÇO	72,00	76,00	49,00	29,50	26,50	30,50	31,67	30,89
ALUMÍNIO	635,00	495,00	478,00	189,00	485,00	179,00	591,67	395,18
VIDRO *	132,00	37,00	31,00	34,00	45,50	31,50	56,08	26,44
PLÁSTICO RÍGIDO	83,00	136,00	123,00	74,00	96,50	93,00	121,67	73
P.E.T	94,00	133,00	126,00	79,00	106,50	116,00	165	107,68
PLÁSTICO FILME	107,00	93,00	103,00	63,00	85,50	80,00	103,33	80
COMPOSTO								

Fonte : Informativos CEMPRE. Junho/95, out/95, fev/96, ago/96, out/96, mar/97, maio/97.

\* média de preço do vidro incolor e vidro escuro.

Observam-se, também, diferenças significativas de preços em relação à localização da usina, independentemente do produto.

As observações feitas com relação ao mercado de produtos recicláveis de uma usina servem para se visualizar quão instável é este mercado, bem como o conjunto de fatores que vão definir o preço pago, na porta da usina, por cada tipo de produto.

### V.3 - Receita Potencial da Usina de Reciclagem e Compostagem e Respective Custos Operacionais

A determinação da Receita e uma Usina de Reciclagem e Compostagem vai depender da eficiência/rendimento médio do material reciclável. Assim adotaram-se para cálculo, os índices de rendimento e eficiência de algumas usinas do país, apresentados na tabelas 5.6 a 5.7 abaixo.

**TABELA 5.6 - PRODUÇÃO MÉDIA DE UMA USINA DE RECICLAGEM E COMPOSTAGEM DE GRANDE PORTE:**

PRODUTO	PARTICIPAÇÃO RELATIVA (%)	VALOR ADOTADO P/ CÁLCULO (%)
LIXO PROCESSADO	100	100
REJEITO P/ ATERRO SANITÁRIO	44,27 a 64,39	55
COMPOSTO ORGÂNICO	29,41 a 53,29	41,5
MATERIAL RECICLÁVEIS	1,21 a 6,20	3,5

Fonte : Galvão Júnior (1994)

**TABELA 5.7 - EFICIÊNCIA DAS USINAS DE RECICLAGEM  
E COMPOSTAGEM SEGUNDO O APROVEITAMENTO  
DO MATERIAL RECICLÁVEL (%).**

ITEM	BELO HORIZONTE			BRASÍLIA			UBERABA			SÃO PAULO*		
	LIXO	RECIC	EFIC.*	LIXO	RECIC	EFIC.*	LIXO	RECIC	EFIC.*	LIXO	RECIC	EFIC.*
PAPEL/PAPELÃO	13,5	0,0	0,0	14,0	0,9	6,4	13,5	1,61	11,9	15,0	0,17	1,1
PLÁSTICO	6,5	3,0	46,2	8,8	0,54	6,1	6,5	3,05	46,9	5,0	0,23	4,6
LATA/SUCATA	2,7	1,2	44,4	2,9	1,64	56,6	2,4	1,96	81,7	4,0	0,28	7,0
VIDROS	2,2	0,12	5,5	1,9	0,19	10,0	2,2	0,38	17,3	1,7	0,05	2,9

FONTES : A. ARAUJO S.A. - Engenharia e Montagens.

\* Calculada como resultado do produto do percentual de cada item constante no lixo total pelo percentual de reciclagem obtido para cada item.

**TABELA 5.8 : EFICIÊNCIA, SEGUNDO CADA ÍTEM A SER PROCESSADO.**

USINA	PROCESSAMENTO DIÁRIO ( t )	PAPEL E PAPELÃO (%)		PLÁSTICO (%)		SUCATA (%)		VIDRO (%)	
		LIXO	RECIC.	LIXO	RECIC.	LIXO	RECIC.	LIXO	RECIC.
BELO HOR.	42	5,67	0,00	2,73	1,26	1,13	0,5	0,92	0,05
BRASILIA	680	95,2	6,09	59,84	3,65	19,72	11,16	12,92	1,29
UBERABA	91	12,29	1,47	5,92	2,78	2,18	1,78	2,00	0,35
SÃO PAULO	925	138,75	1,53	46,25	2,13	37,0	2,59	15,73	0,46
TOTAIS	1.738	251,91	9,09	114,84	9,82	60,03	16,03	31,57	2,15
MÉDIA (%)		14,5	0,5	6,6	0,6	3,5	0,9	1,8	0,1
EFICIÊNCIA MÉDIA		3,4		9,1		25,7		5,6	

FONTE : A. ARAUJO S. A. - Engenharia e Montagens

Receita Proveniente da Venda do Material reciclado :

Com base nos índices de eficiência mostrados nas Tabelas 5.4 a 5.6, bem como o preço verificado no mês de abril/97 obtém-se :

**TABELA 5.9 : MATERIAL A SER VENDIDO PARA UMA USINA QUE PROCESSE 500 t/DIA:**

ITEM	COMPOSIÇÃO MÉDIA DO LIXO BRASILEIRO*	REND. MÉDIO	QUANT. t/DIA	QUANT. t/MÊS	PREÇO **	RECEITA TOTAL (MENSAL)
PAPEL	18,65	3,4	3,17	95,1	58,64	5.576,66
PAPELÃO	18,65	3,4	3,17	95,1	94,44	8.981,24
PLÁSTICO	11,2	9,1	5,1	153	76,5****	11.704,5
SUCATA	3,75	25,7	4,81	144,3	395,18	57.024,47
LATAS DE AÇO	3,75	25,7	4,81	144,3	30,89	4.475,65
VIDRO	3,85	5,6	1,08	32,4	26,44	856,66
COMPOSTO	50,9****	41,5	105,61	3168,3	2,00	6.336,6
<b>TOTAL</b>	-	-	-	-	-	<b>94.955,78</b>

\* Média das Cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador e Fortaleza (em porcentagem do total)

\*\* Preço de Abril/97.

\*\*\* Média dos preços do plástico rígido e plástico filme.

\*\*\*\* Matéria Orgânica.

RECEITA TOTAL MENSAL : R\$94.955,78

RECEITA TOTAL ANUAL : R\$1.139.469,36

RECEITA POR TONELADA DE RESÍDUOS : Receita mensal/quant. de lixo processada no período - R\$ 94955,78/15.000 = R\$6,33

#### V.4 - Custos Operacionais de uma Usina de Reciclagem e Compostagem:

Na tabela abaixo é apresentada a Estrutura de Receita e Custos de uma Usina de Reciclagem e Compostagem. Os cálculos de cada item de custo são apresentados no anexo 2.

**TABELA 5.10 - ESTRUTURA DE CUSTOS E RECEITAS DE UMA USINA DE RECICLAGEM E COMPOSTAGEM**

Discriminação	Valor (ANO I)	(ANO II)
I - Receita Total	1.136.469,36	1.136.469,36
II - Custos Totais	836.827,78	851.021,66
a) Custos Fixos	395.116,76	409.310,64
- Mão-de-obra	45.600,00	
- Encargos sociais	52.791,12	
- Depreciação	223.703,74	
- Manutenção	65.119,57	
- Uniformes e EPI	-	14.106,00
- Eventuais *	7.902,33	8.106,00
b) Custos Variáveis	441.711,02	441.711,02
- Mão-de-obra	123.840,00	
- Encargos Sociais	143.369,57	
- PIS	7.387,05	
- CONFINS	22.729,38	
- Combustíveis	5.950,80	
- Energia Elétrica	129.600,00	
- Eventuais *	8.834,22	

\* Calculado como 2% do custo fixo e variável.

Custo Total Mensal (a partir do II ano): R\$74.132,75

Custo Total Anual (a partir do II ano) : R\$889.593,09

Custo Anual por tonelada : Custo Total anual/quantidade processada durante um ano R\$851.021,66/180.000 = R\$4,73

## V.5 - O Aterro Sanitário e sua Estrutura de Custos Operacionais e Investimentos:

A definição dos elementos que comporão os custos de um aterro sanitário (instalação e operação) depende de uma série de variáveis, que determinarão até qual método é mais aplicável para cada tipo de situação. Particularmente, as condições topográficas, geológicas e a hidrologia do terreno a ser escolhido são de fundamental importância para a eficiência e eficácia do método de tratamento/destino final dos resíduos.

Deve-se ainda levar em consideração uma vida útil aproximada de pelo menos de 10 (dez) anos, para o empreendimento.

Assim, para o projeto típico escolhido, adotou-se como modelo um aterro com capacidade de receber, em média, de 1.000 t/dia, o que corresponde a um aterro com cerca de 2.000.000 m<sup>2</sup>, para uma vida útil de 14 anos sem a Usina de Reciclagem e Compostagem; e com a mesma, uma vida útil de 25 anos. Os cálculos da vida útil do projeto são apresentados no anexo 3.

No modelo adotado, o investimento necessário para a realização do Aterro Sanitário<sup>40</sup> será composto das seguintes fases : 1- fase de estudos Preliminares; 2- fase de obras preliminares; 3- fase de instalação da infraestrutura.

---

<sup>40</sup> A definição dos itens de investimento para o Aterro Sanitário, também, seguiu, em linhas gerais os elementos apresentados pelo Projeto de Aterro Sanitário, do Complexo de Destinação dos Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Belém.

Os investimentos necessários para a realização de uma aterro sanitário são listados a seguir :

1 - Estudos Preliminares:

- Levantamento topográfico e planialtimétrico ;
- Análise das condições hidrológicas e geológicas;
- EIA/RIMA;
- Projeto Executivo.

Valor Total : R\$50.000,00

2 - Terreno : o valor dos terrenos foi calculado considerando o mesmo valor anterior para o  $m^2$  . Assim, para área definida de  $2.000.000m^2$  (vide anexo 3) tem-se :  $2.000.000 \times 2,50 = R\$5.000.000$ . Observa-se, ainda, ser este um valor que mesmo significando uma inversão realizada no início do projeto, ao final do mesmo, parte desta imobilização poderá ser recuperada. De fato, quando cumpridas as normas e procedimentos técnicos relativos a um aterro sanitário, espera-se então, que ao final da vida útil do aterro, o terreno possa ser reutilizado. Para efeito de cálculo será considerada uma perda de 40% no valor do terreno, quando este for reutilizado. Tem-se, assim :  $2.000.000m^2 \times R\$1,50 = R\$3.000.000,00$

3 - Obras Preliminares :

- Limpeza e Desmonte;
- Terraplanagem;
- Construção de Vias de Acesso.

Valor Total : R\$ 50.000,00

#### 4 - Infra-estrutura :

##### a) Prédio da Administração (área de 102m<sup>2</sup>)

- refeitório
- banheiro masculino
- banheiro feminino
- galpão para estocagem de materiais : 80m<sup>2</sup>

##### b) Estação de Pesagem (cabine de pesagem 12m<sup>2</sup>) e plataforma de concreto de 8 x 3 m<sup>2</sup>.

##### c) Muro : 6.100 metros de comprimento.

##### d) Caixa d'água elevada

##### e) Drenagem de águas pluviais :

- Caneletas revestidas com meias-canas de concreto que circundarão toda a superfície superior e inferior do aterro acabado.

##### f) Drenagem do líquido percolado :

- Constituído por um conjunto de canaletas de seção retangular escavadas no solo
- Poço de acumulação do Chorume construído em anéis de concreto de diâmetro igual a 4,5m e circundado por uma camada de pedra britada nº5. A profundidade do poço será de 3,0m.

##### g) Drenagem dos Gases :

- Drenos Verticais constituídos por tubos de concreto perfurados, com diâmetro interno de 0,30m e altura de 4,0m. Cada dreno será assentado sobre uma base sólida de concreto.

##### h) Sistema de Tratamento do Percolado :

- Constituído de Lagoas de Tratamento :

2 duas Lagoas de Estabilização : uma lagoa aeróbia e outra lagoa anaeróbia.

Lagoa Anaeróbia :

Profundidade : 3,5m

Área inferior : 784m<sup>2</sup> (28 x 28)

Área superior : 2.401m<sup>2</sup> (49 x 49)

Lagoa Facultativa :

Profundidade : 2,5m

Área Inferior : 3.300 m<sup>2</sup> (30 x 110m)

Área Superior : 4,800 m<sup>2</sup> (40 x 120m)

Valor Total : R\$ 18.965.784,15. Os cálculos do Investimento em infra-estrutura são apresentados no anexo 4.

5- Equipamentos :

- 1 - Balança Rodoviária (40 t) : Valor : R\$10.000,00

- 2 - Trator de Esteiras equipado com lâmina (Caterpillar, modelo: D4E - 143 4A):

Valor : R\$113.802,00

- 1 - Trator com Rolo pé de carneiro ( DYNAPAC, modelo: CG-141 - 20t)

Valor : R\$116.911,82.

- 2 - Caminhões Basculantes (General Motors, modelo : F12000/194 - 131 4,0/11)

Valor : R\$64.200,00

5 - Móveis e Utensílios :

- 2 - Mesas p/ escritório;

- 2 - Estantes em aço;

- 2 - Cadeiras de Escritório;

- 4 - Cadeiras de madeira;
- 1 - Arquivo (em aço);
- 1 - Ar condicionado;
- 1 - Filtro de água Industrial;
- Utensílios Diversos.

Valor Total : R\$30.000,00

Investimento Total : R\$19.400.697,97

**Custos Operacionais** : os cálculos para cada item do custo Operacional são apresentados no anexo 5.

**Estrutura de Custos de um Aterro Sanitário** : a estrutura de custos de um aterro sanitário é apresentada na tabela 5.11, abaixo.

**TABELA 5.11 - ESTRUTURA DE CUSTOS DE UM ATERRO SANITÁRIO (R\$)**

Discriminação	Valor <sup>1</sup>
I - Custos Totais	457.951,70
a) Custos Fixos	364.352,94
- Mão-de-obra	56.880,00
- Encargos sociais	65.849,97
- Depreciação	39.911,30
- Manutenção	194.424,61
- Eventuais *	7.287,05
b) Custos Variáveis	93.598,76
- Mão-de-obra	34.320,00
- Encargos Sociais	39.732,26
- Eventuais *	1.871,97

\* Calculado como 2% do custo fixo e variável.

Obs : Hipótese considerando que o material de cobertura seja adquirido em jazida não pertencente à área do aterro.

Custo Total Mensal (ano1) : R\$104.006,64;  
Custo Total Anual (ano 1) : R\$1.248.079,73;  
Custo Total por Tonelada (ano 1) : R\$6,93;

## **V.6 - Considerações Sobre a Alternativa de Operação Conjunta de Aterro Sanitário e Usina de Reciclagem e Compostagem.**

A alternativa conjunta de Aterro Sanitário com Usina de Reciclagem e Compostagem em uma mesma área, agrega outros benefícios além daqueles obtidos por cada método de tratamento, individualmente.

Os benefícios citados dizem respeito basicamente a duas classes. A primeira classe refere-se ao aumento da vida útil do aterro, como pode ser visualizado no anexo 3. A segunda classe relaciona-se à economia obtida no custo unitário e no investimento, caso as duas alternativas sejam levadas à cabo de forma individual.

### **V.6.1 - Investimentos e Custos Operacionais da Alternativa Conjunta :**

Estes foram calculados com base nas especificações definidas anteriormente.

1 - Estudos Preliminares :

Valor : R\$ 50.000,00

2- Obras Preliminares :

Valor : R\$ 50.000,00

3- Terreno : Área Considerada 2.000.000 m<sup>2</sup>:

Valor : 2.000.000 x 2,50 = R\$ 5.000.000

2 - Infra-estrutura :

a) Sede Administrativa : área construída 350m<sup>2</sup>

- Sala da Superintendência
- Sala da Secretaria e Arquivo
- Almoxarifado
- Refeitório
- Cozinha e Despensa
- Sanitário masculino (55m<sup>2</sup>);
- Sanitários feminino (55m<sup>2</sup>).

Valor Total : R\$ 129.675,00

b) Muro (6100m):

Valor Total : R\$ 552.755,00

c) Estação de Pesagem (cabine de pesagem 12m<sup>2</sup>) e plataforma de concreto de 8x3m:

Valor Total : R\$ 8.146,39

d) Guarita (14m<sup>2</sup>):

Valor Total : R\$ 5.187,00

e) Portão de ferro (9,80 m<sup>2</sup>):

Valor Total : R\$ 370,00

f) Sistema sanitário: fossas sépticas (comprimento 1,60m;largura,80m;profundidade de 1,00m) e sumidouros (tanque cilíndrico na extensão de 1,00m de diâmetro por 1,00m de profundidade).

Valor Total : R\$ 1.039,02

g) Rede de Distribuição (água); 798m com tubulação e PVC (diâmetros variando de 50mm, 110mm e 85mm).

Valor Total : R\$ 14.199,84.

h) Rede de Distribuição Complementar : 720 metros com tubulação de ferro galvanizado rosqueado, classe 10, com diâmetros de 100 e 105mm e reservatório elevado (de concreto com capacidade de 50.000 litros)

Valor Total : R\$ 51.987,74.

i) Sistema de Drenagem : composto de caixas de drenagem conectadas por tubulação e um tanque de armazenamento:

Valor Total: R\$ 44.314,31.

j) Fossos de recepção: de 120m<sup>3</sup> :

Valor Total: R\$ 12.337,61.

k) Pavimentação da Área de Cura : 3.000m<sup>2</sup>

Valor Total : R\$ 60.000,00

l) Pátio de recepção : 200m<sup>2</sup>

Valor Total : R\$ 8.000,00

m) Galpão de Triagem - área coberta 560m<sup>2</sup>, confeccionado em chapas de aço carbono, com pés e tesouras treliçadas, com cobertura e fechamento nas cabeceiras em telhas galvanizadas de 0,6mm, contravento horizontal e longitudinal com chumbadores.

Valor Total : R\$ 135.078,34.

n) Lagoa de Estabilização:

- Constituído de Lagoas de Tratamento :

duas Lagoa de Estabilização : uma lagoa aeróbia e outra lagoa anaeróbia.

Lagoa Anaeróbia :

Profundidade : 3,5m

Área inferior : 784m<sup>2</sup> (28 x 28)

Área superior : 2.401m<sup>2</sup> (49 x 49)

Lagoa Facultativa :

Profundidade : 2,5m

Área Inferior : 3.300 m<sup>2</sup> (30 x 110m)

Área Superior : 4,800 m<sup>2</sup> (40 x 120m)

Valor Total: R\$ 45.000,00

o) Drenagem do Líquido Percolado : Constituída por um conjunto de canaletas de seção retangular escavadas no solo e poço de acumulação

do chorume construído em anéis de concreto e diâmetro igual a 4,5m e circundado por uma camada de pedra britada nº5. A profundidade do poço será de 3,0 m.

Valor Total : R\$ 18.067.935,20

p) Drenagem dos Gases :

- Drenos Verticais constituídos por tubos de concreto perfurados, com diâmetro interno de 0,30m e altura de 4,0m. Cada dreno será assentado sobre uma base sólida de concreto.

Valor Total : R\$ 286.387,20.

Os cálculos da infra-estrutura são apresentados no anexo 6.

5- Equipamentos :

1 - Balança Rodoviária (40 t) : Valor : R\$10.000,00

2 - Tratores de Esteiras, equipados com lâminas (Caterpillar, modelo: D4E - 143 4A):

Valor : R\$ 113.802,00

1 - Trator com Rolo pé de carneiro ( DYNAPAC, modelo: CG-141 - 20ton.)

Valor : R\$116.911,82.

2 - Caminhão Basculante (General Motors, modelo : F12000/194 - 131 4,0/11)

Valor : R\$64.200,00

1 - Conjunto Moto-Bomba : Valor : R\$1.800,00

1 - Conjunto Moto-Bomba : Valor : R\$530,00

6- Móveis e Utensílios :

- 3 - Mesas p/ escritório;
- 2 - Estantes em ferro;
- 2 - Cadeiras de Escritório;
- 4 - Mesas de Madeira;
- 14 - Cadeiras de madeira;
- 2 - Arquivo (em ferro);
- 1 - Aparelho de Ar condicionado;
- 1 - Filtro de água Industrial;
- Utensílios Diversos.

Valor Total : R\$60.000.

7 - Uniformização e Equipamentos de Proteção Individual :

Valor Total : R\$5.386,00

Investimento Total : R\$26.759.244,48.

A Estrutura de Custos para a Alternativa Conjunta é apresentada na tabela 5.12, a seguir:

**TABELA 5.12 - ESTRUTURA DE CUSTOS UMA USINA DE  
RECICLAGEM E COMPOSTAGEM E  
ATERRO SANITÁRIO**

<b>Discriminação</b>	<b>Valor<sup>1</sup></b>	<b>Valor</b>
Custos Totais	1.315.346,30	1.329.740,17
a) Custos Fixos	759.469,71	773.863,58
- Mão-de-obra	102.480,00	
- Encargos sociais	118.641,09	
- Depreciação	263.615,04	
- Manutenção	259.544,18	
- Uniformes e EPI		14.106,00
- Eventuais *	15.189,39	15.477,27
b) Custos Variáveis	555.876,59	555.876,59
- Mão-de-obra	158.160,00	
- Encargos Sociais	183.101,83	
- PIS	7.387,05	
- CONFINS	22.729,38	
- Combustíveis	5.980,80	
- Energia Elétrica	167.400,00	
- Eventuais *	11.117,53	

\* Calculado como 2% do custo fixo e variável.

Custo Total Anual : R\$ 1.315.34 : 6,30

Custo Total Mensal : R\$ 109.612,19

Custo Total por t : R\$ 7,307.

## **CAPÍTULO VI**

### **Determinação dos Benefícios Sociais Advindos da Adoção de Aterros Sanitários e Usinas de Reciclagem e Compostagem.**

Após a definição dos custos de implantação e operação de uma Usina de Reciclagem e Compostagem e de Aterro Sanitário, serão estimados os custos evitados a serem somados à receita potencial gerada pela Usina, para que se determine o valor total dos benefícios advindos com o projeto.

O objetivo deste capítulo é determinar cada classe de benefício gerado pelo projeto, para que possa ser conhecido o valor total dos mesmos. Este resultado será utilizado, ainda, para se calcular o fluxo líquido do projeto ao longo de sua vida útil. Ao final, então, serão apresentados os indicadores dos benefícios líquidos do projeto.

#### **VI.1 - Benefícios Auferidos Quando se Evita a Poluição Hídrica :**

A poluição hídrica, bem como a poluição do solo, ocorrem principalmente em função da contaminação do Chorume, que é o líquido que resulta da biodegradação dos resíduos sólidos orgânicos. Seu potencial de contaminação é decorrente especialmente da presença de matéria orgânica, coliformes fecais e metais pesados, que podem contaminar tanto o homem quanto o meio ambiente.

Algumas das características do chorume são apresentadas na tabela a seguir:

**QUADRO 6.1 - PARÂMETROS RECOMENDADOS PELO  
CONAMA, RELATIVOS AO CHORUME.**

Parâmetro	Unidade	Recomendação (CONAMA)
PH	-	6,0 a 9,0
Sólidos Totais	mg/l	500
N (nitrito)	mg N/l	1,0
N (nitrato)	mg N/l	10,0
OD	mg O <sub>2</sub> /l	> 5
DBO <sub>5</sub>	mg/l	> 5
DQO	mg/l	-
Cloreto	mg Cl/l	250
Sulfato	mg SO <sub>4</sub> /l	250
Fósforo Total	mg P/l	-
Ferro Solúvel	mg Fe/l	0,3
Cobre	mg Cu/l	0,02
Chumbo	mg Pb/l	0,03
Zinco	mg Zn/l	0,18
Manganês	mg Mn/l	0,1
Cádmio	mg Cd/l	0,001
Cromo Total	mg Cr/l	-
Coliformes Totais	NMP/100 ml	< 5.000
Coliformes Fecais	NMP/100 ml	< 1.000

Fonte : SESAN, 1994<sup>41</sup>

A contaminação dos recursos hídricos provocada pelo chorume ocorre por duas formas : a poluição das águas superficiais e a poluição das águas subterrâneas :

<sup>41</sup> Acerca dos parâmetros citados na tabela, algumas observações têm de ser feitas : a) a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) é uma medida usada para quantificar a quantidade de oxigênio consumida por microorganismos até ocorrer a completa oxidação biológica, ou o que é o mesmo, até que ocorra a completa decomposição dos detritos de origem humana. Em termos práticos esta medida é realizada para um espaço de cinco dias (DBO<sub>5</sub>), espaço necessário para a completa decomposição oxidativa dos detritos orgânicos; b) o índice de coliformes é, também, uma medida muito importante para a avaliação da qualidade da água. Esta é uma medida geral que, em termos práticos, avalia a contaminação das águas por matéria orgânica de origem fecal onde existe a predominância de bactérias, especialmente a *Escherichia Coli*. Observa-se, também, que não existem critérios uniformes quanto à classificação das águas, segundo este índice.

O modo pelo qual ocorre a poluição das águas superficiais é através da lixiviação direta, horizontal, provocada pela água das chuvas, que pode atingir o leito dos rios e mananciais.

Quanto à contaminação das águas subterrâneas, esta pode ocorrer através de três mecanismos:

- Lixiviação direta, horizontal, dos resíduos sólidos pela água subterrânea;
- Lixiviação vertical dos resíduos sólidos pela água de percolação;
- Transferência de gases produzidos na decomposição dos resíduos sólidos através da difusão e convecção.

A lixiviação direta, horizontal, ocorre quando o lixo é depositado a uma cota inferior à do lençol freático. Já a lixiviação vertical dos resíduos sólidos pela água de percolação é proveniente do movimento descendente das águas das chuvas, ou mesmo, através da própria umidade existente nos resíduos sólidos.

Mesmo quando seguidas as recomendações do CONAMA, a deposição do chorume na água provoca um comprometimento da potabilidade da água ficando a mesma imprópria para o consumo humano. Assim, quando ocorre a contaminação da água pelo chorume, se compromete o fornecimento para a população atendida pela mesma. Esta hipótese será levada em consideração, admitindo-se que anualmente a carga líquida do chorume despejado compromete a qualidade da água em cerca de 0,001%<sup>42</sup>.

---

<sup>42</sup> Este índice, é evidente, varia em cada caso, e depende do quão caudaloso seja o manacial.

### VI.1.1 - Medida do Benefício :

Com base na população adotada para a determinação dos custos dos métodos de tratamento/disposição, 1.000.000 de habitantes, foi calculado o benefício advindo do custo evitado da poluição hídrica, como :

Hipóteses admitidas :

Consumo per capita de água - 250litros<sup>43</sup> (697m<sup>3</sup>);

Custo de fornecimento de água 0,15 m<sup>3</sup> <sup>44</sup>;

Comprometimento anual da qualidade da água : 0,001%.

Cálculo do benefício : 254.587,5 m<sup>3</sup> (consumo anual per capita) x 0,0001 (perda estimada) x 1.000.000 (hab.) x R\$0,15 = R\$3.818.812,5

### VI.2 - Benefícios Auferidos Quando se Evitam os Custos da Poluição Atmosférica :

A poluição atmosférica decorrente dos *lixões* é proveniente da emissão de gases resultantes da matéria orgânica em decomposição. Estes podem ser agrupados em quatro áreas: i) aqueles que contribuem para o aquecimento global; ii) aqueles que contribuem para a destruição da camada de ozônio; iii) os que causam poluição convencional e iv) os gases tóxicos (Powell; Brisson, 1994).

<sup>43</sup>Conforme definido por May (1995)

<sup>44</sup>Idem. Vale observar que este custo médio varia muito de estado para estado. Em 1996 o custo médio do m<sup>3</sup> de água no Rio de Janeiro era de R\$0,3012, enquanto na Região Norte e Região Nordeste, R\$0,54 e R\$0,60, respectivamente (Cortez, 1996).

As concentrações maiores dos gases emitidos são de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás sulfídrico ( $\text{SO}_2$ ), mas além destes são encontrados halocarbonos, benzeno, vinil, clorídicos entre outros.

As maiores emissões associadas com o aquecimento global são justamente, de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ) e também de óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ), além de halocarbonos.

Os halocarbonos são, ademais os gases responsáveis pela destruição da camada de ozônio.

Outros gases de emissão convencional são os gases ácidos, que contribuem para as chuvas ácidas, como por exemplo o gás sulfídrico ( $\text{SO}_2$ ) e os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}$ ). Observa-se, ainda, que o gás sulfídrico é mais facilmente identificado porque é responsável pelos maus odores característicos da matéria em decomposição.

É importante observar que o nível de poluição atmosférica decorrente dos aterros sanitários é próximo daquele resultante dos “lixões”, a diferença é que, com a implantação de um aterro sanitário, em substituição a um “lixão”, os gases gerados passam a ser drenados, de modo que se evita a possibilidade de combustão espontânea e, mesmo, a concentração destes gases em determinadas áreas próximas ao terreno onde se situa o “lixão”. Assim, as externalidades decorrentes da emissão de gases não são evitadas quando da implantação de um aterro sanitário.

### **VI.3 - Benefícios Auferidos Quando se Evitam os Custos da Poluição do Solo :**

A poluição do solo é também resultado da lixiviação horizontal e vertical provocada pelas águas das chuvas, ocasionando uma concentração de chorume, cujos poluentes torna impróprio o solo para uso na agricultura. Todavia, como para se chegar a esta medida seria necessário conhecer a área atingida, ou a área em que existiria um “lixão”, antes da instalação dos métodos de tratamento, não foi possível se calcular a perda anual em termos de produtividade do solo provocada pela contaminação do chorume.

### **VI.4 - Benefícios Auferidos quando se Evitam os Custos Incurridos com as Doenças Transmitidas pelos Vetores ligados ao Lixo :**

Além das três formas de poluição citadas, observam-se também as externalidades ligadas aos problemas de saúde pública, que o lixo pode causar quando em contato direto com o homem ou pela contaminação indireta através de vetores que se encontram no lixo, o local ideal para sua multiplicação e seu habitat. O lixo é, aqui, fonte de externalidades pelos riscos epidemiológicos que pode trazer à saúde humana.

Quanto a este tipo de externalidade, vale observar que, conforme o conceito moderno de epidemiologia (Zanon 1990), o risco de transmissão direta de doenças infecciosas por qualquer tipo de resíduo sólido dependerá :

- a) da presença de um agente infeccioso;
- b) da sua capacidade de sobrevivência no lixo;

c) da possibilidade de sua transmissão para um hospedeiro susceptível.

É preciso haver a interação simultânea destes elementos para que o lixo tenha potencial contaminador para a saúde do homem. Levando-se em consideração estes três elementos, a via de contaminação direta do lixo sobre a saúde humana é muito reduzida, ficando praticamente restrita à possibilidade que o homem venha a se contaminar através de lesão cutânea ou por ingestão. Ambos os casos limitam o potencial de risco àquela população que sobrevive da catação ou mesmo se alimenta de restos de alimentos nos lixões.

O fato de o lixo se transformar no habitat de vetores de doenças infecciosas, em grande parte não presentes no próprio lixo, é a via de contaminação dos resíduos quando dispostos na forma de lixões. O lixo se transforma em problema de saúde pública pela via indireta através da relação : lixo (habitat) → vetor → doenças (homem).

Segundo a Organização Panamericana de Saúde (apud Rouquayrol M. Z., 1993), a correta solução para o problema do lixo possibilita a redução de 90% das moscas, 65% dos ratos e 45% dos mosquitos.

#### **VI.4.1 - Medida do Benefício :**

Para efeito de cálculo, foram adotadas as seguintes hipóteses :

Incidência de cada doença provocada pelos vetores ligados ao lixo, conforme definido na tabela 6.2, a seguir:

**TABELA 6.2 - INCIDÊNCIA PARA 100.000 HAB. DAS DOENÇAS CAUSADAS PELOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

<b>Doenças</b>	<b>ANO (1986)</b>
Febre Tifóide e	2,4
Peste	0,0
Malária	320,3
Leishmaniose	
Tegumentar	11,4
Leishmania	
Visceral	1,3
Leptospirose	1,3
Filariose	-
Febre Amarela	-
Dengue	35,2

Fonte : Maria Cristina Possas (1991)

\* dado acrescentado pelo autor com base no número de ocorrências no ano de 1986 em relação, à população daquele ano.

Gastos Totais com cada patologia conforme definido pelo SUS apresentado na tabela 6.3.

**TABELA 6.3 - GASTOS EM SERVIÇOS HOSPITALARES  
POR DOENÇAS RELACIONADAS COM AS EXTERNALIDADES  
PROVOCADAS PELO LIXO.**

<b>Doenças</b>	<b>Permanência Média (dias)</b>	<b>Serviços Hospitalares (R\$)</b>	<b>Serviços profissionais (R\$)</b>	<b>Serviço Auxiliar de Diagnóstico e Terapia (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Febre Tifóide e outras Salmoneloses	8	64,75	19,80	5,99	90,54
Peste	8	64,75	19,80	5,99	90,54
Malária	7	54,63	16,92	7,22	78,77
Leishmaniose	7	54,63	16,92	7,22	78,77
Leptospirose	9	86,58	23,44	17,07	127,09
Filariose	6	52,55	17,52	6,33	76,40
Febre Amarela	7	60,91	17,29	7,10	85,30
Acidente por mordedura de ratos	4	51,96	12,57	5,81	70,34
Intoxicação por Gases	3	34,45	11,14	2,08	47,67

Fonte : Tabela de Procedimentos Hospitalares SIH/SAI-SUS

Para os cálculos referentes aos benefícios incorridos quando se evita as doenças provocadas pelos lixo, foram realizados os seguintes procedimentos : multiplicou-se a incidência (para 1.000.000 de hab.) relativa a cada doença, pelo gasto total com a mesma (tabela do SUS), atribuindo-se ainda, como peso, a percentagem relativa redução dos vetores<sup>45</sup> quando se dá uma correta solução ao problema do lixo.

Os cálculos para cada doença relacionada aos resíduos é apresentado na tabela 6.4 abaixo:

<sup>45</sup>A relação entre a respectiva doença e o vetor de transmissão foi estabelecido em capítulo anterior.

**TABELA 6.4 - CÁLCULO DOS CUSTOS INCORRIDOS COM AS DOENÇAS PROVOCADAS PELOS RESÍDUOS :**

<b>Doenças</b>	<b>Incidência para 1.000.000 hab.</b>	<b>Custo Total</b>	<b>Peso</b>	<b>Benefício (R\$)</b>
Febre Tifóide e Peste	24	90,54	0,65	1,412,42
Malária	3200,3	78,77	0,65	163.841,60
Leishmaniose Tegumentar	114,0	78,77	0,45	4.040,90
Leishmania Visceral	13,0	78,77	0,45	460,80
Leptospirose	-	127,09	0,65	-
Filariose	-	76,40	-	-
Febre Amarela	0,0	85,30	-	-
Dengue	352*	78,77*	0,65	18.022,57
<b>Total</b>				<b>187.778,29</b>

\* Foi considerado para dengue o mesmo custo requerido para a malária.

### **VI.5 - Benefícios Advindos da Reciclagem do Lixo Promovida pela Usina de Reciclagem e Compostagem :**

Os benefícios oriundos da reciclagem promovida pela Usina de Reciclagem e Compostagem advém da economia de energia, água, matérias-primas custos com a deposição final dos resíduos :

#### **VI.5.1 - Medida dos Benefícios :**

O cálculo dos benefícios oriundos da Reciclagem promovida pela Usina de Reciclagem e Compostagem segue os cálculos feitos por Calderoni (1997), que estimou o quanto se perde, em termos de gastos com energia,

água, matérias-primas, e deposição final dos resíduos para cada tipo de produto.

A síntese dos resultados é apresentada na tabela abaixo 6.5, abaixo :

**TABELA 6.5 - ECONOMIA OBTIDA COM A PRODUÇÃO DE RECICLÁVEIS PELA USINA.**

<b>Produto</b>	<b>Economia por t R\$</b>	<b>Prod. Usina</b>	<b>Economia Anual por Produto</b>
Lata de Alumínio	480,30	1.731,60	931.687,48
Vidro	99,50	388,80	38.685,60
Papel	386,24	1.141,20	440.777,08
Lata de Aço	311,16	1.731,60	538.804,65
Plástico	1.466,00	1.836,00	2.691.576,00
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4.541.530,21</b>

Fonte : Elaborada pelo próprio autor.

Para efeito de cálculo multiplicou-se a economia por tonelada pela produção da Usina, definida no capítulo V.

O somatório dos benefícios totais é apresentado abaixo :

Receita da Usina de Reciclagem e Compostagem :	R\$ 1.139.469,36
Custos Evitados com a Poluição Hídrica:	R\$ 3.818.812,50
Custos Evitados com Saúde :	R\$ 187.778,29
Economia com a Reciclagem :	R\$ 4.541.530,21
<b>Total</b>	<b>R\$ 9.687.590,36</b>

## VI.6 - Fluxo dos Benefícios Líquidos do Projeto de Reciclagem e Compostagem e Aterro Sanitário:

Para se calcularem os benefícios líquidos do projeto, inclusive os indicadores financeiros do mesmo, recorreu-se aos resultados quanto aos “custos”, apresentados no capítulo V.

- Investimento Total, Usina de Reciclagem e Compostagem (alternativa conjunta) - R\$ 26.759.244,48
- Custo total anual da Usina de Reciclagem e Compostagem (alternativa conjunta) - Ano 1: R\$ 1.315.346,30; Ano 2: R\$ 1.329.740,17.

Os fluxos dos custos, benefícios e benefícios líquidos são apresentados na Tabela 6.6, a seguir:

**TABELA 6.6 - FLUXOS DE CUSTOS E BENEFÍCIOS DO PROJETO.**  
(R\$)

ANOS	BENEFÍCIOS	CUSTOS	BEN. ATUAL.	CUSTOS ATUAL.	BENEFÍCIOS LÍQUIDOS
0	0	26.759.244,48	0	26.759.244,48	26.759.244,48
1	9.687.590,36	1.315.346,30	8.969.991,07	1.217.913,30	7.752.077,83
2	9.687.590,36	1.329.740,17	8.305.547,29	1.140.037,87	7.165.509,42
3	9.687.590,36	1.329.740,17	7.690.321,57	1.055.590,62	6.634.730,95
4	9.687.590,36	1.329.740,17	7.120.668,12	977.398,72	6.143.269,39
5	9.687.590,36	1.329.740,17	6.593.211,22	904.998,82	5.688.212,40
6	9.687.590,36	1.329.740,17	6.104.825,20	837.961,87	5.266.863,34
7	9.687.590,36	1.329.740,17	5.652.615,93	775.890,62	4.876.725,31
8	9.687.590,36	1.329.740,17	5.233.903,64	718.417,24	4.515.486,40
9	9.687.590,36	1.329.740,17	4.846.207,07	665.201,15	4.181.005,92
10	9.687.590,36	1.329.740,17	4.487.228,77	615.926,99	3.871.301,78
Σ			65.004.519,88	35.668.581,66	29.335.938,22

Fonte : o próprio autor.

Obs : O fluxo de custos e benefícios do projeto no tempo foi calculado admitindo-se uma taxa de desconto de 8% ao ano.

Foi considerado um tempo de vida útil do projeto (Usina de Reciclagem e Aterro Sanitário de 10 anos) - em razão de este ser o caso para a Usina.

Com base nos resultados obtidos (benefícios líquidos) foram calculados os seguintes indicadores para o projeto :

Pay Back Clássico - PC : 3,2 (anos)

Pay Back Atualizado - PCA : 3,847 (anos)

Relação Benefício-Custo - R B/C : 1,8224

Valor Presente Líquido - VPL : R\$29.935.938,22

Taxa Interna de Retorno - 19%

Na Tabela 6.6., os benefícios custos são atualizados à taxa de 8% ao ano, para o ano de implantação do projeto, admitindo-se que esta taxa está próxima do custo de oportunidade do capital. Além do mais considerou-se um tempo de vida útil de 10 anos, que seria aproximado do tempo de vida útil da Usina.

O Pay Back Clássico (PC), tempo de retorno do Investimento sem considerar a atualização de benefícios e custos, é de 3,3 anos

O Pay Back Clássico (PCA), tempo de retorno do Investimento atualizado a uma taxa de desconto de 8% é de 3,8 anos

O Valor Presente Líquido ao final de 10 anos é de R\$29.935.938,22. O que demonstra claramente que os benefícios totais obtidos com o projeto de Usina de Reciclagem e Compostagem juntamente com o aterro Sanitário geram um benefício líquido bem considerável já ao final do primeiro período, sendo que o projeto é totalmente pago já ao terceiro ano de duração do empreendimento.

A Relação Benefício / Custo acima de 1,8 denota que, no espaço de tempo considerado, os benefícios do projeto são quase o dobro dos seus custos.

A taxa Interna de Retorno é igual a 19%, o que indica que até esta taxa o valor presente dos benefícios é maior ou igual valor presente dos custos do projeto.

Ao final, conclui-se que a sociedade tem um ganho de bem-estar, em um espaço de tempo bastante reduzido, além do que, considerando o período de 10 anos, o benefício líquido será bem mais significativo.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Verificou-se inicialmente que as características dos resíduos: i) irreversibilidade; ii) heterogeneidade; iii) anisotropia, definem os princípios e linhas de ação quanto ao seu gerenciamento, bem como, os aspectos de engenharia dos métodos de tratamento/disposição. Com relação a isto, foi mostrado que os métodos de tratamento/disposição devem atuar no sentido de diminuir a poluição em cadeia e o potencial impactante provocado pelos resíduos, ao mesmo tempo que, respeitando sua diversidade, devem ser delineados em uma ação integrada.

Dos vários métodos de tratamento existentes para resíduos sólidos urbanos, três vêm sendo utilizados largamente no Brasil : o Aterro Sanitário, a Usina de Reciclagem e Compostagem e a Usina de Incineração. Em virtude disto, estes foram os métodos de tratamento tomados, a priori, para análise. Porém a Usina de Incineração foi abandonada do estudo em virtude principalmente da ausência de informações suficientes no que tange o objetivo proposto do trabalho, mas também pelo fato que este método de tratamento exige inversões relativamente maiores quando comparadas aos outros métodos selecionados, e algumas experiências práticas terem demonstrado a possibilidade que as externalidades ambientais geradas por este método, particularmente a poluição atmosférica, sejam superiores que as externalidades evitadas com o tratamento adequado dos resíduos.

Com relação aos dois métodos selecionados : Aterro Sanitário, e Usina de Reciclagem e Compostagem, foram apontados os elementos de natureza técnico-sanitária e ambiental que devem ser conjugados, para que os

métodos de tratamento alcancem o nível de eficiência e eficácia desejados no sentido de eliminar ou minimizar as externalidades geradas pelos resíduos sólidos.

Por outro lado, no sentido de delimitar espacialmente o problema relativo aos resíduos sólidos, mostrou-se as tendências em que estão pautadas a distribuição da oferta dos serviços de coleta de resíduos sólidos domésticos, quais sejam : em relação ao País, a desproporção destes serviços entre as suas várias regiões geográficas, com as regiões mais ricas observando os melhores índices da coleta; e em relação aos Estados a distribuição assimétrica e diretamente proporcional ao nível de renda da população.

Também foram realizadas duas regressões, ambas estimadas com base no método dos mínimos quadrados, com o objetivo de se fazer previsões acerca da quantidade de resíduos sólidos não-coletados, elemento necessário para se ter uma aproximação do potencial de externalidades geradas pelos resíduos. Assim, para dados *cross section* dos Estados, o primeiro modelo identificou as variáveis que determinam o déficit na coleta (de resíduos) enquanto o segundo modelo, para dados *cross section* das capitais, identificou as variáveis que determinam a geração de resíduos.

Para o modelo de determinação do déficit, ficou evidenciado que ao nível de significância de 1%, as variáveis densidade populacional e Produto Interno Bruto Per capita, explicavam a variável dependente - déficit - no atendimento da coleta.

Para o modelo de determinação do lixo gerado, ficou evidenciado que ao nível de significância de 1%, as variáveis densidade populacional (como

proxy da população) e o Produto Interno Bruto Per capita , explicavam bem, a variável dependente - lixo gerado. Neste caso, a fórmula funcional mais ajustada foi aquela que definiu uma relação quadrática entre a variável dependente e o PIB Per capita.

Tomando o resultado em relação ao déficit para um Estado particular e multiplicando pelo resultado quanto ao lixo gerado para a capital do Estado respectivo, pôde-se chegar a quantidade de lixo não-coletado e, portanto, a uma aproximação das externalidades geradas pelos resíduos para aquela localidade.

Do ponto de vista teórico foi demonstrada, sob o escopo da Economia do Bem-estar, as características que fazem da disposição inadequada dos resíduos sólidos externalidades ambientais, assim como, os métodos de tratamento, como bens públicos, capazes de promover um ganho de bem-estar social, quando da existência de um benefício social líquido ( $\Sigma B > \Sigma C$ ).

Sob o ponto de vista analítico, cada capítulo teve uma finalidade específica dentro do trabalho, apresentando conclusões pertinentes que foram úteis à comprovação da hipótese central provada ao final do estudo.

O caminho crítico percorrido ao longo do trabalho, pôde comprovar a hipótese central levantada por este estudo de que a implantação dos métodos de tratamento de resíduos sólidos urbanos selecionados - Aterro Sanitário e Usina de Reciclagem e Compostagem - (utilizados de forma conjunta), conduz a benefícios sociais líquidos.

Observa-se que a base de comparação usada no trabalho foi de custos privados (implantação e operação) e benefícios sociais, inclusos como benefícios sociais, os custos evitados com as externalidades provocadas pelos resíduos sólidos.

Para a execução dos cálculos pertinentes aos custos de inversão e operação dos métodos de tratamento selecionados, assim como dos benefícios sociais, partiu-se da hipótese de que eles venham a atender uma população de 1.000.000 de habitantes. Assim, inicialmente, calculou-se os custos de implantação e operação de um Aterro Sanitário e de um Usina de Reciclagem e Compostagem individualmente e, após, a alternativa conjunta do uso integrado destes métodos. Quanto aos benefícios, estes foram calculados como decorrentes da implantação conjunta dos métodos de tratamento selecionados, onde foram considerados os seguintes elementos : custos evitados com a poluição hídrica, custos evitados com as doenças causadas pelos vetores que se reproduzem na presença de resíduos sólidos, economia com a reciclagem promovida pela Usina de Reciclagem e Compostagem e receita proveniente da venda do material triado e beneficiado pela mesma.

Do confronto entre os benefícios e custos<sup>3</sup> anuais do projeto (Aterro Sanitário e Usina de Reciclagem e Compostagem), levou ao cálculo de alguns indicadores, que são mostrados a seguir:

Prazo de Retorno do Investimento Atualizado (PCA), corrigido à taxa de 8% a. a. - 3,8 anos.

Valor Presente Líquido (VPL), atualizado a mesma taxa e, ao final de 10 anos - R\$29.935.938,22.

Relação Benefício-custo (R B/C) - 1,8,isto é, para cada unidade de custos haveria 1,8 unidades de benefícios.

Taxa Interna de Retorno - 19%.

Ressalta-se, também, a existência de benefícios líquidos já no primeiro ano de operação do projeto (ano II).

Caberia ainda duas últimas observações, acerca da aplicação prática dos resultados auferidos. Em primeiro lugar, como os benefícios sociais obtidos mais do que excedem os custos de implantação e operação requeridos, ressaltando as diferenças pertinentes a cada caso particular, seria então, recomendada a adoção dos métodos de tratamento selecionados aos conglomerados urbanos com cerca de 1.000.000 de habitantes em cada unidade da Federação. Em segundo lugar, o ganho de bem-estar a ser alcançado, quando se evita a proliferação de doenças infécto-contagiosas, também atua de maneira positiva pela redução do ônus materializado nas contas públicas, através do Sistema Único de Saúde, o que aumenta a escala de benefícios indiretos do projeto. Este é um aspecto não abordado no presente trabalho, mas que como outros poderão ser objeto de investigações futuras. Ficam assim, algumas interrogações em aberto para que novos trabalhos possam corretamente preenchê-las.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, R. R. *O lixo pode ser um tesouro*. Rio de Janeiro, Prefeitura Municipal/Centro Cultural Rio Cine, 1993.
- AMAZONAS, M. *O lixo do futuro e o futuro do lixo: a importância da reciclagem no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos*. São Paulo, mimeo, 1989.
- ARAÚJO, A. *Engenharia e montagens - industrialização do lixo urbano: aterro, compostagem e incineração*. mimeo, 1992.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE PAPEL E CÉLULOSE (ANFPC). *Aspectos Gerais da Reciclagem de Papel no Brasil*. São Paulo, 1995.
- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDROS (ABIVIDRO). *Manual de reciclagem de vidro*. Bloco de comunicação, 1994.
- BASTOS DE SOUZA, E. ET ALII. *Avaliação das políticas públicas federais de desenvolvimento urbano, habitação e saneamento em 1991*, IPEA/DIPES, Rio de Janeiro, 1993. (Texto para Discussão n. 304)

- BAUMOL, W. J. *Welfare economics and the theory of state...*, London, G. Bell and Sons Ltd, 1965.
- BAUMOL, W. J. ; OATES, W. E. *The theory of environmental protection*, Cambridge, U. K, Cambridge University Press, 1988.
- BEED, D. ; BLOOM, D. The economics of municipal solid waste. *The World Bank Research Observer*, 10 (02), ago. 1995, p. 113-150.
- BOWER, B. T. Economic dimensions of waste recyclingan reuse: some difinitions, facts and issues. In: David W. Pearce and Walter *Resource Conversation: social and economic dimensions of recycling*, London, 1992.
- BRASIL. Constituição 1988. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, Senado Federal/Centro Gráfico, 1988.
- BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE MINAS E METALURGIA. *Relatório do grupo de trabalho criado pelas portaria interministeriais n. 415/94 e 137/95*. Brasília, 1995.
- BRISSON, I. Packaging wast and the enviroment: economics and policy. *CSERGE Report*, London, 92 (01), 1992.

CEMPRE. COMPROMISSO EMPRESARIAL DA RECICLAGEM;  
INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). *Manual de  
gerenciamento integrado*. Rio de Janeiro, 1994.

CEMPRE, COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM.  
*Pesquisa Ciclosoft*, 1995.

\_\_\_\_\_. Informativos Mensais: out/nov/93, ago/94; out/94; nov/94;  
dez/94; fev/95; jun/95; ago/95; fev/96; ago/96; out/96; fev/97; maio/97.

CHERMONT, L. & SEROA DA MOTTA, R. *Aspectos econômicos da  
gestão integrada de resíduos sólidos*. IPEA/DIPES, Rio de Janeiro, 1996.  
(Texto para Discussão, n. 416)

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
CETESB, *Plano Diretor do Sistema de Limpeza Pública da Região  
Metropolitana de Belém*, São Paulo, 1979.

CONFERÊNCIA DA NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E  
DESENVOLVIMENTO. *Agenda 21*. Rio de Janeiro, Senado Federal,  
1996.

CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMPEZA PÚBLICA E CONGRESSO  
PAN-AMERICANO DE LIMPEZA PÚBLICA. *Proposições básicas para*

*uma política brasileira de limpeza pública.* São Paulo, CNPU/IPEA/CETESB, 1978.

CONJUNTURA ECONÔMICA. Custo dos Serviços de Limpeza (II), *setembro/1996*, p. 46-48.

CONJUNTURA ECONÔMICA. Segurança Privada, o custo unitário básico do setor, *julho/1996*, p.35-41.

CORTEZ, M. DEL C. Tarifa x Subsídio, *Bio, jan/mar, 1996*, p.35-38.

DEMAJOROVIC, V. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. *REA*, São Paulo, 35 (3), p. 88-93, maio-jun. 1995.

EIA/RIMA - Complexo de Destinação dos Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Belém, Belém, SESAN, 1994.

FELLENBERG, G. *Introdução aos problemas da poluição ambiental.* Tradução por Jurgen Heinrichmaar. São Paulo: EPV/Springer/Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

GALVÃO JÚNIOR, A. de C. *Aspectos operacionais relacionados com as usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil.* São Paulo, 1994. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- GEORGESCU-ROEGER, N. The Entropy Law and The Economic Problem.  
In : *Herman Daly (org). Economics, Ecology, Ethics*, São Francisco,  
Ericsson, 1980.
- HICKS, J. R. - Foundations of Welfare Economics, *The Economic Journal*,  
49 (1939) : pp. 696-712.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM);  
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS URBANAS (CPV); NÚCLEO  
DE MEIO AMBIENTE URBANO. *Consulta nacional sobre gestão do  
saneamento e do meio ambiente urbano: relatório síntese das consultas  
locais*. São Paulo, IBAM, 1994.
- IBGE, ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1989. *Suplemento*. Rio de  
Janeiro, IBGE, 1990.
- \_\_\_\_\_. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD) - 1989*. Rio de  
Janeiro, IBGE, 1990. Tomos 1, 2, 3, 4 .
- \_\_\_\_\_. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB)*. Rio de Janeiro,  
IBGE, 1992.
- \_\_\_\_\_. *Áreas municipais por unidade da federação. Quadro territorial  
vigente em 31 de dezembro de 1993*, Rio de Janeiro, IBGE, 1995.

\_\_\_\_\_. *Pesquisa Nacional Por Amostra de Domicílio. Síntese dos Indicadores 1993*, Brasil, IBGE, 1994.

\_\_\_\_\_. *Pesquisa Nacional Por Amostra de Domicílio. Síntese dos Indicadores 1995*, Brasil, IBGE, 1996.

\_\_\_\_\_. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD) - 1995*. Rio de Janeiro, IBGE, 1996.

KALDOR, N. - Welfare Propositions of Economics and Interpersonal Comparisons of Utility, *The Economic Journal*, 49 (1939) : pp. 696-712.

LAVINAS, L. ; MAGINI, M. (coord.). *Atlas regional da desigualdade*. FINEP/ANPOCS/IPEA, Rio de Janeiro, 1997.

LONDERO, E. - *Benefícios e Beneficiarios*, una introducción a le estimación de efectos distributivos en el analisis costo beneficio, Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID, 1987.

MAY, P. H. (org.). *Economia ecológica: aplicações no Brasil*. Rio de Janeiro, Campus, 1995.

MISHAN, E. J. The postwar literature on externalities: an interpretative essay. *Journal of Economic Literature*, 9(1), p. 1-28, mar. London, 1971.

NBR 10.004. RESÍDUOS SÓLIDOS - CLASSIFICAÇÃO.

NBR 10.006. SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS - PROCEDIMENTO.

NBR 8.419. APRESENTAÇÃO DE PROJETOS DE ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS - PROCEDIMENTO

NBR 8.849. APRESENTAÇÃO DE PROJETOS DE ATERROS CONTROLADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS - PROCEDIMENTO.

NBR 5676. (NB 502). AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS URBANOS

ORGANIZATION PANAMERICANA DE LA SALUD; OFICINA SANITÁRIA PANAMERICANA; OFICINA REGIONAL DE LA ORGANIZATION MUNDIAL DE LA SALUD. *Resíduos solidos municipales: guia para ele diseño, construccion y operacion de rellenos sanitarios manualles.* México, 1991.

PAGE, T. *Conservation and economic efficiency: an approach to materials policy.* London: Resources for the Future, 1976.

PEARCE, D. ; BRISSON, I. The economics of waste management. In : R. Hester;R. Harrison, *Issues in Enviromental Science and Technology*, n. 3, 1995. (Reimpresso de: Waste treatment disposal).

PEARCE, D. ; TURNER, R. K. *Economic of natural resources and the enviroment.* Baltimore: The Jonh Hopkins University Press, 1996.

\_\_\_\_\_. Economics and solid waste management in the developing world.  
*CSERG Working Paper WM 94-05*, London, 1994.

PEARCE, W. D. *Economic Ambiental*. Tradução por Eduardo L. Suárez.  
México, Fondo de Cultura Econômica, 1985.

PEREIRA NETO, J. T. Minimização e aproveitamento de resíduos sólidos. In  
: *Anais do III Simpósio Nacional de Gerenciamento Ambiental na  
Indústria*, Siglus/Revista Saneamento Ambiental, São Paulo, 1993.

POSSAS, M. C. - *Epidemiologia e Sociedade - Heterogeneidade Estrutural e  
Saúde no Brasil*. 2. ed. São Paulo, HUCITEC/ABRASCO, 1989.

POWELL, V. C. ; BRISSON, I. The assessment of social costs and benefits  
of waste disposal. *CSERG Working Paper*, WM n.6, London, 1994.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, SECRETARIA DO MEIO  
AMBIENTE, DEPARTAMENTO DE LIMPEZA PÚBLICA. *Aterro  
sanitário Sul de Cachimba*. Curitiba, 1992.

QUEIROZ LIMA, M. *Lixo: tratamento e biorremediação*. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo,  
Hemus, 1995.

QUERZOLI, A. *Reciclagem de resíduos sólidos urbanos: princípios e  
aspectos econômicos*. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, 1978.

RIBEIRO DA LUZ, F. X. O tratamento do lixo. *Limpeza Pública*, São Paulo, n. 26, 1992.

ROUQUAYROL, M. Z. *Epidemiologia e Saúde*. 2ª ed. Rio de Janeiro, MEDSI, 1993.

SCITOVSKY, T. A note on welfare propositions in economics, *Review of Economic Studies*, 1941, pp. 79-88.

SEROA DA MOTTA, R. *Indicadores ambientais no Brasil: aspectos ecológicos, de eficiência e distributivos*. IPEA/DIPES, Rio de Janeiro, 1996.(Texto para discussão n. 403)

SEROA DA MOTTA, R.; AMAZONAS, M. e WELLS, C. (org.). *A Economia da reciclagem: agenda para uma política nacional*. Rio de Janeiro, CEMPRE/IPEA, 1995. (Relatório)

SILVA PINTO, M. DE. *A coleta e disposição do lixo no Brasil*. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas, 1979.

SILVEIRA, G. T. R. Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos. *Saneamento Ambiental*. Ano VI, p. 30-35, julho/agosto, n 40, 1996.

SUGDEN, R. ; WILLIAMS, A. *The principles of practical cost-benefit analysis*. Oxford: Oxford University Press, 1986.

VERONESE, R. ; FOCCACIA, R. - *Tratado de Infectologia*, São Paulo, Atneu, 1996.

ZANON, U. - *Riscos Infecciosos Imputados ao Lixo Hospitalar. Realidade Epidemiológica ou Ficção Sanitária ?* , Companhia de Desenvolvimento de Vitória, Prefeitura de Vitória, Vitória, 1995.

# **ANEXO 1**

**Infra-Estrutura Requerida para uma Usina de Reciclagem e Compostagem, com capacidade de Processamento de 500 ton./dia.**

em julho/97

**Sede Administrativa 350m<sup>2</sup>** R\$ 129.675,00

Construção em alvenaria de tijolo, alicerces em concreto, piso em concreto, cobertura com estrutura de madeira e telhas de cerâmica, tipo colonial.

-Custo:

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
350 R\$	370,50 R\$	129.675,00

**Muro de limite 410m** R\$ 36.189,40

Construção em alvenaria de tijolo, alicerces em concreto e pilares em concreto estrutural

-Custo:

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
82 R\$	89,10 R\$	7.306,20	-Concreto
13,6 R\$	159,36 R\$	2.167,30	-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
680 R\$	1,31 R\$	890,80	-Armadura

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
337,6 R\$	17,68 R\$	5.968,77	-Forma

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
927 R\$	21,42 R\$	19.856,34	-Alvenaria

TOTAL GERAL MURO R\$ 36.189,40

**Estação de Pesagem** R\$ 8.146,39

. Cabine 12m<sup>2</sup>

. Plataforma 24m<sup>2</sup>

-Custo:

.Cabine

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
12 R\$	370,50 R\$	4.446,00

.Plataforma

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
10,96 R\$	159,36 R\$	1.746,59	-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
547,8 R\$	1,31 R\$	717,62	-Armadura

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
69,92 R\$	17,68 R\$	1.236,19	-Forma

TOTAL GERAL R\$ 8.146,39

**Guarita 14 m<sup>2</sup>**

R\$

5.187,00

Construção em alvenaria de tijolo, alicerces em concreto, piso em concreto, cobertura com estrutura de madeira e telhas de cerâmica, tipo colonial.

-Custo:

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
14 R\$	370,50 R\$	5.187,00 -Prédio

**Portão de ferro 10m<sup>2</sup>**

R\$

372,80

Construção em estrutura metálica e chapas de aço galvanizado 0,6 de espessura

-Custo:

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
10 R\$	21,56 R\$	215,60 -Estrutura metálica

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
120 R\$	1,31 R\$	157,20 -Chapas de aço galvanizado 0,6

TOTAL GERAL R\$ 372,80

**Sistema sanitário**

R\$

1.039,02

Construção em concreto estrutural

-Custo:

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
0,335 R\$	159,36 R\$	53,39 -Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
15 R\$	1,31 R\$	19,65 -Armadura

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
6 R\$	17,68 R\$	106,08 -Forma

tubo100	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
2 R\$	40,32 R\$	80,64 -Tubo de concreto vibrado perfurado diam. 1m

SUB-TOTAL R\$ 259,76  
4 -Unidades

TOTAL GERAL R\$ 1.039,02

**Rede de Distribuição de Água - 798m**

R\$

14.199,84

Construção da rede hidráulica, tubos de PVC, rígido, classe A

-Custo:

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
114	R\$ 31,10	R\$ 3.545,40

-Tubo de PVC diam. 150mm

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
228	R\$ 18,89	R\$ 4.306,92

-Tubo de PVC diam. 100mm

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
456	R\$ 13,92	R\$ 6.347,52

-Tubo de PVC diam. 85mm

diam. 1m

TOTAL GERAL R\$ 14.199,84

**Rede de Distribuição Complementar**

R\$

51.987,74

Construção da rede hidráulica, tubos de ferro galvanizado, rosqueado, classe 10  
diâmetro de 100 e 150mm

Reservatório elevado (7m). construído em concreto estrutural. capacidade de 50m³

-Rede hidráulica

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
180	R\$ 74,71	R\$ 13.447,80

-Tubo de ferro galv., diam. 150mm

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
540	R\$ 45,81	R\$ 24.737,40

-Tubo de ferro galv., diam. 100mm

SUB TOTAL R\$ 38.185,20

-Reservatório elevado

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
13,306	R\$ 159,36	R\$ 2.120,44

-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
665,28	R\$ 1,31	R\$ 871,52

-Armadura

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
145,97	R\$ 17,68	R\$ 2.580,75

-Forma

-Pintura e impermeabilizante

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
145,97	R\$ 12,79	R\$ 1.866,96

-Forma

SUB TOTAL R\$ 7.439,67

-Viga de amarração e colunas

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
23,024	R\$ 159,36	R\$ 3.669,10

-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
1151,2	R\$ 1,31	R\$ 1.508,07

-Armadura

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
28	R\$ 17,68	R\$ 495,04

-Forma

-Pintura

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
54	R\$ 12,79	R\$ 690,66

-Forma

SUB TOTAL R\$ 6.362,88

TOTAL GERAL R\$ 51.987,74

**Rede de Drenagem 1000m**

RS

44.314,32

Construção da rede de águas pluviais e servidas, tubos cerâmico sanitário diâmetro de 200 a 400 mm e de concreto classe C-1 diam 0,50 a 0,60 m  
Tanque subterrâneo, construído em concreto estrutural, capacidade de 100m<sup>3</sup>

**-Rede de águas pluviais e servidas**

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
110	R\$ 18,00	R\$ 1.980,00	-Tubo de concreto, diam. 0,60m
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
250	R\$ 15,00	R\$ 3.750,00	-Tubo de concreto, diam. 0,50m
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
350	R\$ 53,00	R\$ 18.550,00	-Tubo de cerâmico, diam. 400mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
200	R\$ 28,20	R\$ 5.640,00	-Tubo de cerâmico, diam. 300mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
90	R\$ 9,56	R\$ 860,40	-Tubo de cerâmico, diam. 200mm
SUB TOTAL		R\$ 30.780,40	

**-Reservatório subterrâneo**

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
26,612	R\$ 159,36	R\$ 4.240,89	-Concreto estrutural
Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1330,6	R\$ 1,31	R\$ 1.743,09	-Armadura
m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
300	R\$ 17,68	R\$ 5.304,00	-Forma
SUB TOTAL		R\$ 11.287,97	

**-Escavação**

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
315	R\$ 5,57	R\$ 1.754,55	-Escavação manual
m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
409,5	R\$ 1,20	R\$ 491,40	-Transporte do material
SUB TOTAL		R\$ 2.245,95	
TOTAL GERAL		R\$ 44.314,32	

**Fosso de recepção 120m<sup>3</sup>**

RS

12.337,61

Construção em concreto estrutural, de parede 0,20m de espessura  
fundo de 0,20m de espessura

**-Escavação**

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
345,6	R\$ 5,57	R\$ 1.924,99	-Escavação manual
m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
449,28	R\$ 1,20	R\$ 539,14	-Transporte do material
SUB TOTAL		R\$ 2.464,13	

**-Estrutura**

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
33,688	R\$ 159,36	R\$ 5.368,52	-Concreto estrutural
Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1684,4	R\$ 1,31	R\$ 2.206,56	-Armadura
m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
130	R\$ 17,68	R\$ 2.298,40	-Forma
SUB TOTAL		R\$ 9.873,48	
TOTAL GERAL		R\$ 12.337,61	

**Galpão de Triagem com área coberta 560m<sup>2</sup>**

R\$

135.078,34

Construção em estrutura metálica, com base em concreto estrutural de 0,50x0,60m, com piso em concreto estrutural de 0,20 de espessura, bases com chumbadores de 3/4" (204,2mm) de diâmetro, componta rosqueada NC  
Pilares em estrutura metálica treliçada (14 unid.) de 0,40x0,20m de seção x 7m de altura. Cobertura em estrutura metálica, com tesouras trelicidas e contra-ventada, coberta com chapas onduladas galvanizadas de 0,6mm de espessura  
Fechamento nas cabeceiras em chapas onduladas iguais às anteriormente referidas.

**-Escavação**

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
345,6	R\$ 5,57	R\$ 1.924,99

-Escavação manual

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
449,28	R\$ 1,20	R\$ 539,14

-Transporte do material

SUB TOTAL R\$ 2.464,13

**-Estrutura**

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
109,477	R\$ 159,36	R\$ 17.446,25

-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
5473,85	R\$ 1,31	R\$ 7.170,74

-Armadura

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
127,76	R\$ 17,68	R\$ 2.258,80

-Forma

SUB TOTAL R\$ 26.875,80

**-Pilares em estrutura metálica**

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
2156	R\$ 1,80	R\$ 3.880,80

-Pilares treliçados 0,40x0,20x7m

Un	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
168	R\$ 5,10	R\$ 856,80

-Chumbadores 3/4"x350mm

SUB TOTAL R\$ 4.737,60

**-Fechamento lateral em chapas onduladas**

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
366,1	R\$ 21,56	R\$ 7.893,12

-Chapas de aço 0,6mm espessura

**-Cobertura em estrutura metálica**

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
669,9	R\$ 39,00	R\$ 26.126,10

-Estrutura metálica

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
740	R\$ 21,56	R\$ 15.954,40

-Chapas de aço 0,6mm espessura

SUB TOTAL R\$ 42.080,50

167,5 R\$ 84.051,14

**-2o. Piso em estrutura metálica**

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
335	R\$ 39,00	R\$ 13.065,00

-Estrutura metálica

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
335	R\$ 91,32	R\$ 30.592,20

-Placas de aço 625x625mm

c/ material vinílico 30x30 cm

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
335	R\$ 22,00	R\$ 7.370,00

SUB TOTAL R\$ 51.027,20

R\$ 135.078,34

Lagoa de Estabilização 3,5m profundidade, vol. 5.573,75 m <sup>3</sup>	R\$	15.000,00
Lagoa de Estabilização II 2,5m profundidade, vol. 10.125 m <sup>3</sup>	R\$	30.000,00
Pavimentação da área de cura 300 m <sup>2</sup>	R\$	60.000,00
Pátio de recepção m <sup>2</sup>	R\$	8.000,00
	R\$	113.000,00
Total Final :	R\$	551.527,47

## **ANEXO 2**

## **Custos Operacionais de uma Usina de Reciclagem e Compostagem**

**Mão-de-Obra** : é o fator que mais influi no custo operacional de uma Usina. Seu dimensionamento depende de uma série de fatores como, capacidade instalada da Usina, nível e Treinamento dos operadores; grau de beneficiamento dos produtos.

O setor que mais emprega mão-de-obra é o de triagem, onde costuma-se utilizar um funcionário por metro linear de esteira.

A quantidade de funcionários utilizados, de acordo com as operações regulares de uma Usina de Reciclagem e Compostagem é apresentado na tabela 2.1a a seguir :

**TABELA 2.1a: NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS  
SEGUNDO AS OPERAÇÕES REGULARES DAS USINAS :**

Usina/operação	Araraquara	Araras	Montes Claros	Ourinhos	Média por operação*
Recepção	01	02	02	01	02
Esteira	22	28	22	25	25
Moinho	-	-	01	06	03
Pátio	02	02	01	06	03
Peneiramento	05	-	04	04	04
Manutenção	01	08	01	02	03
Outros	07	05	34	02	12

Fonte : Galvão Junior (1994).

\* Adotou-se para cálculo a média para cada operação, exclusive, a mão-de-obra

alocada na manutenção e a que exerce funções gerais (outros).

\*\* As usinas Tomadas como amostra processam em torno de 100 a 150 t./dia de resíduos. Isto equivale às necessidades de mão-de-obra de cada módulo do processo escolhido para análise.

Os custos de mão-de-obra relativos a implantação de uma Usina de Reciclagem e Compostagem são determinados na tabela 2.2a a seguir:

**NA TABELA 2.2a: NECESSIDADES DE  
MÃO-DE-OBRA PARA OS MÓDULO DE EPROCESSAMENTO.**

Discriminação	Quantid./por módulo	Quantid. Total	Salário/mês	Valor/Total (mensal)	Valor/Total (anual)
Gerente	01	01	1.200,00	1.200,00	14.400,00
Engenheiro Sanitário	01	01	1.000,00	1.000,00	12.000,00
Ajudante Administrativo	02	02	200,00	400,00	4.800,00
Operador de Equipamentos	09	18	120,00	2.160,00	25.920,00
Separador de Materiais	25	50	120,00	6.000,00	72.000,00
Compostador	03	03	120,00	360,00	4.320,00
Serviços gerais	12	12	120,00	1.440,00	17.280,00
Motorista	02	02	120,00	240,00	2.880,00
Técnicos de Manutenção	03	03	120,00	360,00	4.320,00
Vigia	04	04	240,00	960,00	11.520,00
Total	-	96	-	14.120,00	169.440,00

A mão-de-obra pertencente a uma Usina de Reciclagem/compostagem se caracteriza por sua baixa qualificação profissional. Assim, cerca de 95% da mão-de-obra é não-qualificada ou formada por técnicos de nível médio. Isto fornece a possibilidade de aproveitamento, como mão-de-obra na Usina, dos catadores que vivem dos e nos lixões.

**Encargos Sociais** : segundo estudo realizado pela Fundação Getúlio Vargas (apud Conjuntura Econômica set/1996), os encargos sociais totalizam um percentual de 95,77% sobre o total da remuneração apurada. Este percentual total inclui : grupo I - IAPAS (contribuição da empresa) 20%; FGTS 8%, Sesc/Sesi 1,80%; Senac/Senai 1,30%; Salário-educação 2,50%; Seguro de acidente de trabalho 3,0%; Grupo II - Férias 14,98%; Auxílio Enfermidade 1,87%; Faltas Legais 0,75%; Licença-Paternidade 0,11%; Acidente de Trabalho 0,17%; Aviso-Prévio de trabalho 0,12%; 13º salário 11,24%; Grupo III - Indenização (rescisão sem justa causa) 10,76%; Aviso-prévio indenizado 12,29%; indenização adicional 0,58%.

Sobre o salário-base foi calculado ainda um adicional de insalubridade de 20%, que corresponde ao adicional de salário pago aos trabalhadores em atividades de contato com possíveis doenças infecto-contagiosas.

**Energia Elétrica** : as necessidades de energia elétrica são mostradas na tabela 2.3a abaixo.

**TABELA 2.3a : NECESSIDADE DE ENERGIA DO PROCESSO  
POR CADA EQUIPAMENTO UTILIZADO.**

Discriminação	Unid (KWh)	Valor R\$
Moinho Triturador 60 CV (02)	88,2	-
Prensa Hidr. Vertical 10 CV (02)	14,7	-
Prensa Hidr. Horizontal 10 CV (02)	14,7	-
Peneira Cilíndrica 05 CV (02)	7,35	-
Conj. de Iluminação	184,786	-
Total	309,736	167.400

onde :

$$1CV/h = 0,735 \text{ KW/h}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de Watts por m}^2 = 200 \text{ a } 250 \text{ (ABNT ?)}$$

$$200 \times 924 = 184.786 \div 1.000 = 184,786$$

1 KW vale 1.000 Watts.

Dias/horas de Trabalho :

$$25 \text{ dias/mês} = 25 \times 12 = 300/\text{ano}$$

$$1 \text{ dia de trabalho} = 8 \text{ horas}$$

$$300 \times 8 = 2.400 \text{ horas/ano}$$

Consumo ao ano :

$$300 \times 2.400 = 720.000$$

Soma-se 20% de perda :

$$720.000 \times 0,2 = 144.000$$

$$720.000 + 144.000 = 864.000 \times 0,15 = 129.600$$

onde 0,15 é a tarifa incluindo o ICMS.

**Combustíveis** : a tabela 2.4a apresenta as necessidades de combustíveis.

**TABELA 2.4a: NECESSIDADE DE COMBUSTÍVEIS.**

Especificação	Unidade Km/Hora	Consumo			Qt.	Valor (R\$)
		Comb. L Graxa Kg	Lubrif. L	L		
Camioneta	20.000Km	3.500	50	10	1	1.814,4
Caminhão	10.000Km	6.000	80	20	1	3.099,0
Equipamentos do processo	3.600 Horas	-	200	60	-	1.037,4
Total	-	-	-	-	-	5.950,8

Preços \* : Óleo diesel : R\$ 0,45 litro; Lubrificante (Castrol Tropical Turbo) : R\$3,99 litro; Graxa multipurpose Castrol GTX Kg: R\$3,99.

\* Fonte : PINI/Construção Norte/Nordeste junho de 1997.

**Depreciação e Manutenção** : a depreciação e a manutenção são calculadas na tabela 2.5a abaixo.

**TABELA 2.5a : DEPRECIÇÃO E MANUTENÇÃO DOS ATIVOS.**

Especificação	Valor dos Ativos	Manutenção		Depreciação	
		%	Valor	% *	Valor
Instalações	111.540,92	03	3.346,22	10	11.154,09
Equipamentos	1.912.233,00	03	57.366,99	10	191.223,30
Veículo de trabalho	29.909,00	04	1.196,36	15	4.486,35
Caminhão	64.200,00	05	3.210,00	20	12.840,00
Móveis e utensílios	40.000,00	-	-	10	4.000,00
Total		-	65.119,57		223.703,74

\* Os percentuais de depreciação foram estipulados segundo estabelece a legislação vigente.

## **Uniformização e Equipamentos de Proteção Individual :**

As necessidades anuais e uniformes e EPI após o primeiro ano do investimento são calculadas na tabela 2.6a a seguir.

**Tabela 2.6a - Uniformização e Equipamento de Proteção Individual.**

Item	Quant.	Preço Unit.	Valor Total
Conj. calça/camisa	320 *	31,00	9.920,00
Calçado	160**	16,00	2.560,00
EPI	50	32,50	1.626,00
Total	-	-	14.106,00

Fonte : Conjuntura Econômica set/96.

## ANEXO 3

**Cálculo da área necessária de um aterro para atender uma população de 1.000.000 de habitante**

ANOS	POPULAÇÃO (HAB)	PPC kG/HAB/DIA	QUANTIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS			VOLUME DE R COMPAC/DIA (KG)/m3
			DIA (t)	ANUAL (t)	ACUMULADO (t)	
1	1.000.000	0,5	500	180.000	180.000	1.000
2	1.015.000	0,505	513	184.527	364.527	1.025
3	1.030.225	0,510	525	189.168	553.695	1.051
4	1.045.678	0,515	539	193.925	747.620	1.077
5	1.061.364	0,520	552	198.803	946.423	1.104
6	1.077.284	0,526	566	203.803	1.150.226	1.132
7	1.093.443	0,531	580	208.928	1.359.154	1.161
8	1.109.845	0,536	595	214.183	1.573.337	1.190
9	1.126.493	0,541	610	219.569	1.792.906	1.220
10	1.143.390	0,547	625	225.092	2.017.998	1.251
11	1.160.541	0,552	641	230.753	2.249.751	1.282
12	1.177.949	0,558	657	236.556	2.485.307	1.314
13	1.195.618	0,563	674	242.505	2.727.812	1.347
14	1.213.552	0,569	691	248.604	2.976.416	1.381
15	1.231.756	0,575	708	254.857	3.231.273	1.416
16	1.250.232	0,580	726	261.267	3.492.540	1.451
17	1.268.986	0,586	744	267.837	3.760.377	1.488
18	1.288.020	0,592	763	274.573	4.034.950	1.525
19	1.307.341	0,598	782	281.479	4.316.429	1.564

RS.

RESÍDUOS SÓLIDOS			ÁREA REQUERIDA		
COMPAC/ANO (KG)/m3	ATERRO SANITÁRIO		ATERRO m2	ATERRO ACUM. m2	ATERRO T. m2
	(RS+MC)	ACUM.m3			
360.000	432.000	432.000	108.000	108.000	129.600
369.054	442.865	874.865	110.716	218.716	262.459
378.336	454.003	1.328.868	113.501	332.217	398.660
387.851	465.421	1.794.289	116.355	448.572	538.286
397.605	477.126	2.271.415	119.282	567.854	681.425
407.605	489.126	2.760.541	122.282	690.135	828.162
417.856	501.428	3.261.969	125.357	815.492	978.590
428.365	514.039	3.776.008	128.510	944.002	1.132.802
439.139	526.967	4.302.975	131.742	1.075.743	1.290.892
450.183	540.220	4.843.195	135.055	1.210.798	1.452.958
461.505	553.806	5.397.001	138.452	1.349.250	1.619.100
473.112	567.735	5.964.736	141.934	1.491.184	1.789.421
485.011	582.013	6.546.749	145.503	1.636.687	1.964.024
497.209	596.651	7.143.400	149.163	1.785.850	2.143.020
509.714	611.656	7.755.056	152.914	1.938.764	2.326.517
522.533	627.040	8.382.096	156.760	2.095.524	2.514.629
535.675	642.810	9.024.906	160.702	2.256.226	2.707.471
549.147	658.976	9.683.882	164.744	2.420.970	2.905.164
562.958	675.550	10.359.432	168.887	2.589.857	3.107.828

## **Fórmulas de cálculo :**

$$Q_{rsp} = pop \times ppc$$

onde:

$Q_{rsp}$  = Quantidade de resíduos sólidos produzidos (kg/dia)

Pop = População

PPC = Produção per capita (Kg/hab/dia).

Para uma população de 1.000.000 de habitantes e considerado uma produção per capita de lixo doméstico ter-se-ia:

Ano 1 :  $1.000.000 \times 0,5 = 500.000$  Kg ou 500 toneladas/dia.

Foi considerado uma taxa de crescimento populacional de 1,5% a a, bem como, uma taxa de crescimento da produção per capita de lixo de 1,0% a a .

### **Densidade - Drsm :**

Foi considerado um volume de 500 a 600 kg/m<sup>3</sup>. Observa-se que esta densidade é alcançada mediante compactação homogênea e à medida que se estabiliza o terreno.

### **Volume de Resíduos Sólidos Requeridos :**

Volume Diário -  $V_d$  :  $Q_{rsp}/D_{rsm}$     Volume anual -  $V_a$  :  $V_d \times 360$

onde :

$v_d$  = volume diário de resíduos sólidos a serem dispostos em um dia (m<sup>3</sup>/dia)

$v_a$  = volume anual de resíduos sólidos em um ano (m<sup>3</sup>/ano)

360 = equivalente a um ano de operação no aterro.

### **Volume do Aterro Sanitário Requerido - Vrs :**

$$V_{rs} = v_a \times MC$$

onde :

$V_{rs}$  = Volume de Resíduos no Aterro Sanitário :

$MC$  = Fator de cobertura, referente ao material de cobertura que será usado no aterro

Foi considerado como fator de cobertura 1.2, o que significa que 20% do volume ocupado nas células do aterro são devidos ao material de cobertura.

$V_{rs}$  = Volume de Resíduos no Aterro Sanitário :

### **Área do Aterro Sanitário requerida - Ars (m<sup>2</sup>) :**

$$A_{rs} = V_{rs}/H_{rs}$$

onde :

$A_{rs}$  : área necessária do aterro sanitário (um ano)

$H_{rs}$  : Altura ou profundidade média do aterro sanitário.

Foi considerada uma profundidade de 4m.

### **Área Total Requerida - At (m<sup>2</sup>) :**

$$A_t = A_{rs} \times F$$

onde :

$F$  = fator de aumento de área adicional requerida para as vias de acesso de penetração, pátio de de manobras, instalações. Foi considerado como área adicional o correspondente a 20% da área para destinação dos resíduos sólidos.

**Cálculo da área necessária para um Aterro Sanitário, com Usina de Reciclagem e Compostagem para atender uma população de 1.000.000 de habitantes.**

ANOS	POPULAÇÃO (HAB)	PPC KG/HAB/DIA	QUANTIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS			
			DIA (t)	DIA (t)*	ANUAL (t)	ACUMULADO (t)
1	1.000.000	0,5	500	275	99.000	99.000
2	1.015.000	0,505	513	282	101.574	200.574
3	1.030.225	0,510	525	289	103.950	304.524
4	1.045.678	0,515	539	296	106.722	411.246
5	1.061.364	0,520	552	304	109.296	520.542
6	1.077.284	0,526	566	311	112.068	632.610
7	1.093.443	0,531	580	319	114.840	747.450
8	1.109.845	0,536	595	327	117.810	865.260
9	1.126.493	0,541	610	336	120.780	986.040
10	1.143.390	0,547	625	344	123.750	1.109.790
11	1.160.541	0,552	641	353	126.918	1.236.708
12	1.177.949	0,558	657	361	130.086	1.366.794
13	1.195.618	0,563	674	371	133.452	1.500.246
14	1.213.552	0,569	691	380	136.818	1.637.064
15	1.231.756	0,575	708	389	140.184	1.777.248
16	1.250.232	0,580	726	399	143.748	1.820.996
17	1.268.986	0,586	744	409	147.312	2.068.308
18	1.288.020	0,592	763	420	151.074	2.219.382
19	1.307.341	0,598	782	430	154.836	2.374.218
20	1.326.951	0,604	801	441	158.598	2.532.816
21	1.346.855	0,610	822	452	162.756	2.695.572
22	1.367.058	0,616	842	463	166.716	2.862.288
23	1.387.564	0,622	863	475	170.874	3.033.162
24	1.408.377	0,629	886	487	175.428	3.208.590
25	1.429.503	0,635	908	499	179.784	3.388.374
26	1.450.945	0,641	930	512	184.140	3.572.514
27	1.472.710	0,648	954	525	188.892	3.761.406
28	1.494.800	0,654	977	537	193.446	3.954.852
29	1.517.222	0,661	1003	552	198.594	4.153.446
30	1.539.981	0,667	1027	565	203.346	4.356.792

\* Considerando uma Usina de Reciclagem e Compostagem que reduz em 45% a quantidade de resíduos a serem dispostos em um aterro.

A Introdução de uma Usina de Reciclagem e Compostagem aumenta a vida Útil de um Aterro por dois motivos : o primeiro é a redução do volume a ser disposto anualmente, o segundo por que aumenta o grau de compactação do lixo disposto, diminuindo assim a capacidade volumétrica do lixo em termos área ocupada pelo mesmo.

Assim para o Estudo proposto pode-se pensar nos benefícios de uma Usina seja através do aumento da vida útil do aterro, ou seja através de da diminuição da inversão necessária que se teria que fazer, devido a diminuição da área a ser adquirida para a implantação do aterro.

obs :as fórmulas de cálculo são as mesmas apresentadas no cálculo da área anterior.

VOLUME DE RESÍDUOS SÓLIDOS				ÁREA REQUERIDA		
COMPAC/DIA	COMPAC/ANO	ATERRO SANITÁRIO		ATERRO	ATERRO ACUM.	ATERRO T.
Kg/m3	Kg/m3	(RS+MC)	ACUM.m3	m2	m2	m2
458	165.000	198.000	198.000	49.500	49.500	59.400
470	169.290	203.148	401.148	50.787	100.287	120.344
481	173.250	207.900	609.048	51.975	152.262	182.714
494	177.870	213.444	822.492	53.361	205.623	246.748
506	182.160	218.592	1.041.084	54.648	260.271	312.325
519	186.780	224.136	1.265.220	56.034	316.305	379.566
532	191.400	229.680	1.494.900	57.420	373.725	448.470
545	196.350	235.620	1.730.520	58.905	432.630	519.156
559	201.300	241.560	1.972.080	60.390	493.020	591.624
573	206.250	247.500	2.219.580	61.875	554.895	665.874
588	211.530	253.836	2.473.416	63.459	618.354	742.025
602	216.810	260.172	2.733.588	65.043	683.397	820.076
618	222.420	266.904	3.000.492	66.726	750.123	900.148
633	228.030	273.636	3.274.128	68.409	818.532	982.238
649	233.640	280.368	3.554.496	70.092	888.624	1.066.349
666	239.580	287.496	3.841.992	71.874	960.498	1.152.598
682	245.520	294.624	4.136.616	73.656	1.034.154	1.240.985
699	251.790	302.148	4.438.764	75.537	1.109.691	1.331.629
717	258.060	309.672	4.748.436	77.418	1.187.109	1.424.531
734	264.330	317.196	5.065.632	79.299	1.266.408	1.519.690
754	271.260	325.512	5.391.144	81.378	1.347.786	1.617.343
772	277.860	333.432	5.724.576	83.358	1.431.144	1.717.373
791	284.790	341.748	6.066.324	85.437	1.516.581	1.819.897
812	292.380	350.856	6.417.180	87.714	1.604.295	1.925.154
832	299.640	359.568	6.776.748	89.892	1.694.187	2.033.024
853	306.900	368.280	7.145.028	92.070	1.786.257	2.143.508
875	314.820	377.784	7.522.812	94.446	1.880.703	2.256.844
896	322.410	386.892	7.909.704	96.723	1.977.426	2.372.911
919	330.990	397.188	8.306.892	99.297	2.076.723	2.492.068
941	338.910	406.692	8.713.584	101.673	2.178.396	2.614.075

## **ANEXO 4**

**Infra-estrutura necessária para a alternativa conjunta de Aterro Sanitário e Usina de Reciclagem e Compostagem**

**Sede Administrativa 350m<sup>2</sup>** R\$ 129.675,00

Construção em alvenaria de tijolo, alicerces em concreto, piso em concreto, cobertura com estrutura de madeira e telhas de cerâmica, tipo colonial.

-Custo:

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
350 R\$	370,50 R\$	129.675,00

**Estação de Pesagem** R\$ 8.146,39

. Cabine 12m<sup>2</sup>

. Plataforma 24m<sup>2</sup>

-Custo:

.Cabine

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
12 R\$	370,50 R\$	4.446,00

.Plataforma

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
10,96 R\$	159,36 R\$	1.746,59

-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
547,8 R\$	1,31 R\$	717,62

-Armadura

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
69,92 R\$	17,68 R\$	1.236,19

-Forma

TOTAL GERAL R\$ 8.146,39

**Sistema sanitário** R\$ 1.039,02

Construção em concreto estrutural

-Custo:

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
0,335 R\$	159,36 R\$	53,39

-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
15 R\$	1,31 R\$	19,65

-Armadura

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
6 R\$	17,68 R\$	106,08

-Forma

tubo100	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
2 R\$	40,32 R\$	80,64

-Tubo de concreto vibrado perfurado diam. 1m

SUB-TOTAL R\$ 259,76

4 -Unidades

TOTAL GERAL R\$ 1.039,02

**Rede de Distribuição de Água - 798m**

R\$

14.199,84

Construção da rede hidráulica, tubos de PVC, rígido, classe A

-Custo:

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
114 R\$	31,10 R\$	3.545,40

-Tubo de PVC diam. 150mm

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
228 R\$	18,89 R\$	4.306,92

-Tubo de PVC diam. 100mm

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
456 R\$	13,92 R\$	6.347,52

-Tubo de PVC diam. 85mm

diam. 1m

TOTAL GERAL R\$ 14.199,84

**Rede de Distribuição Complementar**

R\$

51.987,74

Construção da rede hidráulica, tubos de ferro galvanizado, rosqueado, classe 10  
diâmetro de 100 e 150mm

Reservatório elevado (7m), construído em concreto estrutural, capacidade de 50m³

-Rede hidráulica

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
180 R\$	74,71 R\$	13.447,80

-Tubo de ferro galv., diam. 150mm

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
540 R\$	45,81 R\$	24.737,40

-Tubo de ferro galv., diam. 100mm

SUB TOTAL R\$ 38.185,20

-Reservatório elevado

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
13,306 R\$	159,36 R\$	2.120,44

-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
665,28 R\$	1,31 R\$	871,52

-Armadura

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
145,97 R\$	17,68 R\$	2.580,75

-Forma

-Pintura e impermeabilizante

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
145,97 R\$	12,79 R\$	1.866,96

-Forma

SUB TOTAL R\$ 7.439,67

-Viga de amarração e colunas

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
23,024 R\$	159,36 R\$	3.669,10

-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
1151,2 R\$	1,31 R\$	1.508,07

-Armadura

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
28 R\$	17,68 R\$	495,04

-Forma

-Pintura

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
54 R\$	12,79 R\$	690,66

-Forma

SUB TOTAL R\$ 6.362,88

TOTAL GERAL R\$ 51.987,74

**Rede de Drenagem 1000m**

R\$

44.314,32

Construção da rede de águas pluviais e servidas, tubos cerâmico sanitário diâmetro de 200 a 400 mm e de concreto classe C-1 diam 0,50 a 0,60 m  
Tanque subterrâneo, construído em concreto estrutural, capacidade de 100m³

**-Rede de águas pluviais e servidas**

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
110	R\$ 18,00	R\$ 1.980,00	-Tubo de concreto, diam. 0,60m
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
250	R\$ 15,00	R\$ 3.750,00	-Tubo de concreto, diam. 0,50m
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
350	R\$ 53,00	R\$ 18.550,00	-Tubo de cerâmico, diam. 400mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
200	R\$ 28,20	R\$ 5.640,00	-Tubo de cerâmico, diam. 300mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
90	R\$ 9,56	R\$ 860,40	-Tubo de cerâmico, diam. 200mm
SUB TOTAL		R\$ 30.780,40	

**-Reservatório subterrâneo**

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
26,612	R\$ 159,36	R\$ 4.240,89	-Concreto estrutural
Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1330,6	R\$ 1,31	R\$ 1.743,09	-Armadura
m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
300	R\$ 17,68	R\$ 5.304,00	-Forma
SUB TOTAL		R\$ 11.287,97	

**-Escavação**

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
315	R\$ 5,57	R\$ 1.754,55	-Escavação manual
m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
409,5	R\$ 1,20	R\$ 491,40	-Transporte do material
SUB TOTAL		R\$ 2.245,95	
TOTAL GERAL		R\$ 44.314,32	

**Fosso de recepção 120m³**

R\$

12.337,61

Construção em concreto estrutural, de parede 0,20m de espessura  
fundo de 0,20m de espessura

**-Escavação**

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
345,6	R\$ 5,57	R\$ 1.924,99	-Escavação manual
m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
449,28	R\$ 1,20	R\$ 539,14	-Transporte do material
SUB TOTAL		R\$ 2.464,13	

**-Estrutura**

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
33,688	R\$ 159,36	R\$ 5.368,52	-Concreto estrutural
Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1684,4	R\$ 1,31	R\$ 2.206,56	-Armadura
m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
130	R\$ 17,68	R\$ 2.298,40	-Forma
SUB TOTAL		R\$ 9.873,48	
TOTAL GERAL		R\$ 12.337,61	

Construção em estrutura metálica, com base em concreto estrutural de 0,50x0,60m, com piso em concreto estrutural de 0,20 de espessura, bases com chumbadores de 3/4" (204,2mm) de diâmetro, componta rosqueada NC  
Pilares em estrutura metálica treliçada (14 unid.) de 0,40x0,20m de seção x 7m de altura. Cobertura em estrutura metálica, com tesouras trelicidas e contra-ventada, coberta com chapas onduladas galvanizadas de 0,6mm de espessura  
Fechamento nas cabeceiras em chapas onduladas iguais às anteriormente referidas.

**-Escavação**

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
345,6	R\$ 5,57	R\$ 1.924,99	-Escavação manual
m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
449,28	R\$ 1,20	R\$ 539,14	-Transporte do material
SUB TOTAL		R\$ 2.464,13	

**-Estrutura**

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
109,477	R\$ 159,36	R\$ 17.446,25	-Concreto estrutural
Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
5473,85	R\$ 1,31	R\$ 7.170,74	-Armadura
m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
127,76	R\$ 17,68	R\$ 2.258,80	-Forma
SUB TOTAL		R\$ 26.875,80	

**-Pilares em estrutura metálica**

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
2156	R\$ 1,80	R\$ 3.880,80	-Pilares treliçados 0,40x0,20x7m
Un	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
,168	R\$ 5,10	R\$ 856,80	-Chumbadores 3/4"x350mm
SUB TOTAL		R\$ 4.737,60	

**-Fechamento lateral em chapas onduladas**

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
366,1	R\$ 21,56	R\$ 7.893,12	-Chapas de aço 0,6mm espessura

**-Cobertura em estrutura metálica**

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
669,9	R\$ 39,00	R\$ 26.126,10	-Estrutura metálica
m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
740	R\$ 21,56	R\$ 15.954,40	-Chapas de aço 0,6mm espessura
SUB TOTAL		R\$ 42.080,50	

167,5 R\$ 84.051,14

**-2o. Piso em estrutura metálica**

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
335	R\$ 39,00	R\$ 13.065,00	-Estrutura metálica
m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
335	R\$ 91,32	R\$ 30.592,20	-Placas de aço 625x625mm
m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
335	R\$ 22,00	R\$ 7.370,00	- c/ material vinílico 30x30 cm
SUB TOTAL		R\$ 51.027,20	

R\$ 135.078,34

<b>Pavimentação da área de cura 300 m<sup>2</sup></b>	R\$	60.000,00
---	-----	-----------

<b>Pátio de recepção m<sup>2</sup></b>	R\$	8.000,00
--	-----	----------

<b>Guarita 14 m<sup>2</sup></b>	R\$	5.187,00
---------------------------------	-----	----------

Construção em alvenaria de tijolo, alicerces em concreto, piso em concreto, cobertura com estrutura de madeira e telhas de cerâmica, tipo colonial.

-Custo:

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
14 R\$	370,50 R\$	5.187,00 -Prédio

<b>Portão de ferro 10m<sup>2</sup></b>	R\$	372,80
--	-----	--------

Construção em estrutura metálica e chapas de aço galvanizado 0,6 de espessura

-Custo:

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
10 R\$	21,56 R\$	215,60 -Estrutura metálica

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
120 R\$	1,31 R\$	157,20 -Chapas de aço galvanizado 0,6

TOTAL GERAL R\$ 372,80

<b>Muro de Limite 6100m</b>	R\$	552.755,56
-----------------------------	-----	------------

Construção em alvenaria de tijolo, alicerces em concreto e pilares em concreto estrutural

-Custo:

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
1220 R\$	89,10 R\$	108.702,00 -Concreto
203,3 R\$	159,36 R\$	32.397,89 -Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
10165 R\$	1,31 R\$	13.316,15 -Armadura

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
4066,67 R\$	17,68 R\$	71.898,73 -Forma

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
15240 R\$	21,42 R\$	326.440,80 -Alvenaria

TOTAL GERAL MURO R\$ 552.755,56

**Drenagem do Líquido percolado (preço p/Ha)**

R\$ 18.067.935,20

-Custo:

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
525.000,00	R\$ 11,00	R\$ 5.775.000,00	-Saibro (argila natural) (material Impermeável)
m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
525.000,00	R\$ 15,00	R\$ 7.875.000,00	-Brita = ou > 5 (material filtrante)
m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
525.000,00	R\$ 6,00	R\$ 3.150.000,00	-Manta de Poliuretano permeável, resistente a esteira do trator.
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
12.960,00	R\$ 9,37	R\$ 121.435,20	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5 Kg/cm2, 85mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
4.300,00	R\$ 25,00	R\$ 107.500,00	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5kg/cm2, 150mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
9.600,00	R\$ 35,00	R\$ 336.000,00	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5Kg/cm2, 200mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
4.000,00	R\$ 52,00	R\$ 208.000,00	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5 Kg/cm2, 300mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1.500,00	R\$ 80,00	R\$ 120.000,00	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5kg/cm2, 500mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
2.500,00	R\$ 150,00	R\$ 375.000,00	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5 Kg/cm2, 85mm
TOTAL GERAL		R\$ 18.067.935,20	

**Drenagem de Gases**

R\$ 286.387,20

19.400/50 = 388 colunas

388 x 4 m = 1.552m

-Custo:

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1.552,00	R\$ 150,00	R\$ 232.800,00	Coluna de plástico rígido perfurado
m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1.247,42	R\$ 20,00	R\$ 24.948,40	-Brita
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
6.208,00	R\$ 1,44	R\$ 8.939,52	Pontaletes de Massaranduba 75x75mm(3"x3")x4
kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
596,00	R\$ 1,70	R\$ 1.013,20	Arame galvanizado número 12 BWG diâmetro 2,80
m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
6.208,00	R\$ 3,01	R\$ 18.686,08	Tela soldada
TOTAL GERAL		R\$ 286.387,20	

Lagoa de Estabilização 3,5m profundidade, vol. 5.573,75 m³

R\$ 15.000,00

Lagoa de Estabilização II 2,5m profundidade, vol. 10.125 m³

R\$ 30.000,00

TOTAL FINAL :

R\$ 19.432.674,63

## **ANEXO 5**

## Custos Operacionais de um Aterro Sanitário

### Mão-de-Obra :

Os cálculos da necessidade de mão-de-obra são apresentados na tabela 5.1a:

**TABELA 5.1a : NECESSIDADES DE MÃO-DE-OBRA  
PARA O ATERRO SANITÁRIO.**

Discriminação	Quantid. Total	Salário/mês	Valor/Total (mensal)	Valor/Total (anual)
Gerente	01	1.200,00	1.200,00	14.400,00
Engenheiro Sanitário	01	1.000,00	1.000,00	12.000,00
Atendente da Portaria	04	200,00	800,00	9.600,00
Operador de Equipamentos	06	200,00	1.200,00	14.400,00
Balanceiros	04	120,00	480,00	5.760,00
Fiscal	02	350,00	700,00	8.400,00
Serviços gerais	04	120,00	480,00	5.760,00
Motorista	02	150,00	300,00	3.600,00
Vigia	06	240,00	1.440,00	17.280,00
Total	-	-	7.600,00	91.200,00

### Combustíveis :

Os cálculos das necessidades de combustíveis são apresentados na tabela 5.2a abaixo:

**TABELA 5.2a : CUSTOS DE COMBUSTÍVEIS.**

Especificação	Unidade Km/Hora	Consumo			Qt.	Valor (R\$)
		Comb. L Graxa Kg	Lubrif. L	L		
Trator de Est.	10.000Km	3.500	50	10	2	3.628,8
Caminhão Basculante	15.000Km	9.000	80	20	2	8.898,0
Rolo Comp.	3.600 Horas	-	200	60	1	1.037,4
Total	-	-	-	-	-	13.564,2

Preços\* : Óleo diesel : R\$ 0,45 litro; Lubrificante (Castrol Tropical Turbo) : R\$3,99 litro; Graxa multipurpose Castrol GTX Kg: R\$3,99.

\* Fonte : PINI/Construção Norte/Nordeste junho de 1997.

**Depreciação e Manutenção** : os cálculos da depreciação e a manutenção são apresentados tabela 5.3a a seguir :

**TABELA 5.3a : DEPRECIÇÃO E MANUTENÇÃO DOS ATIVOS.**

Especificação	Valor dos Ativos	Manutenção		Depreciação	
		%	Valor	%	Valor
Instalações	18.399.322,75	01	183.993,22	-	-
Equipamentos	240.713,82	03	7.221,39	10	24.071,30
Caminhão	64.200,00	05	3.210,00	20	12.840,00
Móveis e utensílios	30.000,00	-	-	10	3.000,00
Total	-	-	194.424,61		39.911,30

## **ANEXO 6**

**Infra-Estrutura Necessária para Implantação de um Aterro Sanitário**  
**Com capacidade volumétrica de 180.000 ton/ano.**

<b>Sede Administrativa 102m<sup>2</sup></b>	R\$	<b>37.791,00</b>
---	-----	------------------

Construção em alvenaria de tijolo, alicerces em concreto, piso em concreto, cobertura com estrutura de madeira e telhas de cerâmica, tipo colonial.

Custo :

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
102	370,5	37.791,00

<b>Estação de Pesagem</b>	R\$	<b>8.146,39</b>
---------------------------	-----	-----------------

- . Cabine 12m<sup>2</sup>
- . Plataforma 24m<sup>2</sup>

-Custo:

.Cabine

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
12 R\$	370,50 R\$	4.446,00

.Plataforma

m <sup>3</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
10,96 R\$	159,36 R\$	1.746,59

-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
547,8 R\$	1,31 R\$	717,62

-Armadura

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
69,92 R\$	17,68 R\$	1.236,19

-Forma

TOTAL GERAL R\$ 8.146,39

<b>Guarita 14 m<sup>2</sup></b>	R\$	<b>5.187,00</b>
---------------------------------	-----	-----------------

Construção em alvenaria de tijolo, alicerces em concreto, piso em concreto, cobertura com estrutura de madeira e telhas de cerâmica, tipo colonial.

-Custo:

m <sup>2</sup>	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
14 R\$	370,50 R\$	5.187,00

-Prédio

**Portão de ferro 10m²**

R\$

372,80

Construção em estrutura metálica e chapas de aço galvanizado 0,6 de espessura

-Custo:

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
10 R\$	21,56 R\$	215,60 R\$

-Estrutura metálica

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
120 R\$	1,31 R\$	157,20 R\$

-Chapas de aço galvanizado 0,6

TOTAL GERAL R\$ 372,80

**Muro de Limite 6100m**

R\$

552.755,56

Construção em alvenaria de tijolo, alicerces em concreto e pilares em concreto estrutural

-Custo:

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
1220 R\$	89,10 R\$	108.702,00 R\$
203,3 R\$	159,36 R\$	32.397,89 R\$

-Concreto  
-Concreto estrutural

Kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
10165 R\$	1,31 R\$	13.316,15 R\$

-Armadura

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
4066,67 R\$	17,68 R\$	71.898,73 R\$

-Forma

m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL
15240 R\$	21,42 R\$	326.440,80 R\$

-Alvenaria

TOTAL GERAL MURO R\$ 552.755,56

**Drenagem do Líquido percolado (preço p/Ha)** R\$ 18.067.935,20

-Custo:

m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
525.000,00	R\$ 11,00	R\$ 5.775.000,00	-Saibro (argila natural) (material Impermeável)
m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
525.000,00	R\$ 15,00	R\$ 7.875.000,00	-Brita = ou > 5 (material filtrante)
m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
525.000,00	R\$ 6,00	R\$ 3.150.000,00	-Manta de Poliuretano permeável, resistente a esteira do trator.
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
12.960,00	R\$ 9,37	R\$ 121.435,20	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5 Kg/cm2, 85mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
4.300,00	R\$ 25,00	R\$ 107.500,00	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5kg/cm2, 150mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
9.600,00	R\$ 35,00	R\$ 336.000,00	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5Kg/cm2, 200mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
4.000,00	R\$ 52,00	R\$ 208.000,00	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5 Kg/cm2, 300mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1.500,00	R\$ 80,00	R\$ 120.000,00	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5kg/cm2, 500mm
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
2.500,00	R\$ 150,00	R\$ 375.000,00	- Tubo de PVC, Rígido, 7,5 Kg/cm2, 85mm
TOTAL GERAL		R\$ 18.067.935,20	

**Drenagem de Gases** R\$ 286.387,20

19.400/50 = 388 colunas

388 x 4 m = 1.552m

-Custo:

m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1.552,00	R\$ 150,00	R\$ 232.800,00	Coluna de plástico rígido perfurado
m³	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1.247,42	R\$ 20,00	R\$ 24.948,40	-Brita
m	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
6.208,00	R\$ 1,44	R\$ 8.939,52	Pontaletes de Massaranduba 75x75mm(3"x3")x4
kg	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
596,00	R\$ 1,70	R\$ 1.013,20	Arame galvanizado número 12 BWG diâmetro 2,80
m²	Custo UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
6.208,00	R\$ 3,01	R\$ 18.686,08	Tela soldada
TOTAL GERAL		R\$ 286.387,20	

**Lagoa de Estabilização 3,5m profundidade, vol. 5.573,75 m³** R\$ 15.000,00

**Lagoa de Estabilização II 2,5m profundidade, vol. 10.125 m³** R\$ 30.000,00

**TOTAL FINAL :** R\$ 18.965.784,15

# ANEXO 7

1.987.957,71  
2.000.000,00  
3.279.556,50  
4.512.773,30  
4.470.999,90  
43,70

SECRETARIA DE ADMINISTRAÇÃO DO ESTADO

SECRETARIA DE ADMINISTRAÇÃO DO ESTADO

Dados Brutos: MODELO 1

ESTADOS	DÉFICIT	POPULAÇÃO	PIB. PER CAPITA	ÁREA DO ESTADO (m2)	DENSIDADE POP.
AMAZONAS	0,2627	2.320.221	3171,98	1.567.953,70	1,479776476
PARÁ	0,4766	5.448.598	2358,83	1.246.833,10	4,369949755
MARANHÃO	0,7908	5.231.261	1179,51	329.555,80	15,87367299
PIAUI	0,7254	2.724.967	973,96	251.273,30	10,84463411
CEARÁ	0,4943	6.714.246	1565,23	145.693,90	46,08460615
RIO G. DO NORTE	0,3221	2.582.339	2063,77	53.166,60	48,5707004
PARAÍBA	0,4167	3.340.018	1288,72	53.958,20	61,90010045
PERNAMBUCO	0,4006	7.445.216	1914,9	101.023,40	73,69793533
ALAGOAS	0,3729	2.685.421	1652,12	29.106,90	92,26063236
SERGIPE	0,3936	1.605.257	2526,54	21.862,60	73,42479851
BAHIA	0,4959	12.645.982	2057,12	566.978,50	22,30416497
MATO G. DO SUL	0,2737	1.912.788	3900,77	357.471,50	5,350882518
MATO GROSSO	0,3603	2.313.634	2589,52	901.420,70	2,56665284
GOIÁS	0,3426	4.308.415	2975,91	340.165,90	12,66562874
D.F.	0,0476	1.737.813	7582,11	5.794,20	299,9228539
MINAS GERAIS	0,3382	16.505.334	3094,14	586.624,30	28,13612392
ESPÍRITO SANTO	0,3836	2.786.692	3587,25	45.733,00	60,93394267
RIO DE JANEIRO	0,1634	13.296.419	4672,45	43.653,00	304,5934758
SÃO PAULO	0,0633	33.699.614	5825,07	248.255,70	135,7455801
PARANÁ	0,2163	8.712.805	3552,48	199.323,90	43,71179272
SANTA CATARINA	0,2427	4.836.624	3998,11	95.318,30	50,74181978
RIO G. DO SUL	0,2262	9.578.597	4204,42	280.674,00	34,12712613

Dados Brutos: Modelo 2

CAPITAIS	LIXO GERADO	POP	Área do município (Km2)	Dens	PIB per Capita
Manaus	1.937,50	1.089.962	11.458	0,010512293	3.895,14
Belém	1.229,76	1.190.017	1.089	0,000915113	2.486,60
São Luís	1.093,75	624.321	831	0,001331046	1.194,32
Teresina	581,25	533.678	1.804	0,003380315	900,97
Natal	915,94	578.487	169	0,000292141	2.306,88
João Pessoa	594,37	440.279	210	0,00047697	1.151,27
Maceió	714,28	527.220	512	0,000971132	1.518,42
Aracaju	781,25	398.183	181	0,000454565	2.696,68
Salvador	2.083,33	2.000.387	709	0,000354431	2.197,12
Belo Horizonte	2.207,46	2.339.039	331	0,000141511	3.106,48
Vitória	500	277.269	89	0,000320988	3.322,06
Rio de Janeiro	5.840,58	6.011.181	1.264	0,000210275	4.558,92
São Paulo	9.298,95	10.997.473	1.528	0,000138941	5.897,13
Curitiba	1.176,19	1.390.967	430	0,000309137	3.271,00
Florianópolis	253,42	236.359	436	0,001844652	3.673,76
Porto Alegre	2.048,23	1.371.313	502	0,000366073	3.921,89
Campo Grande	316,67	435.448	8.118	0,018642869	2.801,78
Cuiabá	328,12	331.893	3.984	0,012003869	3.136,93
Goiânia	1.567,16	1.038.187	789	0,000759979	2.465,35
Brasília	906,45	1.803.478	5.822	0,003228207	7.370,90
	34.374,66	33.615.141			