

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL –  
UFRGS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,  
METALÚRGICA E MATERIAIS – PPGEM

**MODELO DE ESTIMATIVA DOS CUSTOS EM ATERROS  
SANITÁRIOS PARA APOIO DE ESTUDOS DE PRÉ-  
VIABILIDADE NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS**

**RAUL OLIVEIRA NETO**

**. ORIENTADOR: PROF. Dr. CARLOS OTÁVIO PETTER / PPGEM**

**PORTO ALEGRE, 2008 .**

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL –  
UFRGS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,  
METALÚRGICA E MATERIAIS – PPGEM

**MODELO DE ESTIMATIVA DOS CUSTOS EM ATERROS  
SANITÁRIOS PARA APOIO DE ESTUDOS DE PRÉ-  
VIABILIDADE NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS**

**RAUL OLIVEIRA NETO**

Tese desenvolvida no Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Enga. de Minas, Materiais e Metalurgia (PPGEM), como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia.

**BANCA EXAMINADORA:**

- Dr. Jorge Dariano Gavronski
- Dr. Rubens Müller Kautzmann
- Dr. Sabetai Calderoni

Esta tese foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia, e aprovada em sua forma final pela Coordenadoria do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Materiais e Metalurgia – PPGEM, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

Prof. Dr. Carlos Otávio Petter  
Orientador

BANCA EXAMINADORA:

- Dr. Jorge Dariano Gavronski

---

- Dr. Rubens Müller Kautzmann

---

- Dr. Sabetai Calderoni

---

## AGRADECIMENTOS

*Ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica – CNPq, pelo aporte financeiro através da bolsa de doutorado e taxa de bancada, que proporcionaram o tempo e dedicação necessários à condução dos trabalhos da pesquisa no país.*

*À CAPES pela concessão da bolsa e auxílios financeiros para o estágio de doutorando no exterior, realizado na Universidade Politécnic de Catalunya - UPC em Barcelona, Espanha.*

*Ao Prof. Dr. Catedrático do Depto. de Química da UPC José Luis Cortina, pelo apoio, auxílio e orientação, sem o qual o estágio em Barcelona não atingiria o ótimo aproveitamento nos resultados pretendidos, fundamentais ao sucesso da presente tese.*

*Aos colegas do Laboratório de Processamento Mineral – LAPROM, em especial ao Dr. Eng. Paulo Conceição por seus valiosos esclarecimentos na aplicação do softer Unscrambler.*

*Ao “informático” Maurício Schoenfelder, sem o qual o “softer” com a aplicação dos modelos gerados não passaria de uma idéia.*

*Aos Profs. Drs. Carlos Otávio Petter e Carlos Sampaio, pela valiosa orientação e incentivo recebidos.*

DEDICO O PRESENTE TRABALHO.

*Às minhas queridas filhas, Mariela e Laura, meus melhores projetos já concretizados e fontes das minhas mais fortes motivações de vida e trabalho.*

*Em especial, à minha companheira e esposa, Cristiane, por seu apoio, compreensão e paciência.*

*Ao meus pais e irmãos pela consideração e interesse sempre demonstrados.*

*Ao Dr. Rogério Lessa Horta por facilitar o entendimento da realidade ao meu redor, permitindo um caminho mais consciente e persistente.*

*À Deus e aos meus guias e protetores.*

## **SUMÁRIO**

Capítulo 1 – Introdução .....	15
1.1 – Justificativas e relevancia do tema .....	15
1.2 – Objetivos.....	17
1.2.1 – Objetivo geral .....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 Condições de contorno do trabalho .....	18
1.4 Etapas e metodologias empregadas no desenvolvimento do trabalho.....	20
1.5 Estruturação do trabalho .....	22
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica .....	24
2.1 Introdução .....	24
2.2 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU).....	24
2.2.1 Principais normativas e legislação.....	24
2.2.1.1 No Brasil.....	24
2.2.1.2 No Exterior .....	25
2.2.2 Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos (GIRSU) .....	26
2.2.2.1 Geração .....	28
2.2.2.1.1 Taxas de Geração .....	30
2.2.2.1.2 Caracterização .....	31
2.2.2.2 Coleta e transporte.....	31
2.2.2.3 Triagem e reciclagem .....	33
2.2.2.4 Compostagem e biodigestão.....	35
2.2.2.5 Incineração .....	37
2.2.2.6 Aterro Sanitário .....	39
2.2.3 – Exemplos de concepções modernas de GIRSU.....	44
2.2.3.1 ECOPARQUES - O exemplo de Barcelona/Espanha .....	44
2.2.3.2 Reciclagem em Aterros Sanitarios .....	45
2.2.3.3 Consórcios de municípios e os aterros sanitários.....	46
2.2.4 – Custos gerais com gestão de resíduos sólidos urbanos - GRSU	47
2.2.4.5 O caso de Barcelona .....	52
2.2.4.5.1 Vertedero de Garraf na região metropolitana de Barcelona ...	52
2.2.4.5.1.1 Sistema de Disposição dos resíduos .....	53
2.2.4.5.1.2 Planta de Tratamento do Lixiviado .....	55
2.2.4.5.1.3 Instalação de Recuperação e Geração de Energia - Biogás..	55
2.2.4.5.2 Ecoparque 2 de Barcelona .....	56
2.3 Modelos computacionais para GIRSU .....	56
2.4 Metodologia de desenvolvimento de um modelo de estimação de custos .....	61
2.4.1 Etapas .....	62
2.4.2 Modelo de O’Hara e o <i>Software</i> MAFMO.....	69
2.4.3 Comparação entre Aterros Sanitários e Mineração .....	71
2.5 Análise multivariada de dados.....	74
2.6 Conclusão .....	75
Capítulo 3 - Levantamento de Dados .....	77
3.1 Introdução.....	77
3.2 Metodologia de obtenção .....	77
3.2.1 Primeira etapa – pesquisa realizada no Brasil .....	78

3.2.2 Segunda etapa – pesquisa realizada no exterior, Barcelona/Espanha	80
3.3 Bancos de dados obtidos	81
3.4 Análise crítica	85
3.4.1 Bancos de dados do Brasil	85
3.4.2 Bancos de dados do exterior	86
3.4.3 Dados relacionados às características técnicas	88
3.4.4 Bancos de dados de custos com transporte do resíduo ao aterro sanitário	90
3.4.5 Bancos de dados de custos com fechamento ou encerramento dos aterros sanitários	90
3.5 Conclusão	90
Capítulo 4 Proposta de Modelos para Estimção de Custos relativos à Gestão de Aterros Sanitários	92
4.1 Introdução	92
4.2 Modelo Univariável para Estimção de Custos de Investimentos e Operação em Aterros Sanitários	93
4.2.1 Custos de Investimentos (fase de construção ou implantação do aterro sanitário)	93
4.2.2 Custos de Operação (fase de operação do aterro sanitário)	97
4.2.3 Análise crítica do modelo univariável	99
4.3 Modelo Multivariável para Estimção de Custos de Investimentos e Operação em Aterros Sanitários	102
4.3.1 Análise crítica do modelo multivariável	107
4.4 Modelo para Estimção de Custos com Transporte aos Aterros Sanitários	109
4.5 Modelo para Estimção de Custos com Fechamento dos Aterros Sanitários	112
4.6 Conclusão e Síntese do Modelo Final Gerado	113
Capítulo 5 Adaptação Informática dos Modelos e Testes de Validação	117
5.1 Introdução	117
5.2 Adaptação Informática - <i>Software</i>	117
5.2.1 Exemplo de simulação para custos detalhados de implantação (modelo univariável)	119
5.2.2 Exemplo de simulação para custos detalhados de operação (modelo univariável)	119
5.2.3 Exemplo de simulação para custos totais (modelo multivariável)	120
5.2.4 Exemplo de simulação para custos de transporte do resíduo ao aterro sanitário	121
5.2.5 Exemplo de simulação para custos de fechamento de aterro sanitário	122
5.3 Testes de validação do modelo aplicando o <i>Software</i>	122
5.4 Conclusão	126
Capítulo 6 Conclusões e Comentários Finais	127
6.1 Conclusões	127
6.2 Comentários finais	131
REFERÊNCIAS	133

## INDICE DE FIGURAS

Nº	TÍTULO	página
01-	Complexidade do sistema envolvido por uma GRSU e fronteira ou condição de contorno no contexto do AS (McDougall, Rovers, Farquhar, 1995).....	19
02-	Fronteira ou condição de contorno do estudo no contexto geral do fluxograma de uma GRSU .....	20
03-	Pirâmide ilustrativa da hierarquia de prioridades na gestão de resíduos urbanos .....	26
04-	Distribuição dos Resíduos segundo Tratamento em Barcelona/Espanha (AMB, 2004)...	27
05-	Ilustração da distribuição percentual do número de unidades de processamento, por tipo(Miranda, 2006).....	28
06-	Evolução da geração de resíduos na região metropolitana de Barcelona/Espanha (AMB, 2004).....	30
07-	Incidências de materiais recuperados, por tipo de material, segundo porte dos municípios.....	34
08-	Típica instalação de triagem existente em aterro sanitário (Estre-São Paulo/BR).....	35
09-	Foto ilustrando pátio de deposição de material orgânico em processo de compostagem (Barcelona/ES).....	36
10-	Instalações do biodigestor no Ecoparque 2 (Barcelona/ES) .....	37
11-	Incineradora de RSU na região metropolitana de Barcelona instalada às margens do Mar Mediterrâneo.....	38
12-	Vista geral o aterro sanitário de Paulínia/SP (Estre), observando-se a localização e características de acordo com a normatização.....	39
13-	Perfil esquemático da composição de todas as camadas presentes em um aterro sanitário.....	40
14-	Representação geral do modelo de gerenciamento integrado de RSU(Mc Dougall et al, 2001).....	41
15-	Esquema das etapas que envolvem a disposição do RSU em aterros sanitários e geração de efluentes gasosos e líquidos.....	43
16-	Vista do geradores de energia elétrica a partir do bombeamento do gás gerado no AS de Garraf” (Barcelona/ES);.....	43
17-	Vista da instalação de “nano filtração” existente no “vertedero de Garraf” (Barcelona/ES), caracterizando o tratamento do lixiviado a nível terciário.....	44
18-	Vista geral exterior das instalações do ECOPARQUE 2 (Barcelona/Es).....	45
19-	Gráfico comparativo dos custos dos tratamentos de RSU (Sabata, 2006).....	50
20-	Vista geral do <i>vertedero</i> de Garraf à 10 km do centro de Barcelona.....	53
21-	Vista do vertedero de Garraf com detalhe da capa betuminosa selante (acima e a esquerda da foto) .....	54
22-	Tela de acesso com opções iniciais ao IWM2.....	58
23-	Tela principal do IWM2 para um determinado cenário (SCENARIO1).....	58
24-	Tela das entradas e resultados possíveis para o caso do aterro sanitário ( <i>landfilling</i> ), IWM2.....	59
25-	Tela dos resultados possíveis, e no caso para o aterro sanitário com resíduos não perigosos IWM2.....	59
26-	Tela demonstrativa de resultado referente ao ciclo de vida de um produto de plástico – SimaPro 7.....	60
27-	Exemplo do modelo “sistema-entorno” adotado pelo SIMUR.....	61
28-	Diagrama das Fases e Estágios dos Estudos e Projetos .....	64

29- Esquema demonstrativo de um ajuste custo x capacidade.....	66
30- “espelho ou tela” principal do MAFMO – AIRES com as opções.....	70
31- Tela do MAFMO – AIRES para estimação de custos.....	71
32- Modelo do Ofício de Solicitação de Dados.....	78
33- Modelo do Questionário de Obtenção dos Dados Pesquisados.....	79
34- Gráfico comparando as curvas de correlação e ajuste exponencial dos custos de Taiwan, Espanha, Brasil para os custos totais por tonelada de resíduos disposta .....	88
35- Gráfico de correlação ou ajuste $C_{est}$ (custo com estudos e projetos iniciais - US\$) x $Cap$ (capacidade do aterro sanitário- t/dia) .....	94
36- Gráfico de correlação ou ajuste $C_{inf}$ (custo com infra-estrutura- US\$) x $Cap$ (capacidade do aterro sanitário- t/dia).....	95
37- Gráfico de correlação ou ajuste $C_{pr}$ (custo com preparação - US\$) x $Cap$ (capacidade do aterro sanitário- t/dia).....	96
38- Gráfico de correlação ou ajuste $C_{pr}$ x $Cap$ modificado .....	96
39- Gráfico de correlação ou ajuste $C_{amb}$ (custo com meio ambiente - US\$) x $Cap$ (capacidade do aterro sanitário- t/dia) .....	96
40- Gráfico de correlação ou ajuste $C_{amb}$ x $Cap$ modificado .....	97
41- Gráfico de correlação ou ajuste $C_{op}$ (custo operacional - US\$) x $Cap$ (capacidade do aterro sanitário- t/dia).....	98
42- Gráfico de correlação ou ajuste $C_{mo}$ (custo mão de obra - US\$) x $Cap$ (capacidade do aterro sanitário- t/dia).....	96
43- Curva resultante do custo total de investimento (CI – US\$) x capacidade do aterro ( $Cap - t/dia$ ) .....	100
44- Curva resultante do custo total de operação (CO – US\$) x capacidade do aterro ( $Cap - t/dia$ ) .....	100
45- Gráfico “valor do modelo x valor da amostra” para o custo total de investimento (CI).....	101
46- Gráfico “valor do modelo x valor da amostra” para o custo total de operação (CO).....	101
47- Gráfico dos <i>loadings</i> com todas as variáveis existentes no sistema e simplificando os tratamento do lixiviado em TLx.....	105
48- Gráfico dos <i>scores</i> com todas as amostras em função da escala de valores da variável TLx.....	106
49- Gráfico de regressão de CI e CO e $Cap$ , para os modelos multivariáveis.....	107
50- Resultado da validação da estimação de CI (US\$) x $Cap$ (t/dia).....	107
51- Resultado da validação da estimação de CO (US\$) x $Cap$ (t/dia).....	108
52- Esquema em bloco diagrama da composição final do Modelo.....	115
53- Tela resultante da simulação para os custos detalhados de implantação (modelo univariável).....	119
54- Tela resultante da simulação para os custos detalhados de operação (modelo univariável).....	120
55- Tela resultante da simulação para os custos totais com tratamento do lixiviado a nível terciário (modelo multivariável).....	120
56- Tela resultante da simulação para os custos totais com tratamento do lixiviado a nível secundário (modelo multivariável).....	121
57- Tela resultante da simulação para os custos de transporte .....	121
58- Tela resultante da simulação para os custos de fechamento.....	122
59- Gráfico de dispersão comparativo entre os valores da pesquisa SNIS (amostra “real”) e os do modelo.....	125

## INDICE DE TABELAS

Nº	TÍTULO	página
01-	Taxas médias de geração de resíduos por habitante/dia, de acordo com o porte do município (CETESB);.....	31
02-	Incentivos econômicos para a reciclagem em instalações de aterros sanitários (Glaub, 1996).....	46
03-	Custos relativos das alternativas de coleta (Abbie, 1996).....	48
04-	Distribuição de custos na gestão de resíduos municipais para o caso da região de Catalunya-Espanha (Sábata 2006).....	49
05-	Custos típicos com gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em algumas cidades e países no exterior (Koushki, 2004).....	49
06-	Custos médios totais (implantação e operação) com aterros sanitários em países europeus.....	51
07-	Comparação de custos de processos de tratamento (Riera & Garcia, 1997).....	51
08-	Custos com tratamento de resíduos urbanos na Área Metropolitana de Barcelona (Sabata, 2006).....	52
09-	Tipos de estimações de custos de projetos e suas características (Nagle, 1998).....	62
10-	Graus de precisão de estimativas de custos (Nunes, 1987).....	65
11-	Comparação entre as atividades, em suas componentes principais.....	73
12-	Relação dos Aterros Sanitários Pesquisados em Operação no estado do RS/Brasil.....	79
13-	Relação de contatos realizados no Brasil.....	80
14-	Relação de contatos realizados no Exterior..	81
15-	Bancos de dados obtidos.....	83
16-	Comparação dos valores de CT para as bases em dois níveis de capacidade diária de aterros sanitários.....	88
17-	Síntese dos resultados obtidos das correlações “ <i>Custos x Cap</i> ” – modelo univariável..	99
18-	Erro médio para CI e CO (modelo univariável).....	102
19-	Base de dados “mista” montada a partir dos bancos de dados Brasil 3 e Taiwan, sem sub-amostra para validação e sem <i>outliers</i> .....	104
20-	Resumo dos resultados para os <i>PLS- Unscrambler</i> .....	106
21-	Erro médio para CI e CO (modelo multivariável).....	108
22-	Dados de custos com “fechamento” de aterros sanitários de RSU.....	113
23-	Síntese dos componentes do Modelo completo e condições de aplicabilidade.....	116
24-	Teste de validação do modelo comparando com valores divulgados em estudos, seminários, licitações.....	123
25-	Teste de validação do modelo em comparação com dados divulgados pela pesquisa do SNIS.....	124

**ANEXOS**

Nº	TÍTULO
1-	Banco de dados completo resultante do levantamento para custo nos aterro sanitários
2-	Levantamento de dados de custo com transporte

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

### Abreviaturas

Cest-	Custo de estudos iniciais
Cinf-	Custo da infra-estrutura
Cpr-	Custo da preparação
Camb-	Custo com segurança e meio ambiente
CI -	Custo total de implantação (investimento)
Cop-	Custo de operação anual
Cmo-	Custo da mão-de-obra anual
CO -	Custo total operacional anual
CT -	Custo total
Cap-	Capacidade diária de disposição do aterro
Are-	Área útil do aterro sanitário
TP-	Tratamento do lixiviado a nível primário
TS-	Tratamento do lixiviado a nível secundário
TT-	Tratamento do lixiviado a nível terciário
BG-	Recuperação do Biogás e geração energia
GM-	Gestão municipal do aterro
GP-	Gestão privada do aterro
plan-	Topografia do local em planície
enc-	Topografia do local em encosta
cav-	Cava remanescente de mineração
ramp-	Disposição método da rampa
trin-	Disposição método de trincheiras(células)
arg-	Litologia predominante Argila
sai-	Litologia predominante Saibro
aren-	Litologia predominante Sedimentar(arenito)
ign-	Litologia predominante Ignea(granito/basalto)
GRSU	Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos
GIRSU	Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos
PCA	<i>Principal Components Analysis</i> (Análise de Correlação de Componentes Principais)
PC1	<i>Principal Components 1</i> (Principal componente correlacionada ao eixo das abcissas)
PLS	<i>Principal Lower Squares Analysis</i> (Análise de Correlação dos Mínimos Quadrados)
AS	Aterro Sanitário

### Siglas

UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UPC	Universidade Politécnica de Catalunha
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
CETESB	Fundação Centro de Tecnologia do Estado de São Paulo
DMLU	Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre
NBR	Norma Técnica Brasileira
CEE	Comunidade Comum Européia
IWM	<i>Integrated Waste Management</i> (Gerenciamento Integrado de Resíduos)
SNIS	Sistema Nacional de Informações de Saneamento

## **Resumo**

O gerenciamento de resíduos municipais é um tema que vem se tornando cada vez mais importante no contexto das preocupações mundiais dos governos, e teve um considerável desenvolvimento na última década. Tanto os países desenvolvidos como os “em desenvolvimento” emitiram normativas legais restritivas, visando otimizar seus planos de tratamento e destinação final destes resíduos. Embora hajam esforços para diminuir a quantidade destinada aos chamados “aterros sanitários”, incrementando-se a reciclagem e a valorização, há unanimidade em se afirmar que ainda por muito tempo se dependerá deste sistema de disposição final, principalmente para o caso do bloco dos países “em desenvolvimento”, no qual se enquadra o Brasil. Porém, muito pouco é divulgado em termos dos custos de implantação e operação sobre aterros, existindo uma lacuna a se preencher, que subsidie estudos técnico-econômicos de apoio a decisão dos gestores do setor. O objetivo principal desta tese é investigar a real situação deste cenário, gerando modelos a serem utilizados como ferramentas de trabalho neste sentido, aplicadas aos estudos de engenharia econômica denominados de “*quick evaluations*”. Foram realizadas análises de regressão ou correlação “custo x capacidade do aterro”, em caráter univariável, a partir de estudo investigativo de banco de dados obtidos no Brasil e comparados com outros países, tais como Taiwan e Espanha. Comprovou-se ser possível a agregação de dados destes outros países aumentando a confiança dos resultados. São apresentados os modelos resultantes com testes de validação atingindo-se um nível de erro aceitável para estudos a este nível de detalhamento. Ao final também se demonstra a possibilidade de um modelo multivariável, agregando-se outras variáveis além da capacidade do aterro sanitário, e que influem na composição dos custos, tais como, o tipo de tratamento do lixiviado. Todos estes aspectos tornam o estudo uma importante contribuição ao setor, aliado ao fato da apresentação de bancos de dados e de informações que contribuem à base de consulta científica e de referência aos estudiosos do setor.

## **Abstract**

Management of urban municipal waste has become an increasing problem for governments in developing countries, in the last decade. Not only the developing countries but also the developed ones have introduced restrictive environmental legislations with the objective of optimization of waste treatment and waste disposal programs. Even though efforts have been made to reduce the quantity of waste sent to the waste landfills, there is unanimity in asserting that still for a very long time land filling will be the first choice. Nevertheless, little is known in terms of cost of implementation and operation in landfills, there is a gap to be filled, there is a need for subsidy for technical and economical studies as support for the decisions of the waste managers. The main objective of the present paper is to investigate the real situation of this scenario by generating models to be used as working tools, applied to the studies of economic engineering, referred as “quick evaluations”. Univariate analysis of regression or correlation “cost x landfill capacity”, were accomplished, based on an investigative study of the data-banks obtained in Brazil and compared to the results of other countries, where it could be confirmed the possibility of data aggregation. Resulting models are presented with validation tests confirming an acceptable error level for studies at this level of detail. At the end it is also demonstrated the possibility of a multivariate model, aggregating other variables besides the capacity of the waste landfill, that influence the cost composition, such as, the type of treatment of the lixivate. All these aspects, allied to the presentation of the data-banks and of the information, turn the study into an important contribution to the base of scientific research and into a reference for the researchers of the area.

## **Capítulo 1 – Introdução**

### **1.1 – Justificativas e relevância do tema**

A questão dos resíduos sólidos e seu gerenciamento esta cada vez mais se revestindo de fundamental importância no contexto do desenvolvimento sustentável de um país. Principalmente em um país como o Brasil, onde se coleta cerca de 230 mil t de resíduos sólidos diariamente, sendo que destes, cerca de 55% são resíduos domiciliares, segundo Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB – realizada em 2000 (IBGE, 2000). A geração “per capita” teve um acréscimo de 120% só para a região sudeste de 1998 a 2000, onde o índice era de 0,89 kg/hab/dia e passou para 1,96 kg/hab/dia. Dados mais atualizados, entre 2000 e 2004, já indicam que no Brasil se geram 162.000 t/dia de resíduos domiciliares, resultando em um índice de geração “per capita” de 0,9 kg/hab/dia (Calderoni, 2005).

A situação se torna ainda mais complexa quando se conclui que apenas 2% desta geração de resíduos foram destinados à reciclagem, segundo o mesmo PNSB de 2000, e, evidentemente o restante foi destinado aos depósitos do tipo lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Nos Estados Unidos, por exemplo, com uma taxa de geração de 2,5 kg/hab/dia, 18% são reciclados, e em torno de 60% são destinados aos aterros (Alemu, 2001).

Ainda quanto à situação no Brasil, dos 5.507 municípios brasileiros, 63,6% usavam os “lixões” como forma de destino final, de acordo com o Atlas de Saneamento do IBGE divulgado no Rio de Janeiro, sendo uma forma inadequada de armazenar os dejetos ou resíduos, pois contaminam os rios e o solo. O aterro sanitário, o modo mais indicado de depositar os resíduos, era utilizado por apenas 13,8% dos municípios brasileiros, segundo a mesma publicação.

Portanto, este contexto da destinação dos resíduos aos depósitos se torna uma questão primordial. Há um longo caminho a se percorrer na questão de implantação e operação de aterros sanitários para fazer frente a esta realidade problemática do setor de resíduos sólidos no Brasil. O assunto requer o desenvolvimento de estudos aprofundados que levem à otimização das metodologias de gerenciamento dos aterros, já que, mesmo com o crescente aumento dos índices de reciclagem, e conseqüente diminuição das taxas de

destino aos aterros, “sempre se dependerá destes, pois a meta de 100% de reciclagem é fisicamente impossível” (Thorpe, 2003).

O que também se observa é que há uma carência muito grande de dados econômicos mais precisos, que auxiliem nos estudos desta questão, principalmente no que tange ao direcionamento de verbas e equacionamento das alternativas disponíveis. Muito pouco é divulgado sobre os custos reais de implantação e operação em aterros sanitários para as condições brasileiras, e a literatura técnica é omissa sobre o tema (Reichert, 1998).

Existem limitações ou condicionantes que entram a otimização do gerenciamento dos aterros e levam à busca de soluções, seja quanto ao aperfeiçoamento das metodologias empregadas nos próprios aterros, seja na fuga ou no desvio destes para outras tecnologias de destinação final. As principais são as seguintes (Calderoni, 2003):

1. *Aumento dos custos operacionais por tonelada*, devido às exigências técnicas cada vez mais severas por parte dos órgãos de controle;
2. *Aumento do volume de lixo ou resíduos*, que vem apresentando crescimento significativo, como por exemplo, no município de São Paulo que, no período de um ano, entre 1995 e 1996, teve um acréscimo no volume total descarregado nos aterros em 10%, ou ainda, o acréscimo de 120% em apenas dois anos na região sudeste, conforme demonstrou a pesquisa do IBGE realizada em 2000;
3. *São cada vez mais escassas as áreas disponíveis para a implantação*, já que, as condicionantes ou parâmetros da legislação são cada vez mais restritivos e os custos com transporte são limitadores;

A complexidade do tema fica demonstrada em estudos como os realizados entre os anos de 2000 e 2004 onde a taxa de crescimento da geração de resíduos domésticos no Brasil foi de 8,22% ao ano, ou seja, muito superior às taxas de crescimento da população e da economia, de 1,3% e 2,8% ao ano, respectivamente (Calderoni, 2005).

Portanto, urge a necessidade do desenvolvimento de modelos para estudos econômicos que sejam utilizados como ferramentas gerenciais aos agentes envolvidos no setor, de forma a agilizar as tomadas de decisão.

No exterior, há que se destacar o exemplo da União Européia, que passa por uma transformação significativa em termos de GRSU (Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos), motivada pela conhecida “Diretiva Européia 75/442/CEE”. Esta legislação forçou os países membros a redirecionarem seus esforços na busca de alternativas para a destinação dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos), já que determinou que a partir de junho

de 2005 a destinação aos aterros sanitários direta deveria terminar, ou seja, o resíduo deveria passar por todos os tipos de tratamentos prévios, restando uma fração mínima não aproveitável que então teria este fim.

Nos últimos anos, muitas municipalidades ou prefeituras, particularmente nos países industrializados, foram forçadas a realizar estudos e relatórios sobre seus programas e planos de gerenciamento de resíduos sólidos, tendo em vista a grande quantidade de questões relacionadas aos custos, à saúde e ao meio ambiente (Koushki et al., 2004).

A revisão bibliográfica da questão dos custos municipais com o gerenciamento de resíduos demonstra uma multiplicidade de fatores que a afetam e tornam este tema muito complexo. As características locais, a quantidade de resíduo sólido gerada, sua composição, o tipo de tecnologia empregada, a coleta e o transporte, as distâncias aos centros de tratamento e deposição, são exemplos dos fatores que têm uma significativa influência no custo do gerenciamento dos resíduos sólidos.

Sem dúvida, a economia não vem prestando uma atenção especial a este tema e a análise econômica dos resíduos abrange um campo muito amplo (Riera & García, 1997).

Destaca-se o caráter prático da presente tese onde o trabalho proposto tem grande aplicação imediata principalmente no âmbito dos gestores municipais responsáveis pelo destino final dos resíduos sólidos urbanos, embasando valores condicionantes de licitações públicas.

## **1.2 – Objetivos**

### **1.2.1 – Objetivo geral**

O objetivo principal do trabalho é de gerar um modelo para estimativa de custos que seja empregado em estudos iniciais de viabilidade econômica, para a destinação de resíduos sólidos urbanos, onde o enfoque principal sejam os aterros sanitários. A intenção maior é a de que o modelo apresentado possa ser utilizado como uma ferramenta de planejamento para novos projetos, planos diretores e implantação de instrumentos econômicos de gestão, auxiliando desta forma tanto o poder público como a iniciativa privada na tomada de decisão.

Como a destinação final dos resíduos para aterros sanitários é um elemento ou componente da gestão integrada dos resíduos sólidos municipais, tem-se também como

objetivo apresentar um diagnóstico sobre a situação atual das gestões praticadas no Brasil, traçando um paralelo com exemplos de outros países.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar as fases e os componentes para uma estruturação de custos para aterros sanitários;
- b) Pesquisar e compor banco de dados de custos na gestão de aterro sanitários, tanto do Brasil como do Exterior;
- c) Pesquisar e analisar os fatores ou parâmetros que influenciam nos valores dos custos com aterros sanitários, em nível de estudo de pré-viabilidade;
- d) Usar técnicas para análise de dados e estimação para gerar modelos;

## 1.3 Condições de contorno do trabalho

O tema da GRSU é complexo porque abrange diversas etapas e tecnologias distintas, que por sua vez requerem estudos bem específicos. A Figura 1 ilustra todas as etapas e fluxos possíveis dentro da GRSU, onde se assinala a posição dos AS, ou seja, equivale a ponta final do destino do material após passar por todos os processos.

Portanto, o estudo é centrado na avaliação e estimação dos custos com os AS como prioridade, e os custos associados relativos ao transporte do resíduo já coletado até o AS, conforme ilustrado na Figura 2.

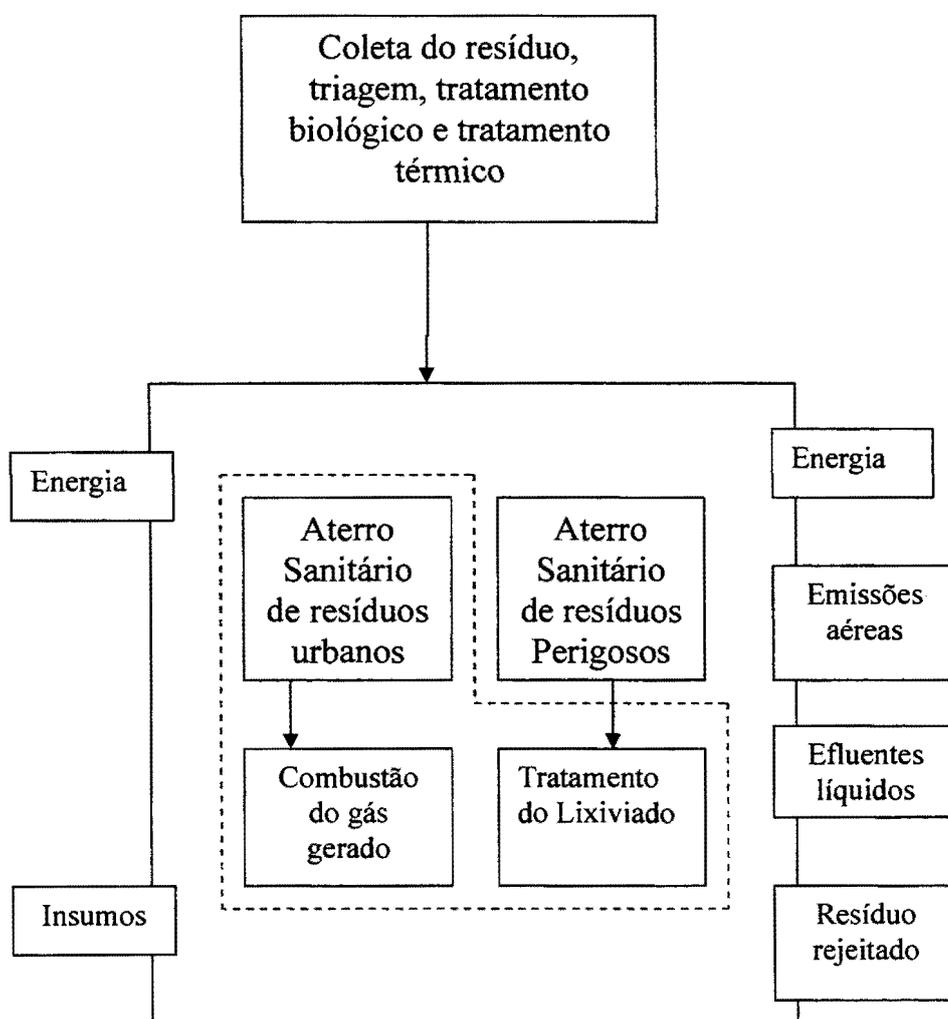


Figura 01 – Complexidade do sistema envolvido por uma GRSU e fronteira ou condição de contorno no contexto do AS (McDougall, Rovers, Farquhar, 1995);

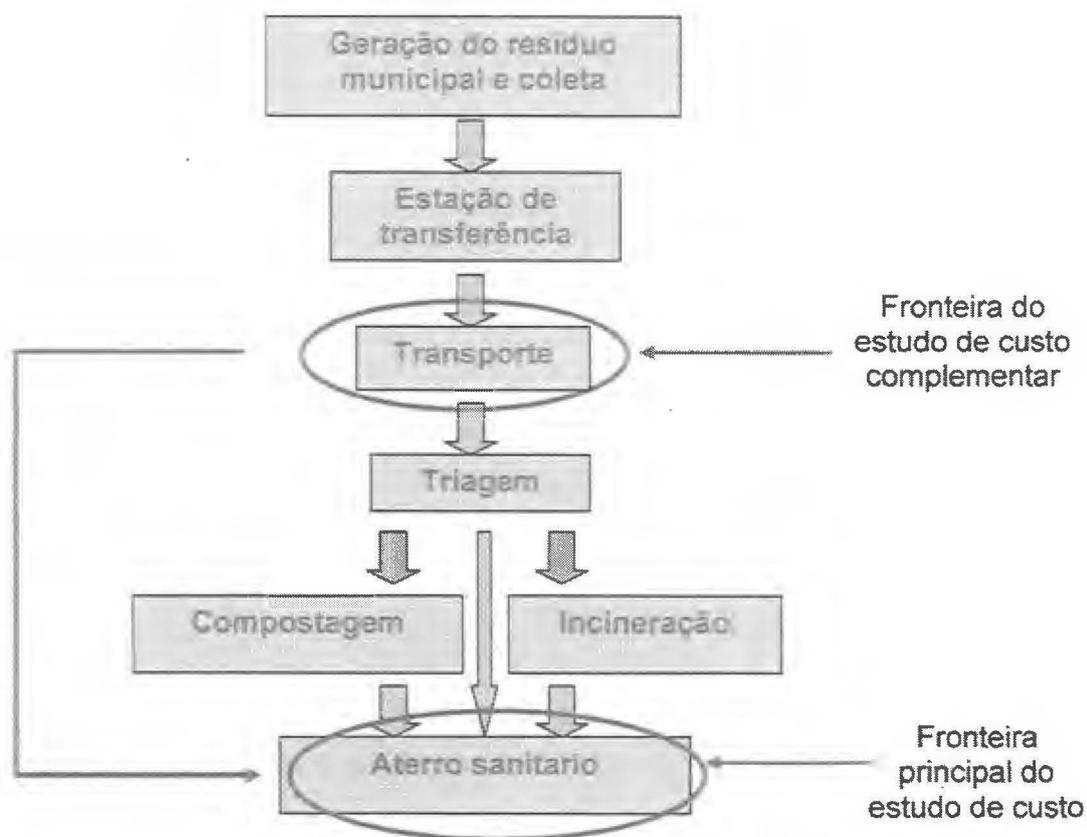


Figura 02 – Fronteira ou condição de contorno do estudo no contexto geral do fluxograma simplificado de uma GRSU;

#### 1.4 Etapas e metodologias empregadas no desenvolvimento do trabalho

O trabalho foi conduzido adotando-se as seguintes etapas:

1. Coleta de dados;
2. Tratamento dos dados;
3. Diagnóstico e organização;
4. Geração dos modelos;
5. Validação da consistência do modelo;
6. Adaptação informática do modelo;

A *coleta dos dados* foi feita em municípios previamente selecionados, seguindo-se os critérios da existência do aterro sanitário implantado e em operação (licenciado pelo órgão ambiental) e do porte do aterro em função da capacidade diária de recebimento dos resíduos (t/h), a partir de uma definição de pequeno, médio e grande porte. Em um primeiro momento através de visitas aos aterros sanitários e envio de questionário para os gestores destes, ou seja, municípios, empresas privadas, empresas consultoras e órgãos públicos de controle. Um segundo momento envolveu pesquisa bibliográfica e consultas aos fornecedores de equipamentos, instituições de pesquisa e associações de empresas atuantes no setor, tanto no Brasil quanto no exterior.

O *tratamento dos dados* dos custos consistiu na organização dos mesmos em tabelas comparativas, utilização de uma mesma base monetária (dólar americano) e atualização dos valores.

O *diagnóstico* foi feito através de uma *análise crítica dos dados* coletados, sobre a ótica da consistência e coerência dos mesmos, detectando-se a necessidade de alguma correção nas etapas anteriores, sendo após procedida a organização em planilhas de cálculo.

Quanto à *geração dos modelos*, duas modalidades foram concebidas, ou seja, uma em nível de uma variável independente, e outra em nível multivariável, ou seja, mais de uma variável. Para a análise univariável, este estudo tomou por base modelo criado para o setor de mineração, o Modelo de O'Hara, onde são feitas análises das correlações das variáveis de "custo" com o parâmetro de produção "toneladas por hora". Este modelo vem sendo utilizado há muito tempo, no mundo inteiro, na análise de custos e investimentos em estudos de pré-viabilidade para projetos de exploração mineral. Para isto empregaram-se programas de tratamento estatístico de dados, para determinação da melhor equação matemática de correlação gerando gráficos ilustrativos das curvas de correlação. No caso multivariável, adotou-se também a teoria da análise estatística de regressão, porém com o auxílio do programa computacional denominado *UNSCRAMBLER*, o qual se baseia na teoria da *Análise de Componentes Principais – PCA* e na *Análise da Correlação dos Mínimos Quadrados – PLS*.

Para *validação da consistência do modelo*, ou seja, testar se o modelo satisfaz a premissa do nível de erro aceitável estabelecido para o estudo, foram comparados os

resultados com dados reais dos bancos de dados pesquisados e com dados recentes que estão sendo divulgados nos informes do setor.

A partir das análises apresentadas e dos resultados obtidos foi então *desenvolvida uma adaptação do modelo em um programa computacional*, para tornar mais fácil e direta a aplicação final pelos futuros usuários.

## 1.5 Estruturação do trabalho

Para cumprir os objetivos deste trabalho, procurou-se agrupar as informações em seis partes que formam os capítulos principais precedidos pelo presente capítulo 1 – Introdução, e são as seguintes:

- capítulo 2 – Revisão bibliográfica : gestão de resíduos sólidos, modelos existentes para GRSU, dados de custos gerais, metodologias e técnicas de desenvolvimento de um modelo de estimação de custos,
- capítulo 3 – Levantamento de dados,
- capítulo 4 – Proposta de modelo,
- capítulo 5 – Adaptação informática ou *software* do modelo gerado,
- capítulo 6 – Conclusão.

No capítulo 2 é apresentada uma descrição geral do que envolve uma GRSU, etapas e definições, porém detalhando mais o tema dos AS. São apresentados os modelos existentes e utilizados em todo o mundo visando gerenciar dados de GRSU e fazer previsões de fluxos de massa e emissões poluentes, enfocando a inexistência de modelos para estimação de custos especificamente. Dados gerais médios de custos com GRSU por tipos de tratamento também forma uma parte importante deste capítulo juntamente com a apresentação das técnicas e tipos de estimação de custo para projetos associando-as com as fases do empreendimento para embasamento do capítulo 4.

No capítulo 3 são apresentados os levantamentos para obtenção dos bancos de dados, desde a metodologia adotada até os resultados, com uma análise crítica.

O capítulo 4 é em si a essência do trabalho inovador gerado, atendendo ao objetivo principal de “conceber um Modelo de Estimação de Custos para emprego em estudos tipo *quick evaluations* para aterros sanitários dentro de uma GRSU”.

O capítulo 5 apresenta o *software* desenvolvido para aplicação dos modelos gerados visando proporcionar uma utilização final mais fácil aos usuários. Parte importante integrante deste capítulo são os testes para validação dos modelos gerados.

O capítulo 6 descreve todas as conclusões obtidas no desenvolvimento do trabalho, onde estão sugestões importantes quanto ao gerenciamento de custos dos AS e à GRSU como um todo. Procurou-se inserir toda a experiência vivenciada incluindo a obtida em Barcelona, Espanha, onde foi realizado o estágio de complementação.

## **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Introdução**

No presente capítulo apresenta-se primeiramente uma visão geral do que abrange uma Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU), resumindo as principais normas e leis e apresentando uma breve descrição das etapas que envolvem uma gestão integrada (GIRSU) enfatizando a posição dos aterros sanitários neste contexto. Alguns bons exemplos são apresentados enfocando o caso de Barcelona na Espanha. Também são mostrados dados gerais de custos na gestão de resíduos, visando situar esta realidade.

Na seqüência, alguns exemplos de modelos computacionais existentes e já largamente usados na GRSU são mostrados e analisados dentro de seus objetivos, passando-se logo para a demonstração da metodologia de desenvolvimento de um modelo de estimação de custos, descrevendo suas etapas.

Especial atenção é dada a descrição do Modelo de O'Hara e o *Software* deste modelo denominado MAFMO, desenvolvidos para o setor da Mineração e por terem sido fundamentais na idéia de geração de um mesmo tipo de modelo para o caso dos aterros sanitários. Dentro deste contexto também é apresentado uma breve comparação entre os dois setores, ou seja, mineração e aterros sanitários, enfocando similaridades e diferenças.

Para finalizar, um breve resumo sobre a técnica de Análise Multivariada de Dados é apresentada, visando dar uma noção, tendo em vista que ao final do modelo gerado é empregada esta ferramenta para inserção de mais variáveis.

### **2.2 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU)**

#### **2.2.1 Principais normativas e legislação**

##### **2.2.1.1 No Brasil**

No Brasil a responsabilidade pela gestão dos resíduos urbanos é do município onde se geram os mesmos, ou seja, as prefeituras devem providenciar e controlar os serviços de coleta, tratamento e destinação final.

As principais normas que regulam os resíduos sólidos urbanos no país são as seguintes.

a) Quanto ao aterros sanitários:

- NBR 8419/1984: Estabelece os procedimentos de apresentação de projetos para os aterros sanitários de resíduos sólidos urbano;
- NBR 13896 /1997: Estabelece os critérios de projeto , implantação e operação para aterros sanitários de resíduos não perigosos;

b) Quanto ao armazenamento de resíduos:

- NBR 1235/1992: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos;
- NBR 11174/1990: Armazenamento de resíduos sólidos classe II - não inertes e III - inertes;

c) Quanto ao transporte de resíduos:

- NBRs 7500/7501/7502/7503/7504: Transporte de produtos e cargas perigosas, classificação, símbolos, sinalização;

d) Quanto à classificação dos resíduos sólidos:

- NBR 10004/1987: Classificação geral dos resíduos sólidos;
- NBR 10005/1987: Lixiviação de resíduos - procedimentos;
- NBR 10006/1987: Solubilização de resíduos – procedimentos;

#### 2.2.1.2 No Exterior

No exterior também prevalece a responsabilidade da gestão dos RSU pelos municípios e a legislação é muito semelhante à brasileira. A grande diferença esta no tempo em que a mesma já vem sendo implantada e no nível de aperfeiçoamento dos serviços. Por exemplo, as principais leis na Europa e nos Estados Unidos foram implantadas a partir do ano de 1975, ou seja, cerca de 10 anos antes do Brasil.

As leis pioneiras nestes continentes e que traçaram as linhas gerais e planos de gerenciamento de resíduos sólidos foram as seguintes:

- DIRECTIVA 75/442/CEE (1975) para a Europa ;
- RCRA – Resource Conservation and Recovery Act (1976) para os Estados Unidos ;

A análise das normativas e procedimentos adotados no exterior, principalmente no continente europeu e americano, mostra que são os mesmos adotados no Brasil, do que se conclui que as normativas brasileiras devem ter sido baseadas na experiência dos principais países do bloco desenvolvido destes continentes.

### 2.2.2 Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos (GIRSU)

O gerenciamento integrado do resíduo urbano é um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve (com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos), para coletar, segregar, tratar e dispor o “lixo” de uma cidade. Não se trata de definir se a recuperação de recicláveis, compostagem, incineração ou aterro sanitário é a melhor técnica de gerenciamento a utilizar, ao contrário, é necessário determinar em que proporção é mais apropriado conjugar estas técnicas e como é melhor articula-las (D’Almeida & Vilhena 2000).

Todos os produtos que são fabricados, comercializados e consumidos acabam convertendo-se, ao menos em parte, em resíduos. Como o consumo não para e esta sempre crescendo, a geração de resíduos se torna cada vez mais importante e sua eliminação um problema maior que compromete o desenvolvimento sustentável da nossa sociedade. Durante séculos os resíduos foram depositados nos lixões sem uma consciência do problema porque a composição dos resíduos não era tão agressiva ao meio ambiente e sua quantidade era relativamente pequena. Hoje em dia as quantidades são cada vez maiores com características mais contaminantes (Fábregas, 1999).

Uma visão muito importante na gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos é a da ordem ou hierarquia de prioridades conforme é demonstrado na figura 03.

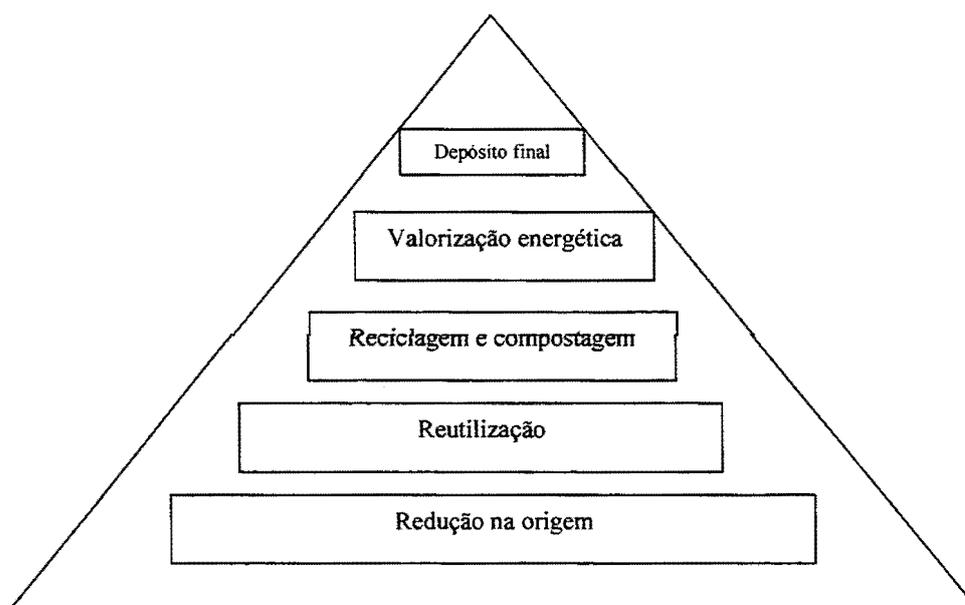


Figura 03 - Pirâmide ilustrativa da hierarquia de prioridades na gestão de resíduos urbanos;

A problemática da eliminação dos resíduos é complexa e não existe uma única solução, tendo-se que analisar cada caso para a escolha da melhor opção dentro dos sistemas de gestão e tecnologias disponíveis. Para isto é importante ter em mente as etapas que compõe um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

A distribuição dos resíduos municipais segundo o tipo de tratamento finalista é mostrado na figura 04, para o caso de Barcelona/Espanha (AMB, 2004).

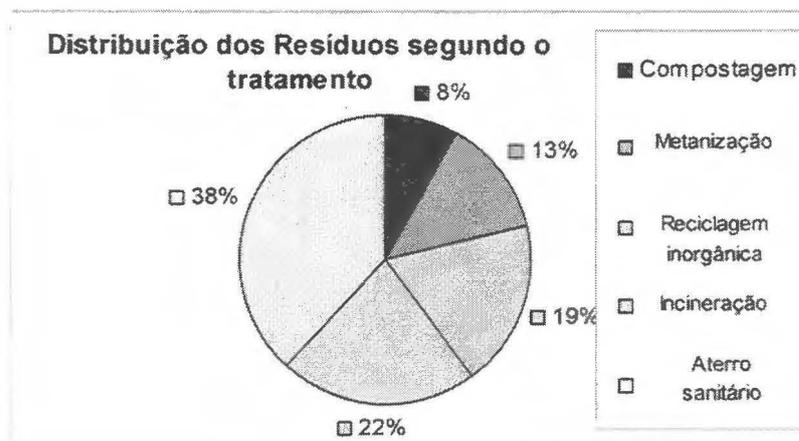


Figura 04 - Distribuição dos Resíduos segundo Tratamento em Barcelona/Espanha (AMB, 2004);

No mapa da figura 05 (Miranda, 2006), estão ilustradas a distribuição percentual do número de unidades de processamento, por tipo, onde se pode ter uma visão geral da quantidade de aterros sanitários presentes nas diferentes regiões do Brasil. A barra correspondente ao AS é a de cor vermelha, predominando na região sul e sudeste.

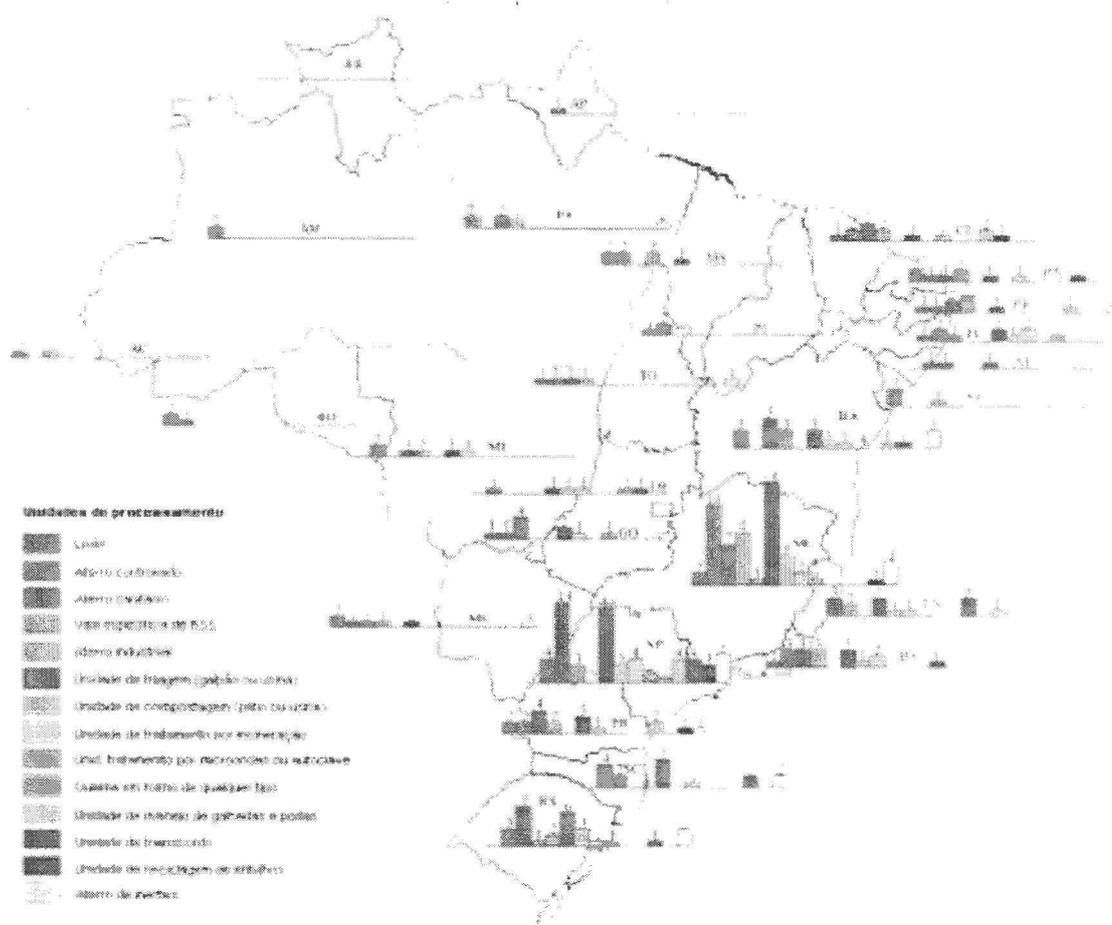


Figura 05 – Ilustração da distribuição percentual do número de unidades de processamento, por tipo (Miranda, 2006);

### 2.2.2.1 Geração

Esta é sem dúvida a primeira e talvez a mais importante de todas as etapas da gestão de resíduos sólidos urbanos. Envolve uma simples palavra: “conscientização”. É irrefutável que o primeiro passo na política de gestão dos resíduos deve ser a “prevenção ou redução na origem” (Fábregas, 1999). Para isto é preciso contar com a participação de produtores e consumidores, esquecendo de uma vez por todas a filosofia de “usar e jogar fora”. Uma vez que é impossível não gerar resíduos, então que se gere menos e de uma forma racional e organizada, sempre pensando nas economias e facilidades que se proporcionará para as etapas e processos posteriores.

Esta etapa se processa nas moradias, na rotina doméstica de colocar o lixo em recipientes e levá-los para fora. Aqui entra então o programa de conscientização da população de como isto deve ser feito e das vantagens que toda a sociedade irá usufruir se assim for feito. Não requer tecnologias ou processos sofisticados de engenharia,

sendo que o agente principal é o poder público, ou seja, os administradores municipais. É responsabilidade dos municípios a gestão dos resíduos sólidos urbanos gerados nos limites de seu território autárquico e seus responsáveis têm o dever de cumprir a legislação. As campanhas de orientação e os incentivos à implantação das mesmas são medidas que todas as prefeituras deveriam tomar para o sucesso desta etapa, e os investimentos financeiros realizados certamente proporcionarão retorno sócio-político-econômico, a curto, médio e longo prazo.

As campanhas devem ser basear na conhecida filosofia “3R”:

- Reduzir ao máximo a geração do lixo doméstico;
- Reutilizar ao máximo os produtos de consumo doméstico;
- Reciclar ao máximo o resíduo gerado (embalagens, etc...);

Todas as etapas posteriores da gestão integrada serão facilitadas e as vantagens serão as seguintes:

- Racionalização dos trabalhos de coleta, transporte e triagem, aumentando a produtividade e baixando os custos operacionais;
- Valorização do trabalho dos “catadores” e incentivando a organização em cooperativas;
- Diminuição das taxas de lixo cobradas pelas prefeituras aos cidadãos;
- Aumento do rendimento das operações de reciclagem, compostagem e biodigestão com benefícios econômicos privados e estatais;
- Otimização da vida útil e redução dos custos na gestão dos aterros sanitários

Na recente *“I Conferência Nacional de Prevenção de Resíduos” realizada em Madrid – abril de 2006 (Ministério del Medio Ambiente)*, entre as conclusões principais, os membros foram unânimes na constatação de que houve um “fracasso geral nas políticas de prevenção”, havendo a necessidade de implementar novos mecanismos como os Instrumentos Econômicos. O que se pode concluir deste diagnóstico é que, “se a política de prevenção não teve sucesso em um país como a Espanha, pertencente à comunidade europeia e sob rígidas normas legais, onde o percentual de resíduos reciclados, recuperados e biotratados esta atingindo o patamar de 40% (Perry & Cohler, 2005), o que se pode esperar sobre um diagnóstico para um país como o Brasil, onde a participação na reciclagem esta na tímida escala dos 2% (IBGE 2000)”.

### 2.2.2.1.1 Taxas de Geração

A produção de resíduos nos Estados Unidos é uma das mais elevadas do mundo, com cerca de 2 kg/hab/dia. Já a Europa fica com uma média de 1,5 kg/hab/dia, onde registra-se uma média de crescimento de 4-5% ao ano. A geração de resíduos cresceu de 2,96% ao ano, no período de 2001 à 2004 na área metropolitana de Barcelona, Espanha. A produção de resíduos por habitante ao dia passou de 1,44 kg para 1,48 kg (EMB, 2005). Se compararmos com o crescimento populacional neste mesmo período para esta região que foi de 0,43% , se conclui, que a taxa da geração de resíduos cresce em uma velocidade muito maior que a população.



Figura 06.- Evolução da geração de resíduos na região metropolitana de Barcelona/Espanha (AMB, 2004);

Porto Alegre, teve um crescimento populacional de 1,35% ao ano, no período de 1996 a 2000, e segundo o último censo tem uma população de 1.360.590 habitantes (Censo IBGE/2000). Sua geração per capita de resíduos sólidos domiciliares esta em torno de 0,6 kg/hab/dia, mas segue crescendo. A cidade de São Paulo por sua vez, uma das maiores metrópoles do mundo, tem uma taxa de geração diária de 1,0 kg/hab/dia.

Na tabela 01 estão apresentadas as taxas médias de geração de resíduos por habitante/dia, de acordo com o porte do município.

Tabela 01 - Taxas médias de geração de resíduos por habitante/dia, de acordo com o porte do município;

POPULAÇÃO MUNICIPAL	TAXA DE GERAÇÃO DE RESÍDUO	QTDE. DIÁRIA
Até 100.000 habitantes	0,4 kg/habitante	10 t/dia
De 100.000 até 200.000 habitantes	0,5 kg/habitante	100 t/dia
De 200.000 até 500.000 habitantes	0,6 kg/habitante	-
De 500.000 até 1.000.000 habitantes	0,7 kg/habitante	500 t/dia
Acima de 1.000.000 habitantes	1,0 kg/habitante	1000 t/dia

Fonte: CETESB

#### 2.2.2.1.2 Caracterização

Em termos gerais mundiais, segundo levantamentos realizados no ano de 2005, a distribuição percentual em peso dos resíduos sólidos urbanos – RSU, era a seguinte (Leroy, 2005):

- 25 a 30% de resíduos orgânicos;
- 40 a 50% de papel, papelão, vasilhames e plásticos;
- 10 a 15% de vidro;
- 3 a 5% de metais;
- 10 a 15% para o restante sem classificação;

Ainda segundo o mesmo levantamento, a proporção de resíduos orgânicos tende a diminuir, e a de papel, vasilhames e plásticos tende a aumentar.

#### 2.2.2.2 Coleta e transporte

A coleta é a primeira etapa propriamente dita da gestão de resíduos sólidos urbanos, de responsabilidade das prefeituras municipais, e se resume na retirada dos resíduos gerados na origem, domicílios ou comércio, e seu encaminhamento aos diferentes destinos. Os principais tipos de coleta são os seguintes:

- “Porta a porta”, ou seja, os resíduos acondicionados são coletados diretamente nos locais onde são gerados;
- Em pontos ou locais específicos, ou os denominados “pontos verdes” organizados para recebimento e acondicionamento do lixo em *containers*, que deve ser levado pelos geradores, ou seja, a população;

Dentro destes dois tipos, a coleta pode ser “seletiva ou não-seletiva”, que significa que os resíduos serão coletados já separados em seus diferentes tipos de acordo com a composição, ou não, ou seja, coletados misturados sem separação.

O transporte por sua vez, é a atividade da gestão de RSU correspondente à condução do lixo até os seus diferentes destinos, os tratamentos (triagem, compostagem, biodigestão) e destinação final (incineração e aterros sanitários). O transporte pode ser feito de duas formas gerais básicas:

- Com “estação de transferência”: os resíduos coletados são acondicionados nos caminhões coletores de características urbanas e conduzidos a uma central de recebimento onde são carregados em caminhões de maior capacidade, de característica rodoviária;
- Sem “estação de transferência”: os resíduos coletados são encaminhados diretamente aos seus diferentes destinos pelos mesmos caminhões de coleta urbana;

A condicionante básica da decisão de se optar pela primeira ou segunda alternativa acima, esta na questão da distância e do custo de transporte. Assim quando os destinos se encontram dentro dos limites urbanos do município, onde as distâncias podem ficar entre o intervalo de 10 a 30 km, dependendo do porte, não se utiliza a “estação de transferência”. Porém, quando os destinos se encontram fora destes limites, há a necessidade de se optar por esta central, já que os caminhões possuem capacidades bem maiores que os urbanos, em torno de 30 t, sendo que os coletores podem ter sua capacidade variando de 1 t a 15 t. Importante salientar que além da questão custo de transporte, tem-se a questão do acréscimo de veículos no trânsito da cidade. Para se ter uma clara idéia da influência negativa neste aspecto cita-se o exemplo das grandes cidades como São Paulo, onde chegam a circular 2000 caminhões/dia para transportar os cerca de 20.000 t/dia de resíduos domésticos gerados nesta metrópole (Neto, S.N., König, T. et al, 2005). Na cidade de São Paulo são necessárias três estações de transferência ou de transbordo.

Sobre a coleta de resíduos sólidos de origem urbana domiciliar e pública é interessante destacar as principais conclusões da última pesquisa brasileira oficial divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE, dentro do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento/SNIS do Ministério das Cidades, de acordo com diagnóstico de dados de ano de 2004 (Miranda et al, 2006). São as seguintes:

- a taxa média de cobertura pelos serviços de coleta pública ficou em 94,4%;
- a frequência de coleta de 2 a 3 vezes por dia é a que predomina, com uma taxa de cobertura da população atendida de 74.4%;

- quanto a execução da coleta a distribuição foi a seguinte:
  - 74,4% realizada por empresa privada;
  - 30,0% realizada por empresa em conjunto com a prefeitura;
  - 29,3% realizada em trabalho exclusivo da prefeitura;
- A coleta seletiva é praticada em 61,3% dos municípios amostrados, sendo que a participação é mais expressiva nos de porte maior;
- A modalidade de coleta seletiva que predomina é a de “porta a porta”, com quase 60% das iniciativas, porém, nas grandes capitais a modalidade de “entrega voluntário em pontos de recebimento” ultrapassa a de “porta a porta”;

### 2.2.2.3 Triagem e reciclagem

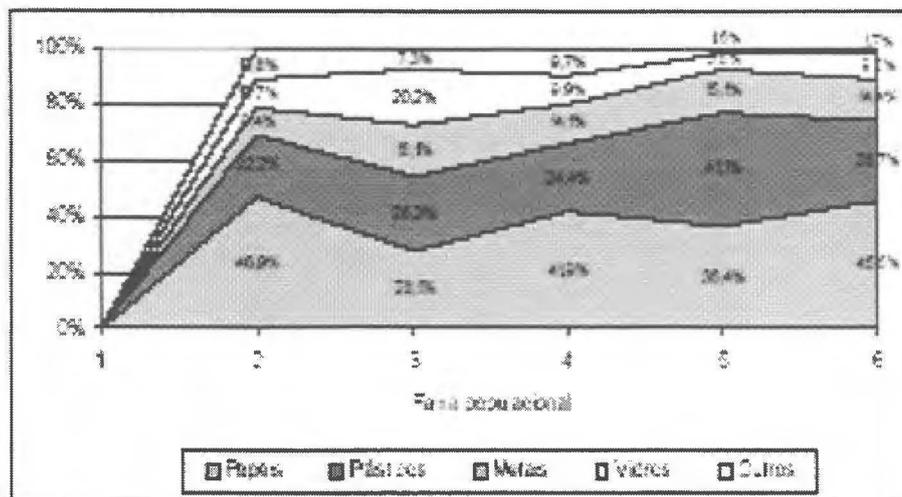
A triagem e a reciclagem são operações da GIRSU que podem ser consideradas no mesmo nível. A triagem tem o objetivo de “triar” ou separar os diferentes tipos de resíduos que compõe a “bolsa” proveniente da coleta não-seletiva, visando a reciclagem destes produtos. A reciclagem por sua vez é o reaproveitamento do material triado nas diferentes aplicações possíveis, através de processos industriais e artesanais, gerando ou produzindo novos produtos que retornam ao “ciclo de vida”. Os principais materiais então separados da “bolsa ou saco de lixo” são o papel, papelão, plástico, vidros em geral e material metálico.

O principal objetivo da triagem, portanto, é separar todo o material possível de ser aproveitado, restando ao final a denominada “fração orgânica”. E aqui cabe salientar que, “quanto maior a eficiência destes sistemas, maior serão as eficiências dos outros sistemas ou tratamentos de valorização ou finais constituintes de uma GIRSU”. Isto porque a fração orgânica, responsável por cerca de 50% do peso do “lixo” em média nos países em desenvolvimento, é também a principal fonte de poluentes de natureza orgânica que vão gerar o famoso e indesejável “chorume” ou lixiviado dos aterros sanitários, e o restante ou a fração inorgânica é a principal causa da geração dos poluentes atmosféricos resultantes do processo ou tratamento térmico denominado de incineração. Outra grande vantagem da redução da fração orgânica é a redução do volume ou espaço a ser ocupado nos aterros sanitários, além da redução da emissão dos gases de efeito estufa, no caso o metano.

Há que se destacar que é nesta etapa que acontece o principal benefício social da gestão de resíduos, ou seja, é nas estações de triagem onde estão sendo implantadas as

chamadas “cooperativas de catadores”. Estas cooperativas são responsáveis pela operação das centrais, ocupando milhares de “catadores do lixo urbano” em todo o país. Só para citar o exemplo de São Paulo, nesta capital existem 15 centrais de triagem que somadas dão emprego e ocupação à aproximadamente 765 catadores. Todo o lucro auferido da venda do material triado ou separado para destinação ao mercado da reciclagem, é repassado aos seus associados revertendo em uma fonte de renda e um fator de inclusão social de importantíssimo valor, ganhando toda a sociedade envolvida.

O último diagnóstico realizado pelo IBGE (Miranda et al, 2006), concluiu que as atividades de triagem resultam, nos 47 municípios que tiveram informações para fornecer, num aproveitamento de 80,3 mil toneladas de recicláveis, cujas distribuições por tipo de material e segundo o porte do município estão apresentadas no gráfico da figura 07. Na figura, o porte dos municípios cresce de 1 a 6 sendo que o importante é visualizar que o papel (azul) tem a maior participação na reciclagem, seguido em ordem decrescente pelo plástico (roxo), metal (amarelo), vidros (branco) e outros tipos (cinza).



Fonte: IBGE

Figura 07.- Incidências de materiais recuperados, por tipo de material, segundo porte dos municípios;

Verifica-se, a inexistência de comportamento característico com relação aos percentuais de recicláveis por tipo de material, podendo-se ressaltar, no entanto a predominância de papéis e plásticos.

A reciclagem por sua vez tem papel importantíssimo na economia de um país. Sabedai Calderoni na introdução ao seu livro “Os bilhões perdidos no lixo” resume bem esta situação: “Os ganhos proporcionados pela reciclagem do lixo decorrem do fato de

*que é mais econômica a produção a partir da reciclagem do que a partir de matérias-primas virgens. Isso se dá porque a produção a partir da reciclagem utiliza menos energia, matéria-prima, recursos hídricos, reduzindo os custos de controle ambiental e também os de disposição de lixo”.*

São conhecidos alguns índices aproximados de reciclagem de países desenvolvidos que merecem citação para reflexão quando comparados com o caso do Brasil:

- Brasil: 2%
- Espanha: 20%
- Alemanha: 71%
- Países nórdicos: 15 a 20%

A foto da figura 08 mostra uma típica instalação de triagem existente em aterro sanitário, onde a operação é realizada por catadores da cooperativa local.



Figura 08 - Típica instalação de triagem existente em aterro sanitário (Estre-São Paulo/BR);

#### 2.2.2.4 Compostagem e biodigestão

Dá-se o nome de compostagem ao processo biológico de decomposição de matéria orgânica contidas em restos de origem animal ou vegetal. Este processo tem como resultado final um produto que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente (Lima, 2000).

O processo de compostagem apresenta as seguintes vantagens:

- Economia de espaço ou volume de disposição nos aterros sanitários;
- Aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
- Reciclagem de nutrientes para o solo;
- Processo ambientalmente seguro;
- Eliminação de patógenos;

A figura 09 apresenta foto ilustrando pátio de deposição de material orgânico em processo de compostagem após passar pela separação e concentração da fração orgânica do RSU de Barcelona, na instalação de um Ecoparque.



Figura 09 - Foto ilustrando pátio de deposição de material orgânico em processo de compostagem (Barcelona/ES);

Diferentemente da condição aeróbia da compostagem, a biodigestão é um processo anaeróbio e é também denominada “bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos”, ou ainda de “metanização”. Ocorre em “reatores” e, em razão da elevada produção de metano que pode ser alcançada, a digestão anaeróbica configura-se como alternativa bastante vantajosa para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos. Contudo, os processos anaeróbios empregados no tratamento dos resíduos sólidos ainda não constituem prática muito bem difundida, principalmente nos países do bloco em desenvolvimento, entre eles o Brasil. A falta de configuração de sistemas de tratamento e o alto custo são os principais motivos (Leite et al, 2003).

Porém, nos países desenvolvidos, principalmente no continente europeu, destacando-se a Espanha como uma das pioneiras neste sistema, está cada vez mais sendo empregado a biodigestão em reatores. Este fato se deve a utilização do calor

gerado pela combustão do metano, já que o gás produzido tem uma proporção de 50% deste composto gasoso (Leroy, 2005).

A figura 10 mostra as instalações do biodigestor no Ecoparque 2 de Barcelona, que transforma o gás metano gerado em energia elétrica.

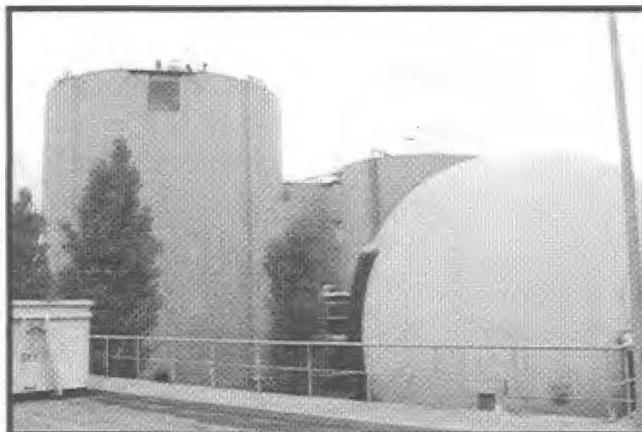


Figura 10 - Instalações do biodigestor no Ecoparque 2 (Barcelona/ES);

#### 2.2.2.5 Incineração

A incineração é um processo de tratamento térmico dos RSU que tem como objetivo transformar a fração orgânica em produtos estáveis e a recuperação do calor gerado durante a combustão para geração de energia elétrica principalmente. Os tratamentos térmicos permitem a eliminação da totalidade dos resíduos, com exceção dos resíduos de natureza sólida que não foram possíveis de separar previamente na triagem e que vão compor as cinzas e escórias, perfazendo em torno de 30% do peso, e que serão conduzidos aos aterros sanitários (Leroy, 2003).

O processo de incineração no Brasil é altamente polêmico, existindo uma grande discussão sobre os efeitos maléficos ao meio-ambiente, principalmente quanto à geração das denominadas “Dioxinas e Furanos”, substâncias classificadas como “Poluentes orgânicos persistentes – POPs” e de risco altíssimo à saúde do homem e que são liberadas nos gases resultantes da queima de plásticos e outros materiais. Não há no Brasil incineradores licenciados para RSU, somente para resíduos industriais e da saúde. Já na Europa, Estados Unidos, Japão principalmente, este sistema está amplamente implantado e em operação, onde se tem comprovado que as emissões gasosas estão abaixo do limite permitido pela legislação. Outra questão relacionada à incineração são os altos custos de investimento e operação, que comparados aos aterros sanitários podem chegar a três vezes mais.

A participação da incineração em alguns países (Calderoni, 2005):

- Suíça: 80%
- Alemanha: 60%
- Suécia: 50%
- França: 35%
- Reino Unido: 4%

No mundo há cerca de 650 plantas de incineração com geração de energia, concentrando-se nos seguintes países principalmente (Leme, 2006):

- Europa: 301
- Japão: 189
- Estados Unidos: 98

Na Europa a maioria das incineradoras está concentrada na Alemanha, onde as instalações possuem até analisadores “*on line*” de Dioxinas e Furanos e os valores são divulgados via internet.

Há que se salientar que na Europa os limites máximos permitidos de emissão destes compostos são mais baixos que no Brasil, por exemplo,  $0,1 \text{ ng/m}^3$  para o continente europeu e  $0,5 \text{ ng/m}^3$  no Brasil.

A figura 11 mostra vista da Incineradora de Besós, na região metropolitana de Barcelona na Espanha, que tem a particularidade de estar ao lado do mar Mediterrâneo, o que de certa maneira comprova a segurança que os Europeus consideram quando se trata os resíduos urbanos neste tipo de instalação. Esta incineradora têm ao seu lado um Ecoparque instalado, o de número 4 de Barcelona.



Figura 11 – Incineradora de RSU na região metropolitana de Barcelona instalada às margens do Mar Mediterrâneo;

### 2.2.2.6 Aterro Sanitário

*Aterro sanitário* por definição prevista na legislação, “é um processo de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, e que permite a confinação segura em termos de controle ambiental e proteção à saúde pública” (D’Almeida & Vilhena, 2000).

As principais condicionantes técnicas estabelecidas nas normas, em termos de localização e construção dos aterros sanitários, podem ser resumidas nas seguintes, de acordo com a norma técnica brasileira NBR 13.896/1997:

- Declividade do terreno entre 1 e 30%;
- Solo com  $5 \times 10^{-5} < k < 1 \times 10^{-4}$  cm/s (permeabilidade);
- Zona não saturada > 1,5 m (profundidade do lençol freático);
- A 200 m de cursos d’água e 500 m de núcleos habitacionais;
- Deposição de camadas naturais ou artificiais que impeçam ou reduzam a infiltração no solo dos líquidos percolados (argila e/ou mantas de polietileno de alta densidade);
- 04 poços de monitoramento, sendo 01 à montante e 03 à jusante do aterro;

A Figura 12 ilustra as condicionantes de declividade, distância de cursos d’água e de núcleos habitacionais.



Figura 12 – Vista geral o aterro sanitário de Paulínia/SP (Estre), observando-se a localização e características de acordo com a normatização;

Existem outras formas não aceitas pela legislação e normativas vigentes em todo o mundo, ou seja, o *aterro controlado*, onde se utiliza métodos de engenharia para a

disposição, porém sem uma confinção segura, e o *lixão* no qual o despejo no solo é realizado sem qualquer técnica e medida de proteção. Este último é a forma mais primitiva de lançar os resíduos no terreno, e esta proibida pela legislação em vigor. Já com relação aos aterros controlados ainda há por parte dos órgãos controladores ambientais, certa flexibilidade em aceitar a sua adoção, desde que estabelecidas algumas condicionantes e dentro de certas peculiaridades. Porém, os municípios estão sendo obrigados a se adaptar as normas para irem gradativamente construindo seus aterros sanitários. Os lixões estão sendo remediados através de compromissos firmados com os órgãos controladores, através dos conhecidos TACs – Termo de Ajustamento de Conduta. A situação no Brasil pode ser resumida nos seguintes dados do IBGE, em termos do percentual em peso do resíduo urbano gerado:

- 1991: 76% lixões / 13% at. Controlados / 10% at. Sanitários / 1% outros trat.
- 2000: 64% lixões / 20% at. Controlados / 14% at. Sanitários / 2% outros trat.

A Figura 13 ilustra todas as camadas que devem estar presentes em um aterro sanitário, tanto abaixo da massa de resíduos disposta como acima, resultando em um sistema estanque, impermeabilizado e selado, praticamente evitando ao máximo as possibilidades de contaminação ao meio ambiente.

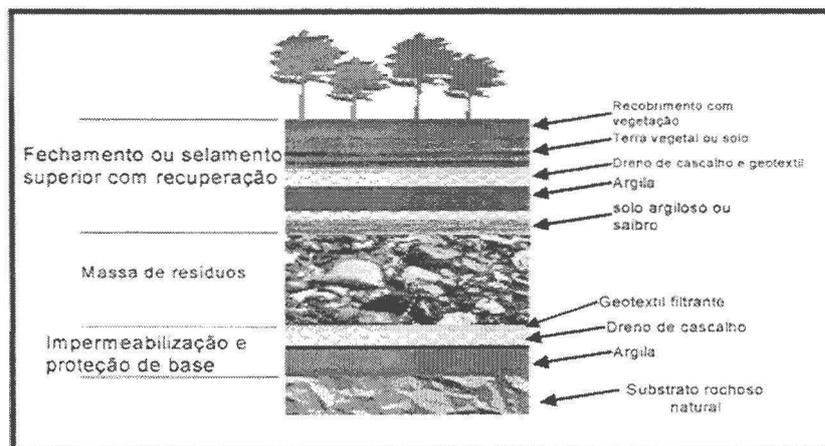


Figura 13 - Perfil esquemático da composição de todas as camadas presentes em um aterro sanitário;

Segundo a última pesquisa do SNIS com dados de 2004 (Miranda, 2006), a situação em termos de áreas de aterro com implantação das principais especificações técnicas, relativas ao número de aterros pesquisado, era a seguinte:

- 48,6% não possuíam impermeabilização de base;
- 45,3% não possuíam drenagem de chorume;
- 48,6% não possuíam drenagem de gases;

Estes dados confirmam a configuração de “aterros controlados”, ou seja, ainda não satisfazem à condição de enquadramento em “aterros sanitários”.

Como se pode concluir ainda há muito que se fazer no caso brasileiro para que para que os aterros sanitários prevaleçam como a forma de aterramento dos resíduos no solo, ou seja, entenda-se como forma de tratamento e destino final.

A observação da Figura 14 leva à conclusão de que a dependência por este instrumento de gerenciamento ainda seguirá por muito tempo na vida do nosso planeta. Todas as fases de tratamento prévias ao aterramento geram resíduos que só têm uma alternativa, o aterro sanitário. E ainda mais se analisarmos as estatísticas no caso brasileiro e da maioria dos países do bloco dos em desenvolvimento, onde os “outros tratamentos” ainda estão no patamar de 2%. Outro fato alarmante é que, segundo o IBGE, “a população cresce a uma taxa de 1% ao ano e a geração de resíduos domiciliares 3% ao ano” (Calderoni, 2005).

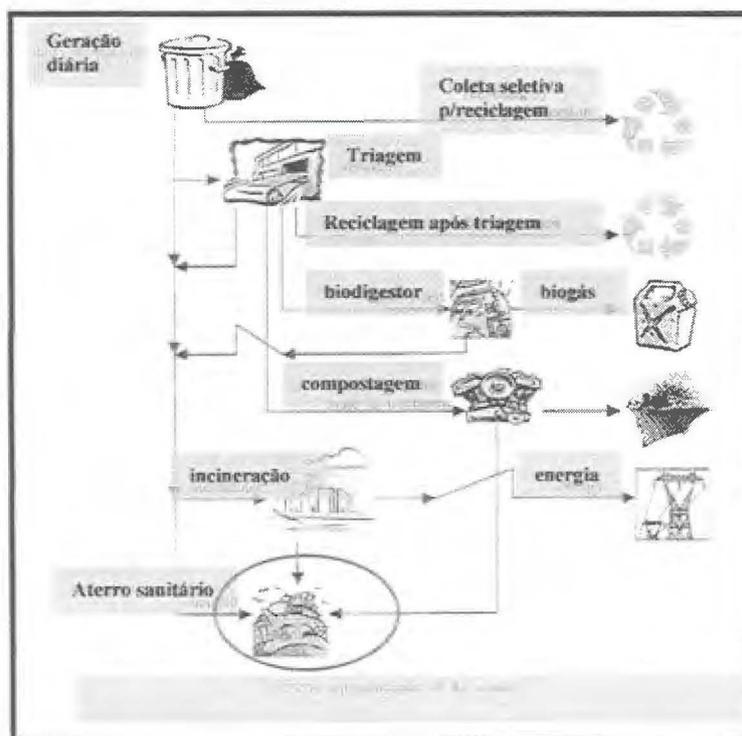


Figura 14 - Representação geral do modelo de gerenciamento integrado de RSU (McDougall et al, 2001)

A premissa básica de todos os Planos Diretores de Gerenciamento Integrado de Resíduos Urbanos – PDGIRSU no mundo inteiro atualmente é “*aumentar ao máximo possível a reciclagem e os tratamentos para valorização dos resíduos gerados desde sua origem, diminuindo ao máximo a destinação aos aterros sanitários*”. Neste sentido

a Comunidade Comum Européia – CE possui uma diretiva que determinou aos países integrantes o prazo de junho de 2005 como o limite para a implantação de planos diretores tendo por fim a eliminação da destinação direta dos resíduos urbanos aos aterros sanitários, ou seja, estes devem possuir todos os tipos possíveis de tratamentos prévios visando reduzir o aterramento. Em resumo, só deverá seguir aos aterros o que realmente não pode mais ser aproveitado, seja na reciclagem, na valorização energética ou na valorização biológica. A Alemanha foi o país pioneiro em atingir metas importantes neste sentido e, se tomarmos o caso da região da Baviera (12.000.000 habitantes), que em tamanho e população é muito semelhante à cidade de São Paulo (10.000.000 habitantes), pode-se afirmar que as soluções adotadas estão cerca de 30 anos adiantadas (Neto & König, 2005). Para se ter uma idéia, nesta região da Alemanha, em 1970 existia 5000 aterros sanitários e, em 2005 apenas 54. Porém, para se atingir este resultado foi investido cerca de 1 bilhão de euros (1,3 bilhões de dólares) principalmente na ampliação do tratamento térmico (incineradoras), na criação de muitos centros de reciclagem, na modernização dos aterros tornando-os “centros de tratamento” e, por fim, talvez a iniciativa mais importante, ou seja, “as campanhas de conscientização da população”.

Dois outros temas importantes também envolvem os aterros sanitários, ou seja, a recuperação do gás gerado e o tratamento do lixiviado. A primeira diz respeito ao aproveitamento do gás metano ( $\text{NH}_4$ ) na geração de energia elétrica e combustível, e a segunda se refere ao tratamento físico-químico do líquido também resultante da biodegradação da fração orgânica do resíduo disposto no aterro.

A Figura 15 mostra um fluxograma ou esquema de todas as fases que envolvem a disposição e tratamento do RSU em um aterro sanitário.

As Figuras 16 e 17 ilustram as atividades de recuperação do biogás e do tratamento do lixiviado em aterros sanitários.

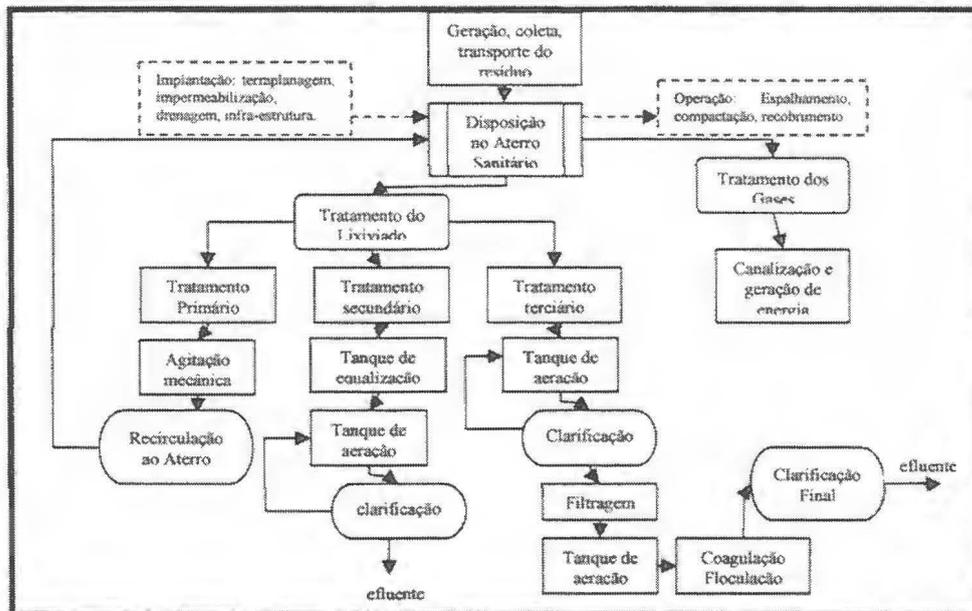


Figura 15 - Esquema das etapas que envolvem a disposição do RSU em aterros sanitários e geração de efluentes gasosos e líquidos;



Figura 16- Vista dos geradores de energia elétrica a partir do bombeamento do gás gerado no AS de Garraf (Barcelona/ES);

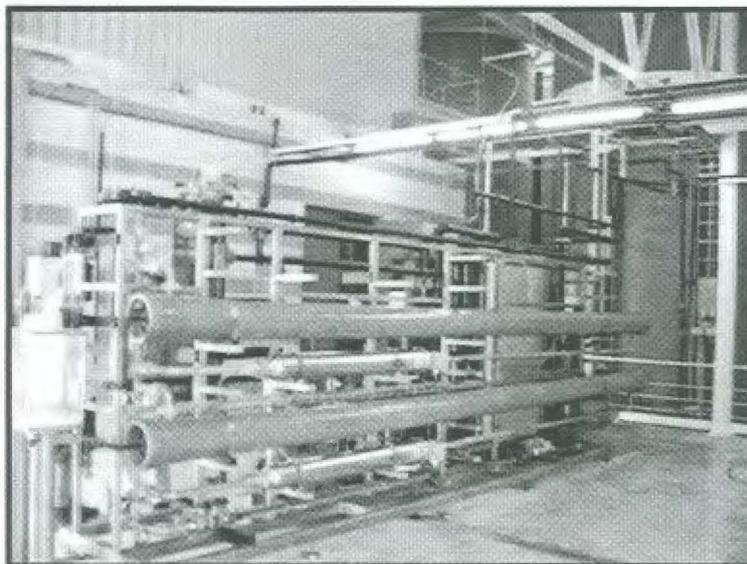


Figura 17- Vista da instalação de “nano filtração” existente no “vertedero de Garraf” (Barcelona/ES), caracterizando o tratamento do lixiviado a nível terciário;

### 2.2.3 – Exemplos de concepções modernas de GIRSU

Importante a citação de novos conceitos na GIRSU que já estão sendo empregados em países desenvolvidos e atualmente começam a tomar forma nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Descrevem-se neste item três principais conceitos, ou seja, os ECOPARQUES, a Reciclagem em aterros sanitários e a questão dos Consórcios de municípios aplicados aos aterros sanitários.

A importância destes novos conceitos reside no fato que vão de encontro ao objetivo principal na problemática atual da GIRSU que é a *“otimização do sistema como um todo, reduzindo a geração do RSU, aumentando o tratamento e valorização dos mesmos, e reduzindo a quantidade encaminhada à disposição final”*.

Atualmente novas idéias estão tomando forma como instrumentos econômicos de gestão de resíduos, citando as “Parcerias Público Privadas – PPP” e as “Declarações Anuais da Quantidade de Resíduos Gerada”, cujo principal objetivo é transferir a parte da responsabilidade dos custos de tratamento e destino final dos resíduos para a iniciativa privada recebendo como contrapartida, subsídios por parte dos poderes públicos.

#### 2.2.3.1 ECOPARQUES - O exemplo de Barcelona/Espanha

Em alguns países a gestão de resíduos de forma integrada evoluiu para a construção dos denominados “ECOPARQUES”, como equipamentos ambientais destinados ao tratamento integral dos resíduos urbanos. A função principal é *valorizar a*

*fração orgânica e os restos (rejeitos domésticos e resíduos não diferenciados), através de tratamentos complementares, tais como, a seleção e separação de materiais valorizáveis, a compostagem e a metanização (Sábata 2006).*

A figura 18, apresenta uma perspectiva de todas as instalações que compõe o Ecoparque de Barcelona, a partir de uma maquete. Pode-se observar o altíssimo nível de organização e isolamento. Os prédios são todos projetados para evitar a propagação de “odores e ruídos” para a vizinhança, com a qual existem protocolos de segurança e controle ambiental, garantindo a manutenção da qualidade de vida dos habitantes.



Figura 18- Vista geral exterior das instalações do ECOPARQUE 2 (Barcelona/Es);

Em realidade estas instalações fazem parte da rede de equipamentos previstos pelo “*Programa Metropolitano de Gestión de Resíduos Municipales (PMGRM)*”, que é formada por “ecoparques, pontos verdes, aterros sanitários, plantas de compostagem, de seleção de envases e de valorização energética”. O PMGRM de Barcelona para o ano 2006 teve como objetivo um aproveitamento de 60% dos resíduos da área metropolitana, distribuído entre a *reciclagem e a valorização energética*.

#### 2.2.3.2 Reciclagem em Aterros Sanitarios

O papel básico dos aterros sanitários (e também das incineradoras) em um sistema integral é de gerenciar os resíduos não recicláveis e desta forma podem estar em um mesmo centro de operações (Glaub, 1996)

Esta concepção é de extrema importância dentro da idéia ou filosofia básica da otimização da gestão de resíduos associadas aos aterros sanitários e vai ao encontro do objetivo do presente trabalho que é contribuir a uma otimização do sistema, podendo-se encontrar um modelo ideal de gestão de resíduos urbanos, econômica e ambientalmente sustentável.

Há que se considerar as seguintes vantagens da implantação de uma unidade de reciclagem em aterros sanitários:

- *Vantagens de localização*: aceitação da comunidade evitando dificuldades associadas à escolha de local e licenciamento de nova instalação;
- *Vantagens funcionais*: utilização de áreas sem aproveitamento dentro dos limites do aterro, para compostagem, armazenamento e processamento; menor impacto das operações de reciclagem sobre o uso do solo; economia de espaço de disposição no aterro, aumentando a vida útil e as receitas ou ingressos totais; ganhos de distância e economia com custos de transporte também deve ser considerado;
- *Vantagens regulamentarias*: na existência de impostos incidentes sobre as tarifas de descarga em função das quantidades depositadas, os gestores podem evitá-los devido ao desvio de resíduos para a reciclagem;

Todos estes aspectos pressupõem incentivos econômicos. Na tabela 02 a seguir se resumem os principais, segundo os operadores ou gestores e os usuários.

Tabela 02 - Incentivos econômicos para a reciclagem em instalações de aterros sanitários;

Parte	Incentivo econômico
Operador do aterro sanitário	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Economia de espaço</li> <li>- Ingressos pela venda de materiais</li> <li>- Redução do imposto pela deposição</li> </ul>
Usuário da instalação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocação gratuita dos recicláveis</li> <li>- Recompra de materiais</li> <li>- Tarifa de descarga diferencial para o carregamento de recicláveis</li> <li>- Tarifa de descarga reduzida pelas economias da reciclagem</li> </ul>

Fonte: Glaub, 1996.

Não há dúvidas que o reconhecimento da importância de “economizar espaço” em aterros sanitários é cada vez maior pelo “potencial econômico” que pressupõe. E a reciclagem aportará ingressos adicionais pela venda dos materiais reciclados.

### 2.2.3.3 Consórcios de municípios e os aterros sanitários

Não se pode deixar de mencionar a questão dos Consórcios Municipais que atualmente é lei de incentivo às prefeituras municipais na questão do Saneamento Ambiental. Através deste instrumento legal as prefeituras de uma determinada região podem se reunir e gerenciar a questão dos resíduos sólidos urbanos, somando esforços e dividindo os custos decorrentes, o que se apresenta como uma solução para os países onde os recursos financeiros são escassos para este fim.

A principal vantagem no que se refere à implantação e operação de aterros sanitários é que este sistema “*permite a localização de aterros próximos dos municípios, com maior área e volume útil de disposição, reduzindo e diluindo os custos incidentes*”.

No Brasil os pequenos municípios estão optando por este sistema para se adaptar a legislação vigente que é rigorosa e requer ações a curto prazo para regularizar as áreas impactadas (lixões) e organizando de uma vez por todas esta questão que envolve saúde da população e proteção ao meio ambiente.

### 2.2.4 – Custos gerais com gestão de resíduos sólidos urbanos - GRSU

Na primeira etapa, ou seja, a coleta, os custos podem oscilar entre 30 e 50 Euros/t (US\$ 35 a 60/t), sendo que, se a coleta for seletiva, estará acima dos 60 Euros/t (US\$ 80/t) (Sábata, 2006). É importante avaliar porém, a questão que normalmente se coloca a frente dos gestores públicos, ou seja, as vantagens de custo entre coleta pública ou privada. Uma sugestão possível é a seguinte (Abbie, 1996):

- *alternativa 1*: coleta contratual através de licitação pública, com uma ou mais empresas privadas, que proporcionam o serviço a partir de um contrato com o município, o qual paga diretamente o serviço;
- *alternativa 2*: coleta mediante uma franquia, onde se concede uma zona ao coletor, e o custo é cobrado diretamente pela empresa aos usuários;
- *alternativa 3*: coleta aberta, ou seja, sem restrições a muitas empresas que contratam o serviços de coleta e reciclagem diretamente dos clientes ou usuários;
- *alternativa 4*: coleta municipal, ou pública propriamente dita, realizada pela prefeitura com seus funcionários;

Estudos realizados indicaram o seguinte custo relativo entre as diferentes alternativas colocadas (Tabela 03).

Tabela 03- Custos relativos das alternativas de coleta;

Tipo de coleta	Responsável pela coleta	Custo Relativo
1. Contratual	Empresa privada contratada pelo município.	1,00
2. Franquia	Empresa privada contratada porém paga pelo usuário.	1,15
3. Aberta	Mais de uma empresa privada.	1,27 a 1,37
4. Municipal	Serviço realizado pelos funcionários públicos do mun.	1,27 a 1,37

Fonte: Abbie, 1996.

Os custos de um programa de reciclagem por sua vez, podem variar entre US\$ 30 e 60/t de material reciclável recoletado e transportado até o mercado (Strobridge & Gerlock, 1996).

Algumas questões são importantes dentro do enfoque de custos para programas de reciclagem, para que se consiga um bom rendimento econômico. Destacam-se os seguintes aspectos:

- a conscientização do público ou da comunidade atingida pelo programa é fundamental para o sucesso do mesmo, caso contrário não haverá materiais para coletar; deverão ser previstos custos para campanhas de conscientização que podem variar entre 1 a 10% do investimento total;
- realizar um bom dimensionamento dos veículos e equipamentos de carga;
- planejar itinerários que tenham um percurso adequado;
- assegurar que a participação seja alta;
- prever a compra de equipamentos usados especialmente para o processamento dos materiais antes da venda, já que esta atividade é realizada poucas horas ao dia;

Uma análise de custos deve compreender a distribuição percentual conhecida dentro de uma gestão atual de resíduos, mesmo que dentro de uma faixa ou intervalo, já que sempre será um elemento importante nas estimações econômicas de caráter inicial e rápido. Esta idéia de distribuição relativa pode balizar também a checagem de resultados para cálculos um pouco mais detalhados e são igualmente elementos de comparação entre diferentes tipos de sistemas de gestão ou de tratamento de resíduos.

Para tanto e também para auxiliar na análise dos resultados do presente estudo, apresenta-se na Tabela 04 algumas distribuições percentuais conhecidas, dos diferentes componentes de custo de um sistema de gestão de resíduos.

Tabela 04 - Distribuição de custos na gestão de resíduos municipais para o caso da região de Catalunya-Espanha;

Componente do sistema de gestão	Participação no custo %
▪ Campanhas de conscientização	7
▪ Coleta	46
▪ Transporte	7
▪ Tratamento	25
▪ Gestão e controle	6
▪ Outros gerais	9

Fonte: Sábata, 2006.

Exemplos da variação dos níveis de custos com o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos são muitos. A Tabela 05 sintetiza alguns destes custos, ilustrando como pode ocorrer uma grande variação ou diferença, dependendo de muitos fatores inerentes à economia do país, mas fundamentalmente da política e tipo de gerenciamento adotada.

Tabela 05 - Custos típicos com gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em algumas cidades e países no exterior

Cidade / País	Faixas de variação dos custos (US\$/ton)	
	Coleta e transporte	Depósito no Aterro
USA	3,5	10 – 80
Canadá	-	80 – 120
Flórida	16,6	55,1
Philadéla	48,5	55,2
Indiana	120,4	-
Hong Kong	-	11,3
Thailândia	2,9 – 10,4	-
Kuwait	24,0	-

Fonte: Koushki, 2004.

Na Figura 19, pode-se analisar os custos médios do tratamento dos resíduos municipais em depósitos sanitários em comparação com incineradoras, de alguns países europeus.

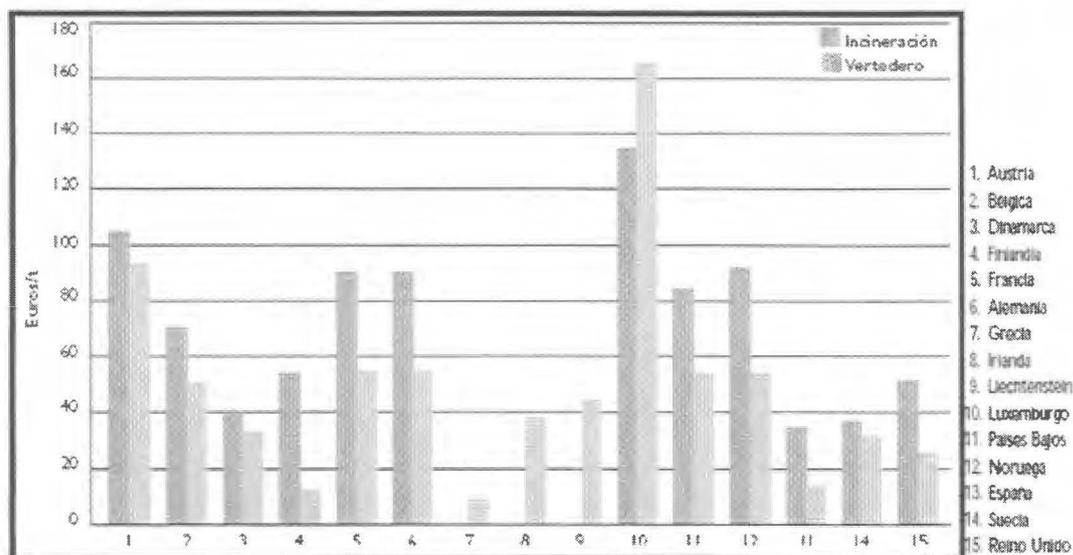


Figura 19 – Gráfico comparativo dos custos dos tratamentos de RSU (Sabata, 2006).

Da observação destes dados pode-se concluir que:

- os custos totais médios da incineração são maiores em praticamente todos os países da União Européia, com exceção de apenas um, Luxemburgo.
- As diferenças são muito variáveis, podendo oscilar desde os 15% até 80% a maior para a incineração, e ainda para alguns casos como o da Finlândia, a incineração chega a ter um custo 300% superior aos depósitos. Estas disparidades são devidas principalmente a fatores legais e de tarifas de energia elétrica.
- Em geral, os custos para a incineração superam os 50 euros/t (US\$ 60/t) e os depósitos controlados ou aterros sanitários, os 30 euros/t (US\$ 36/t), portanto, cerca de 60% a maior para a incineração.

Já a análise dos dados da Tabela 06 nos remete a realidade atual da Comunidade Comum Européia, onde está *realmente ocorrendo uma grande destinação de recursos aos aterros sanitários, de forma a torná-los instrumentos cada vez mais onerosos e como última alternativa na pirâmide de prioridades da GRSU*. Se verificarmos com atenção, os dados tem uma média muito alta, cerca de US\$ 62/t de custo total de disposição, mesmo sem os custos de aquisição da área ou terreno e os relativos a recuperação e fechamento. Outra observação importante é que não há qualquer correlação entre o custo e a capacidade diária, obtendo-se um coeficiente de determinação de 0,015 e isto se deve, certamente, às questões políticas internas de cada país, que hoje vive um tenso momento de adequação às rigorosas leis ou diretivas européias.

Tabela 06 – Custos médios totais (implantação e operação) com aterros sanitários em países europeus;

Pais da CCE	t/dia RSU	US\$/t (2006)
Alemanha	800	97,5
Austria	330	78
Bélgica	470	91
Dinamarca	25	85,8
Finlândia	170	49,4
França	432	23,4
França	280	63,7
Espanha	160	9,75
Grécia	310	17,55
Inglaterra	145	22,75
Irlanda	150	140,4
Itália	160	78
Luxemburgo	80	110,5
Noruega	250	45,5
Portugal	180	20,15
Suécia	690	62,4

Já no estudo apresentado a seguir na Tabela 07, pode-se observar uma análise comparativa dos custos de processos de tratamento de resíduos domiciliares, sem considerar as externalidades, porém demonstrando as receitas ou ingressos devido à valorização de resíduos.

Tabela 07 - Comparação de custos de processos de tratamento;

Tipo de processo	Custo do processo US\$/t	Receitas por valorização - US\$/t	Custo final líquido US\$/t
Coleta normal	27	-	27
Coleta seletiva	41	30	11
Aterro sanitário	13	-	13
Triagem e reciclagem	25	13	12
Compostagem	28	17	11
Incineração bruta	78	32	46
Incineração c/pré trat.	100	67	33

Fonte: Riera & Garcia, 1997.

Da análise destes dados (Tabela 07) se conclui que um dos processos com menor custo é o Aterro sanitário, sendo que o mais custoso é o da Incineração. Porém, ao se considerar os ingressos de receitas a preferência pelos processos menos custosos se alteraria, passando a compostagem e a reciclagem como os mais baratos, seguidos do aterro e da incineração.

Independentemente da exatidão destes dados, o importante é destacar a possibilidade de obter receitas devidas à valorização dos produtos.

#### 2.2.4.5 O caso de Barcelona

A Tabela 08 resume todos os custos com tratamento de resíduos urbanos na Área Metropolitana de Barcelona, mostrando a evolução ocorrida do ano de 2003 para o ano de 2006.

Tabela 08 - Custos com tratamento de resíduos urbanos na Área Metropolitana de Barcelona;

	2003			2006		
	Euros	Toneladas	Euros/t	Euros	Toneladas	Euros/t
Aterros	13.517.086	698.016	19,37	23.897.634	481.803	49,60
Incineradoras	10.466.702	362.339	28,89	20.073.979	403.976	49,69
Ecoparques	16.928.505	351.178	48,20	50.811.692	762.523	66,64
Compostagem	1.835.575	32.372	56,70	1.601.486	24.757	64,69
Triagem	7.422.528	45.197	164,23	11.311.890	70.360	160,77
Outros	2.466.145	44.597	54,85	2.887.643	59.065	48,89
<b>TOTAL</b>	<b>52.616.542</b>	<b>1.533.699</b>	<b>34,31</b>	<b>110.584.325</b>	<b>1.802.484</b>	<b>61,35</b>

Fonte: Sabata, 2006.

Dois aspectos são importantes de salientar a partir da observação da tabela 08:

- o grande aumento de custo para os aterros sanitários, de cerca de 120% em três anos, fazendo com que este tipo de tratamento final atingisse o mesmo nível de custo que os processos térmicos;
- os valores para Barcelona estão nos maiores níveis da Europa;

Há que se observar que este fato se deve em muito ao enquadramento às diretrizes normativas e legais da Comunidade Comum Européia em relação à destinação final dos resíduos, que obriga o reaproveitamento máximo destes antes do envio aos depósitos finais, que por sua vez, foram obrigados a incrementar seus investimentos no controle ambiental, no fechamento, recuperação e monitoramento final. Outro fato que merece ser destacado é que a região da Catalunia, onde esta inserida a cidade de Barcelona, é a que primeiro está implantando as Diretivas Européias, sendo por esta razão que os custos aqui considerados estão a níveis altos inclusive em relação ao restante da Espanha.

##### 2.2.4.5.1 Vertedero de Garraf na região metropolitana de Barcelona

O *vertedero de Garraf* é um aterro sanitário localizado no entorno de Barcelona a uma distância média de 10 km do centro (zona urbana) e recebe cerca de 1500 t/dia de

resíduos urbanos provenientes das diferentes etapas do processo de gestão dos resíduos, ou seja, da coleta, triagem, tratamento mecânico e biodigestão (Ecoparque). Mas especificamente, para este aterro vão somente o “resíduo dos resíduos”, ou como bem denominado na língua castelhada, o “*rechazo*” provenientes destes processos. Começou sua operação no ano de 1973 e está sendo finalizado no ano de 2006, e a quantidade total de resíduos depositados, ou capacidade total, é de 25.000.000 toneladas.

A Figura 20 mostra uma vista geral do *vertedero* onde em primeiro plano pode ser observada a zona já em processo de recuperação, com taludes revegetados e estabilizados, e, mais acima, quase no topo, a zona ainda em processo de disposição dos resíduos sólidos.



Figura 20 – Vista geral do *vertedero* de Garraf à 10 km do centro de Barcelona;

#### 2.2.4.5.1.1 Sistema de Disposição dos resíduos

Os investimentos iniciais feitos foram os mínimos possíveis já que os trabalhos de terraplenagem e preparação do terreno mais a impermeabilização, praticamente foram realizados concomitantemente ao início da operação, ou seja, da deposição dos resíduos. A situação topográfica ou de relevo em encosta facilitou este procedimento, porém há que se salientar o condicionamento geológico do substrato rochoso, ou seja, rocha calcária.

Desta forma considera-se que o investimento inicial propriamente dito ou pré-operacional se resumiu a umas poucas instalações de infra-estrutura (escritórios, oficinas), que foram absorvidos pela empresa contratada e responsável pela gestão.

Assim, têm-se os seguintes dados:

- Capacidade de recebimento de resíduos: 1.500 t/dia
- Custo total de operação incluindo os trabalhos concomitantes de impermeabilização: 45 Euros/t ou US\$ 54 /t (julho/2006)
- Custo do sistema de impermeabilização que consiste em aplicação de uma capa betuminosa após a limpeza do terreno: 40 Euros/m<sup>2</sup> ou US\$ 48/m<sup>2</sup>
- Número de empregados: 60 pessoas



Figura 21 – Vista do vertedero de Garraf com detalhe da capa betuminosa selante (acima e a esquerda da foto);

Há que se ressaltar que uma particularidade importante no contrato de gestão do aterro sanitário é que o “*Ayuntamiento de Barcelona*”, ou a prefeitura, paga à empresa gestora um denominado “*cànon de vertido*”, no valor variável de 10 à 12 Euros/t (12 à 14 US\$/t), de acordo com a tonelagem média diária de resíduo entrante, sendo que é reajustado anualmente por índice oficial (no caso 80% do IP); este valor deve cobrir o custo de transporte dos resíduos, passando pela estação de transferência, e no caso de não passar por esta, o valor baixa para 9 Euros/t (11 US\$/t).

Outra importante particularidade operacional deste aterro sanitário no que se refere ao item de disposição dos resíduos, é a experiência que estão realizando de

“compactação prévia à disposição”. Os resíduos provenientes do Ecoparque, e que são resultantes da fração “*rechazo*” do processo de separação mecânica para a compostagem e biodigestão, são prensados em máquina especial e embalados com sistema de redes. Após então são transportados para a disposição no aterro, gerando vantagens em termos de aproveitamento de volume ou de espaço, assim como de estabilidade no que se refere ao processo de assentamento da massa de resíduos aterrada. O ganho de volume pode chegar a 300% segundo os dados da “*Entidad del Medio Ambiente de la Área Metropolitana de Barcelona*”, responsável pelo controle da atividade, sendo que a densidade dos resíduos urbanos pode passar de 0,2 t/m<sup>3</sup> para 0,8 t/m<sup>3</sup>.

#### 2.2.4.5.1.2 Planta de Tratamento do Lixiviado

A planta ou sistema de tratamento do lixiviado resultante da degradação dos resíduos urbanos depositados no aterro de Garraf, é uma das mais sofisticadas e melhores da Espanha, sendo enquadrada com uma instalação padrão em termos de Comunidade Européia. Foi fabricada e implantada por empresa Alemã, consistindo em tratamento de ordem terciária, ou seja, engloba desde as bacias ou piscinas de equalização e tanques aeróbicos/anaeróbicos, até o processo posterior de filtração, incluindo nano-filtração.

Os dados são os seguintes:

- capacidade: 200 m<sup>3</sup>/dia de lixiviado
- investimento total: 9.000.000 euros ( US\$ 10.800.000)
- custo de operação: 27,80 euros/m<sup>3</sup> (US\$ 33/m<sup>3</sup>) ou 3,7 euros/t resíduo (US\$ 4,4/t)
- número de trabalhadores: 03 pessoas

#### 2.2.4.5.1.3 Instalação de Recuperação e Geração de Energia - Biogás

Todo o biogás ou gás gerado pela decomposição anaeróbica dos resíduos depositados no aterro de Garraf são captados através de canalização enterrada na massa de resíduos, que conduz à instalação de recuperação para geração de energia elétrica.

As características desta instalação assim como os dados de custo são os seguintes:

- quantidade captada: 9.170 m<sup>3</sup>/h de biogás
- poder calorífico do biogás: 5 kwh/m<sup>3</sup>
- capacidade de geração de energia elétrica: 100.000 Mwh/ano
- investimento: 14.000.000 euros (US\$ 16.800.000)
- “cànon” ou valor fixo pago à prefeitura de Barcelona: 1.000.000 euros/ano (US\$ 1.200.000/ano)
- receita anual sem valor à prefeitura: 5.000.000 euros/ano (US\$ 6.000.000/ano)

A operação desta unidade esta a cargo de empresa multinacional inglesa que se responsabiliza por toda a gestão de energia, sendo que somente 2% é utilizado no consumo das operações e unidades auxiliares que compõe o complexo do “*vertedero de Garraf*”.

#### 2.2.4.5.2 Ecoparque 2 de Barcelona

Conforme já descrito no enfoque dos modelos de gestão, os Ecoparques são equipamentos ou instalações destinadas ao tratamento dos resíduos orgânicos e da denominada “*fracción resto*” ou, a fração restante dos processos de coleta, triagem e tratamentos prévios.

Em termos de custos os dados disponibilizados são os seguintes:

- investimento total: 51.000.000 euros (US\$ 61.200.000)
- operação total com amortização do investimento: 70 euros/t (US\$ 84/t)
- operação da parte de separação física (transportadores, peneiras, tromel) : 20 euros/t (US\$ 24 /t)
- operação de compostagem: 30 euros/t (US\$ 36 /t)

### 2.3 Modelos computacionais para GIRSU

O modelamento do gerenciamento de resíduos não é uma idéia nova. Em 1978 foram desenvolvidas técnicas de modelamento para otimização de tipos de coleta, que previam as melhores rotas e definiam a melhor localização para as centrais de gerenciamento. Em 1992 outros modelos foram desenvolvidos visando comparar

alternativas de gerenciamento de resíduos, considerando aspectos ambientais, aceitação do público, custos, operação e manutenção (McDougall, 2001).

Mais recentemente foram desenvolvidos modelos que trabalham com o denominado *Life Cycle Assesements* ou *Life Cycle Inventory*, ou melhor, os “ciclos de vida dos produtos”.

Os modelamentos são necessários para otimizar os sistemas de resíduos visando a redução das emissões ou impactos ambientais e os custos e, por isto, estes impactos e custos têm que ser previstos (McDougall, 2001). Um dos principais objetivos e vantagens é que servem para planejar e definir estratégias e cenários a curto, médio e longo prazo. Há que se salientar, porém, que quanto aos custos, os resultados são a níveis globais, ou melhor, não têm o objetivo de detalhamento e se limitam a fornecer valores por tonelada de resíduo tratado ou gerenciado.

Os seguintes modelos foram selecionados para citação, tendo em vista serem atuais e de divulgação irrestrita.

- a) IWM2 (*Procter & Gamble*, Reino Unido);
- b) SIMAPRO 7 (*Pré Consultants*, Noruega);
- c) SIMUR (*Agencia de ecologia de la Entidad Metropolitana de Barcelona*, Espanha);

Os dois primeiros, IWM2 e SIMAPRO 7, são modelos que incluem o *Life Cycle Inventory*, sendo que o SimaPro7 foi concebido exclusivamente para trabalhar com estas previsões de ciclo de vida, não abrangendo estimativas ou previsões de ordem econômica, opção fornecida pelo IWM2. Por sua vez, o terceiro, denominado SIMUR, foi desenvolvido com o objetivo mais específico de gerenciamento de resíduos urbanos visando um planejamento e controle de todos os fluxos possíveis dos resíduos, desde a sua origem até os destinos finais. Neste modelo são valorizadas as massas ou pesos dos resíduos, insumos básicos (combustíveis e energia elétrica), apresentando dados de custos, porém, apenas como “*inputs*” e não como estimativas ou “*outputs*”.

Uma das muitas vantagens destes modelos é o fato de possuírem “cenários pré-existentes” que podem ser acessados de modo que o usuário possa testar e comparar diferentes opções de acordo com padrões já conhecidos de alternativas de gestão de resíduos. A Figura 22 mostra a tela das opções iniciais do IWM2, demonstrando esta possibilidade além das outras possíveis.

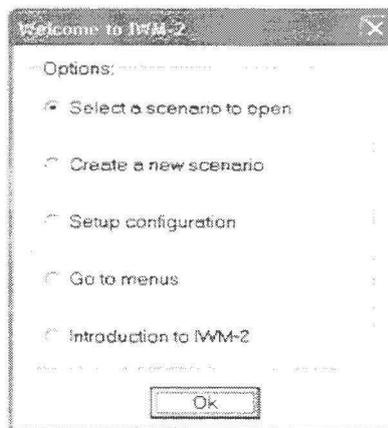


Figura 22 - Tela de acesso com opções iniciais ao IWM2;

A Figura 23 mostra a tela principal do IWM2 para um determinado cenário (SCENARIO1), com a opções possíveis de serem testadas, em todas as fases do gerenciamento integrado dos resíduos.



Figura 23 - Tela principal do IWM2 para um determinado cenário (SCENARIO1);

A Figura 24, mostra a tela das entradas e resultados possíveis, IWM2, para o caso do aterro sanitário (*landfilling*), onde observa-se a possibilidade de se obter a caracterização por fração peso do constituinte do resíduo, e por tipo, ou seja, resíduo perigoso ou não (*hazardous* ou *non-hazardous*).

Process input | Transfer Station | Non-Hazardous Landfill Management & Costs | Hazardous Landfill Management & Costs

Non-Hazardous Landfill Stream Input

	Paper	Glass	Ferrous metal	Non-ferrous metal	Film plastic	Rigid plastic	Textiles	Organics	Other	Compost	Bottom Ash
(tonnes)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Untreated Freshwater Remaining At This Stage:

	Paper	Glass	Ferrous metal	Non-ferrous metal	Film plastic	Rigid plastic	Textiles	Organics	Other
(tonnes)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Total Non-Hazardous Material Available For Landfilling

	Paper	Glass	Ferrous metal	Non-ferrous metal	Film plastic	Rigid plastic	Textiles	Organics	Other	Compost	Bottom Ash
(tonnes)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Landfill input

	Non-hazardous	Hazardous	Total
Amount (tonnes)	0	0	0
Proportion of waste input (%)	0.0	0.0	0.0

Streams | Results | Advanced | << Back | Main | Next >> | Print | Glossary | Help

Figura 24 - Tela das entradas e resultados possíveis para o caso do aterro sanitário (*landfilling*), IWM2;

Ainda para o IWM2, a Figura 25 mostra a tela dos resultados possíveis, e no caso para o aterro sanitário com resíduos não perigosos, onde é possível prever a energia consumida, o gás gerado e o lixiviado gerado, e o custo por tonelada geral para o transporte e a disposição no aterro sanitário.

Process input | Transfer Station | Non-Hazardous Landfill Management & Costs | Hazardous Landfill Management & Costs

Energy Consumption:

Electrical energy consumption of landfill site (kWh/tonne input) 0.0

Diesel fuel consumption of landfill site (litres/tonne input) 0.0

Landfill Gas:

Landfill gas generated (Nm<sup>3</sup>) 0.0

Landfill gas collected (%) 0.0

Landfill gas released (%) 100.0

Energy recovered from gas (%) 0.0

Efficiency of electricity generation (%) 30.0

Market price for electricity (\$/MWh) 0.000

Leachate:

Leachate generated (m<sup>3</sup>) 0.0

Leachate collected (%) 0.0

Leachate released (%) 100.0

Leachate treatment efficiency (%) 0.0

Efficiency of collection and treatment process (%) 0.0

Costs:

Transfer and transport cost of newwaste (€/tonne) 0.0

Landfill cost (€/tonne) 0.0

Streams | Results | Advanced | << Back | Main | Next >> | Print | Glossary | Help

Figura 25 - Tela dos resultados possíveis, e no caso para o aterro sanitário com resíduos não perigosos IWM2;

O SimaPro 7 é considerado a última geração de *software* para Life Cycle Assessment (LCA). O SimaPro 7 é uma ferramenta profissional que auxilia a análise dos aspectos ambientais de produtos e serviços, auxiliando o usuário na escolha da melhor alternativa. Esta disponível em diversas versões e possuem uma grande base de dados inserida assim como diferentes métodos de estudos de impacto ao meio ambiente (PRé Consultants, 2006).

A Figura 26 mostra uma tela demonstrativa de resultado referente ao ciclo de vida de um produto de plástico.

O SIMUR, Sistema de Informação e Modelização Urbana de Resíduos, foi criado pela Agência de Ecologia Urbana de Barcelona a partir de um primeiro modelo realizado para o Programa Metropolitano de Gestão de Resíduos Municipais de 1996 (BCN Ecologia, 2006).

O SIMUR-R simula a gestão de resíduos ao longo de todo o seu ciclo, ou melhor, desde sua geração até sua disposição final. As fases incorporadas são as seguintes:

- gestão do ponto de geração ao ponto de coleta;
- sistema de coleta e transporte ao primeiro ponto de tratamento;
- sistema de tratamento;
- disposição final;

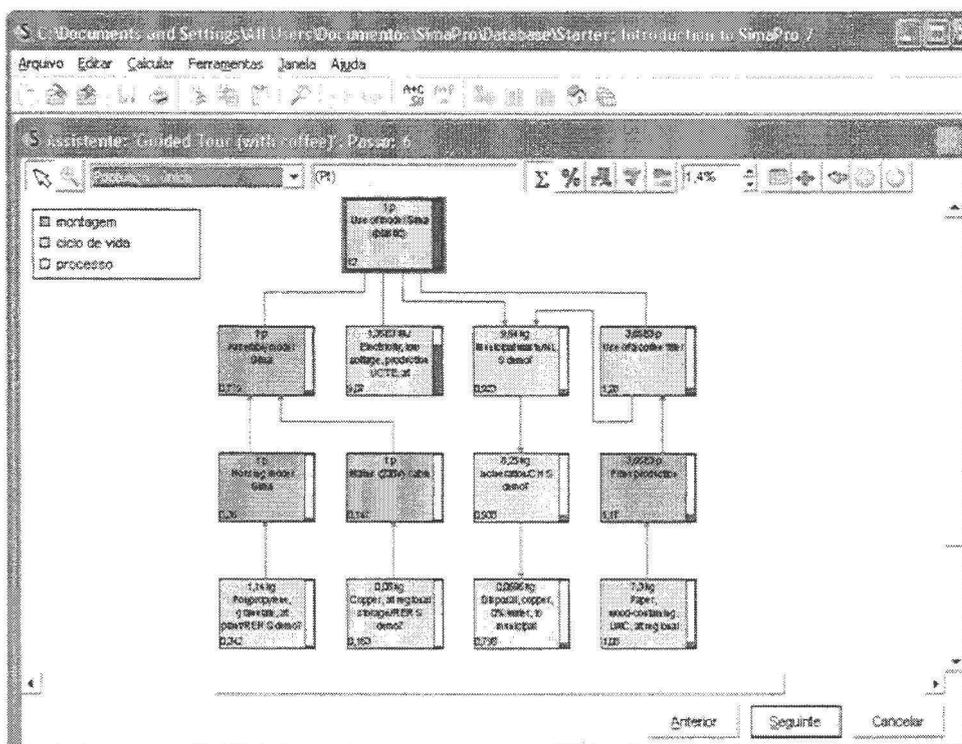


Figura 26 - Tela demonstrativa de resultado referente ao ciclo de vida de um produto de plástico – SimaPro 7

Como resultado se obtém uma série de balanços, indicadores e impactos:

- indicadores de serviço;
- balanço de materiais;
- balanço energético;

- balanço econômico;
- impactos;
- indicadores;

Na Figura 27 ilustra-se o modelo adotado pelo SIMUR, e chamado de “sistema-entorno”, onde toda a rede de fluxos é gerado, mostrando-se as quantidades, origens e destinos possíveis.

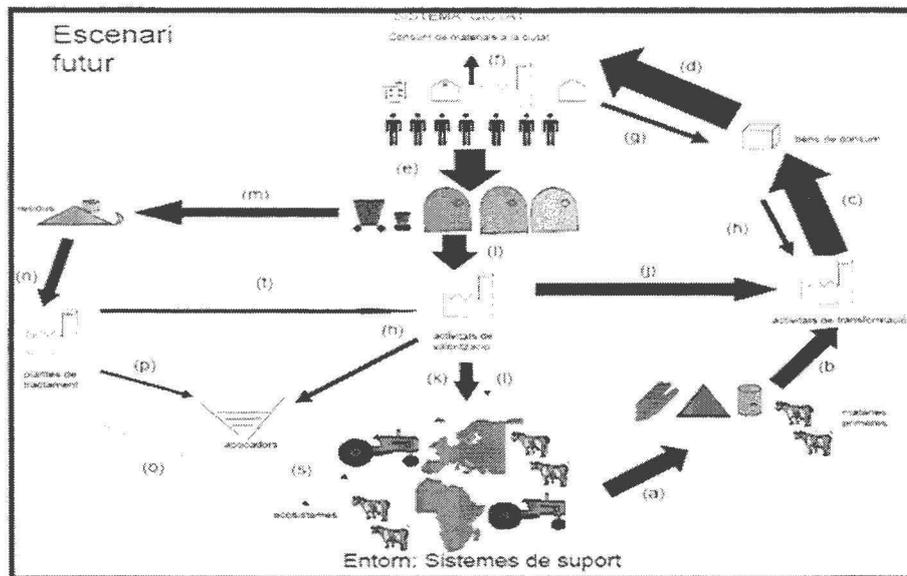


Figura 27 - Exemplo do modelo “sistema-entorno” adotado pelo SIMUR;

## 2.4 Metodologia de desenvolvimento de um modelo de estimação de custos

Os custos de um projeto são divididos ou classificados em dois grandes grupos, ou seja, custos de investimento e custos operacionais, sendo que o primeiro pode também ter a conotação de custos de implantação, já que remetem à fase de implantação ou de construção do empreendimento em questão. Os custos operacionais se referem a fase de operação do empreendimento implantado, quando o mesmo já está em pleno funcionamento. Aqui no presente estudo não será abordado de forma diferente, ou seja, para os Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos será considerado a mesma subdivisão, apesar de não se tratar de um empreendimento que visa o lucro em si próprio, pelo menos em um primeiro momento. Porém, o mais importante é que se trata de um “projeto de engenharia”.

### 2.4.1 Etapas

A metodologia para desenvolvimento de um modelo de estimação de custos de um projeto, deve seguir etapas, as quais estão descritas a seguir. A escolha do tipo e da técnica de estimação, dependerá do nível de avanço dos estudos e dos objetivos fixados e relacionados a cada fase do projeto. À medida que os estudos avançam, as estimações serão muito mais precisas (Nagle, 1998).

1) Escolha do tipo de estimação

As estimações de custos de projetos podem ser classificadas em quatro tipos (Nagle, 1998):

- a) *ordem de grandeza*;
- b) *preliminar*;
- c) *definitiva*;
- d) *detalhada*;

A Tabela 09 mostra a relação existente entre estes diferentes tipos de estimação de custos, a precisão a ser atingida, o tempo empregado para elaborá-las e o percentual de estudos de engenharia realizados.

Tabela 09 - Tipos de estimações de custos de projetos e suas características;

Tipo de estimação de custos	Precisão (%)	Tempo necessário p/ elaboração (dias)	Estudos de engenharia realizados (%)
a) ordem de grandeza	-30 à +50	1 – 7	5
b) preliminar	-15 à +30	7 – 60	15 – 25
c) definitiva	-5 à +15	90 – 360	50 – 60
d) detalhada	-2 à +10	60 - 270	90 – 100

Fonte: Nagle, 1998.

O importante nesta classificação não está na terminologia utilizada, mas na evolução das características dos diferentes tipos de estimação. A otimização ou melhoria da precisão das estimações é função da quantidade de tempo e do trabalho empregado para sua realização, assim como a evolução do conhecimento das características do projeto. Dito de outra forma, a qualidade das estimações depende do investimento realizado nos trabalhos de reconhecimento e estudos de engenharia (Nagle, 1988).

Os objetivos e os dados utilizados em cada tipo de estimação são os seguintes:

*a) Ordem de grandeza (Conceitual)*

A estimação em ordem de grandeza deve servir às avaliações econômicas preliminares de um projeto para justificar um investimento maior no aprofundamento dos parâmetros do mesmo. Podem rejeitar um projeto, mas também podem não ser suficientes para assegurar sua implantação. Elas são feitas por analogia entre projetos comparáveis, por utilização de dados históricos ou de bibliografia e pela utilização de curvas custo-capacidade.

*b) Preliminar (Pré-viabilidade)*

A proposta desta estimação é de “afinar” a anterior, à medida que aumenta o número de dados complementares disponíveis. As estimações são utilizadas dentro de avaliações ou estudos preliminares de viabilidade de um projeto e devem permitir estabelecer um orçamento provisório para o projeto. Aqui normalmente se dispõe de dados mais detalhados e realistas.

*c) Definitiva (Viabilidade)*

Seu fim é de fornecer ao responsável pelos estudos os dados necessários à avaliação da viabilidade do projeto. É no fim desta fase que se deverá tomar a decisão de realizar ou abandonar o projeto.

*d) Detalhada*

Esta estimação é baseada nos planos finais de engenharia e das especificações. Serve para estabelecer as previsões muito precisas sobre custos do projeto que já podem ser usados em contratos de financiamento e de instalações de infraestrutura de construção do empreendimento respectivo.

A Figura 28 mostra através de um gráfico esquemático a evolução da importância da tomada de decisão sobre um determinado projeto, de acordo com as fases do empreendimento e os estágios dos estudos.

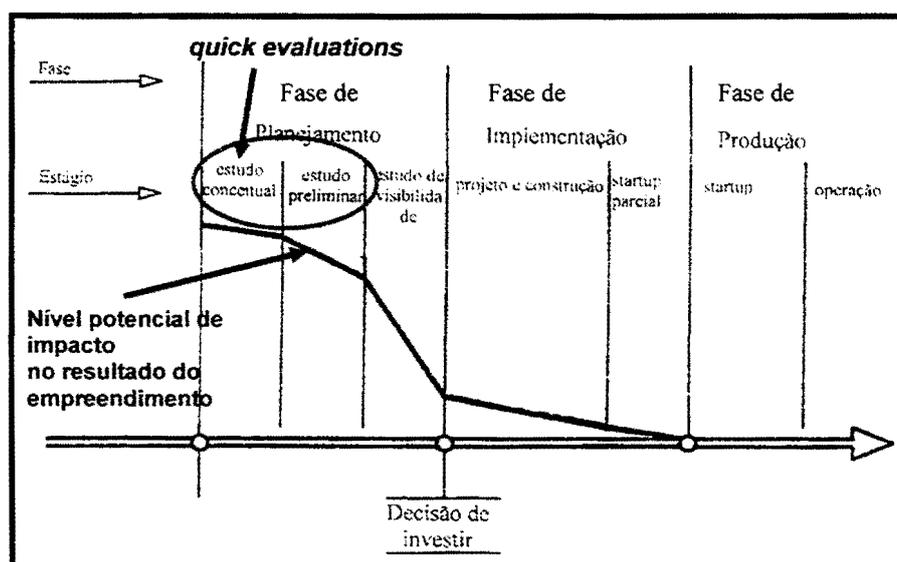


Figura 28 - Diagrama das Fases e Estágios dos Estudos e Projetos

Aqui devemos introduzir o conceito de *quick evaluations*, termo muito usado nas teorias e técnicas de avaliação econômica de projetos, e que significa “*avaliações rápidas*” sendo empregado para referir os estudos realizados para análises em caráter preliminar e no menor tempo possível. As *quick evaluations* se enquadram dentro do tipo de estimativa descrito como *ordem de grandeza*, e são realizadas na fase de planejamento do empreendimento, nos estágios de estudo conceitual e preliminar do projeto. As *quick evaluations* são realizadas, atualmente, utilizando-se programas computacionais e ferramentas de análise de correlação estatística e regressão de dados.

Em relação a estas fases do empreendimento existem alguns conceitos de outros autores, que merecem alguma transcrição, como o descrito a seguir (Nunes, 2004), onde se divide estas fases em diferentes grupos de atividades, que são:

a) Fase de pré-investimento (planejamento)

- Identificação de oportunidades (idéias de projeto/estudo de oportunidade);
- Estágio de seleção preliminar (estudo de pré-viabilidade);
- Estágio de formulação do projeto (estudo de viabilidade técnico-econômica);
- Estágio de decisão e avaliação (relatório de avaliação);

b) Fase de investimento (implementação)

- Estágio de negociação e contratação (suprimentos);
- Estágio de concepção do projeto (engenharia);
- Estágio de construção;

- Estágio de pré-operação e treinamento;

c) Fase operacional

Quanto à precisão, outros autores fornecem os níveis ou graus de precisão das estimativas de custo, de forma um pouco mais simplificada (Nunes, 2004), conforme a apresentada na Tabela 10:

Tabela 10 – Graus de precisão de estimativas de custos;

Estágios	Precisão (%)
Estudo de oportunidade (ordem de grandeza ou conceitual)	30
Estudo de pré-viabilidade (preliminar)	20
Estudo de viabilidade (definitiva)	10

Fonte: Nunes, 1987.

## 2) Escolha da técnica de estimação

Portanto, a conclusão a partir da descrição precedente, é de que o tipo de estimação que melhor se adapta à fase de pré-viabilidade parece ser a “estimação em ordem de grandeza”, porque todas as características (precisão, tempo necessário, etc) e todos os dados necessários são compatíveis aos objetivos e a disponibilidade de estudos de pré-viabilidade (Nagle, 1988). Desta forma, dentro da análise sobre as técnicas de estimação, serão consideradas as técnicas propostas pela “estimação em ordem de grandeza”.

a) Técnica de estimação por analogia entre projetos

Consiste na comparação do projeto a estimar com um projeto similar.

b) Técnica de estimação por utilização de custos unitários

Esta técnica é aplicada especificamente na estimação de custos de investimentos ou de implantação.

c) Técnica de estimação por ajustamento exponencial custo-capacidade

Esta técnica se desenvolve baseada em duas premissas ou fatos:

- o aumento da cadência de produção de um projeto implica em um aumento dos custos de investimento;
- o aumento dos custos de investimentos é mais lento que o aumento da cadência de produção, e por conseqüência, ocorre uma redução dos custos unitários com o aumento desta cadência, o que é denominado de “efeito escala”; esta afirmação é válida também para os custos de operação unitários;

No caso das técnicas a) e b), respectivamente, por analogia de projetos e utilização de custos unitários, não se tem o “efeito escala”, pelo fato de que os custos unitários utilizados são obtidos pela média dos custos unitários de diversos casos com capacidades diferentes. E, em muitos casos, os custos unitários são fornecidos normalmente a grosso modo, o que exige um ajuste das estimações em função das especificidades do projeto a se estimar.

A técnica c), estimação por ajustamento exponencial custo-capacidade, não apresenta a limitação das duas primeiras, porque ela leva em conta a evolução dos custos com a capacidade. Neste caso, a relação entre custo e capacidade pode ser representada por:

- custo = k \* (capacidade)<sup>a</sup> , sendo a < 1;
- log custo = log k + log capacidade<sup>a</sup> ;
- log custo = log k + a log (capacidade).

Assim, os custos do projeto evoluirão ou crescerão de maneira não linear com o aumento da capacidade, e os parâmetros característicos desta função, k e a, podem ser determinados praticamente pelo ajuste de uma curva de regressão para pontos formados por dados reais, custo e capacidade, de projetos já realizados. Mas, para se bem realizar este ajuste e determinar os parâmetros k e a, deve-se ter uma boa “nuvem” de “pontos custo-capacidade”, conforme ilustra a Figura 29:

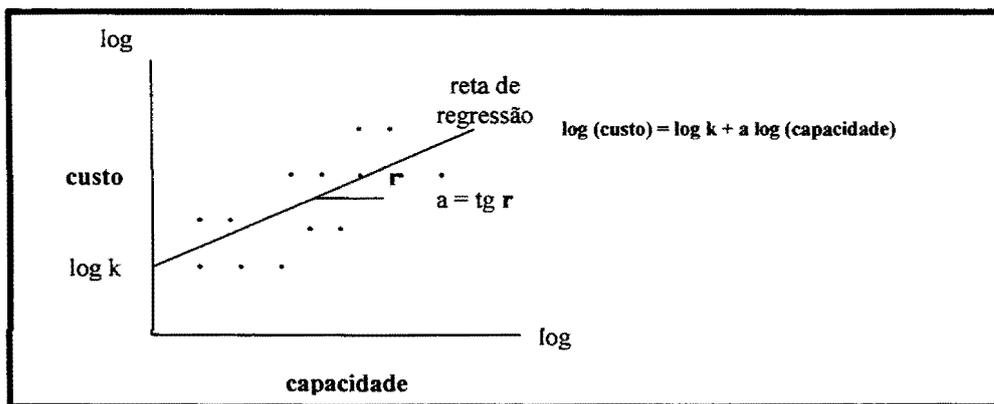


Figura 29 - Esquema demonstrativo de um ajuste custo x capacidade;

Portanto, neste ponto do estudo deve ser abordada a próxima etapa da metodologia de estimação de custos e sua importância, ou seja, a obtenção do conjunto de dados ou da amostragem.

### 3) Buscar um conjunto de dados ou amostragem

Esta etapa se resume na obtenção dos dados e informações necessários à realização do trabalho de modelização de custos. A coleta de dados pode ser feita das seguintes maneiras:

- Através de visitas diretamente aos empreendimentos existentes, no caso, aterros sanitários já implantados e em operação;
- Através de visitas aos órgãos de controle dos aterros sanitários, ou seja, as prefeituras municipais e fundações de meio-ambiente;
- Envio de questionários para prefeituras, empresas gestoras públicas e privadas envolvidas com a questão ou tema que se está pesquisando, no caso, limpeza pública e destinação final de resíduos sólidos urbanos;
- Pesquisas bibliográficas às mais diversas fontes, desde bases científicas universitárias a revistas especializadas do setor pesquisado;
- Consultas a fabricantes e fornecedores de materiais e equipamentos do setor;
- Consultas a sindicatos e associações de empresas e indústrias do setor;
- Consultas a sites na internet especializados ao tema em questão;

Durante a coleta dos dados e informações algumas orientações devem ser seguidas, de modo a se obter o máximo rendimento nesta fase. São elas:

- Anotar o período de coleta;
- Anotar o mês e o ano base dos dados obtidos;
- Anotar a fonte de forma mais detalhada possível, constando nome do informante, empresa ou órgão, e todas as referências bibliográficas possíveis (autor, ano, publicação);

A sondagem e coleta dos dados devem procurar obter o maior detalhamento possível, por isto é importante fazer uma relação detalhada de todos os tipos de dados que podem ser obtidos. No caso dos custos é fundamental de se ter de antemão a estrutura ou divisão dos mesmos, dentro de um nível de detalhamento desejável.

A subdivisão mais geral possível para o caso de custos é o custo total, que por sua vez possui duas subdivisões gerais, custos de investimento e custos de operação.

#### 4) Analisar, diagnosticar e organizar o banco de dados coletado

Obtidos os dados através das formas de coleta descritas na etapa anterior, tem-se então que se proceder à análise geral da amostragem ou dos bancos de dados obtidos. Esta análise tem por objetivo identificar as características dos dados, classificando-os por tipo, origem, fonte, período, características associadas. Feita esta análise os dados devem ser agrupados em tabelas e procedida uma análise crítica mais detalhada. Nesta etapa ou fase do estudo realiza-se o que se denomina de diagnóstico, onde cada amostra é identificada, analisada suas características e comparada com as outras visando um agrupamento por semelhanças.

#### 5) Estabelecer o modelo de estimação e verificar sua validação

O modelo de estimação de custos é estabelecido como consequência dos resultados da etapa anterior, e é obtido como uma resposta da *análise de regressão* entre os dados, identificados como variáveis *independentes e dependentes*, ou também como *variáveis de controle e de resposta*. O resultado são equações de correlação entre estas variáveis do sistema estudado, que irão permitir trabalhos de previsão ou de estimativa de custos, para diferentes aplicações, de acordo com as necessidades dos usuários.

É nesta fase também que se pode introduzir ao estudo o emprego de ferramentas existentes tais como *software* e planilha de cálculo em meio digital especializada em cálculos estatísticos de correlação e de análise multivariável. Estas ferramentas de análise crítica e cálculos identificam parâmetros tais como a *dispersão dos dados ou variáveis amostrados*, a *coerência destas variáveis comparadas entre amostras*, a *relação entre as variáveis*, a *relação entre as amostras*.

O modelo deve representar da maneira mais fiel possível a realidade do setor que se esta analisando dentro do ponto de vista econômico de custos.

Aqui é importante também salientar que o modelo concebido irá de encontro com os objetivos ou premissas iniciais estabelecidas e já descritas quanto ao tipo de estimação e técnica adotadas, *devendo gerar resultados que se enquadrem no nível de erro ou de precisão requeridas neste contexto*.

Para tanto se procederá à *validação do modelo* concebido que nada mais é do que o teste dos resultados, ou também a popularmente conhecida expressão "*prova dos nove*", que é a *comparação de resultados reais com resultados preditivos ou previsto pelo uso do modelo*, verificando se o nível de erro está aceitável e se vai ao encontro de suprir as necessidades e objetivos dos usos finais previstos. Importante observar que os

resultados reais a serem comparados podem ser *tanto internos ou externos ao próprio modelo*. Nesta fase é fundamental o uso de *softwares* específicos como ferramenta de trabalho.

6) Adaptar o modelo a um programa de computador

Por fim, após todo o trabalho realizado, pode-se optar também por complementá-lo com a geração de um programa ou *software* para uso do modelo em computador, ambiente *windows*, o que certamente facilitará o uso e interpretação de resultados. O programa de computador fornece qualidade e rapidez aos usuários finais, podendo ser de fácil divulgação.

#### 2.4.2 Modelo de O'Hara e o *Software* MAFMO

Este tópico está dedicado a descrição do chamado “Modelo de O'Hara”, muito conhecido e utilizado no setor de mineração no mundo todo, considerado um dos principais modelos de estimação de custos para projetos mineiros e concebido para a fase de pré-viabilidade. Conforme já citado na introdução da presente tese, o Modelo de O'Hara foi uma das principais motivações do presente trabalho, quando se teve a idéia de se desenvolver para o setor dos “aterros sanitários” um modelo semelhante.

O desenvolvimento deste modelo é baseado no ajustamento de curvas exponenciais a dados reais. Dentro deste modelo está suposto que a desagregação dos custos totais está compatível com a precisão desejada para a fase de pré-viabilidade de um projeto de mineração, e com a disponibilidade dos dados (Nagle, 1988). A estimação dos custos de investimento e operacionais de projetos mineiros é feita pela soma das estimações parciais dos custos dos seus componentes (Nagle, 1988).

Este modelo foi desenvolvido por *T.A. O'Hara* e publicado no *Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin* de fevereiro de 1980.

A versão base do *softer* denominado de MAFMO (*Modele d'Analyse Financière sur Micro-Ordinateur*) era composta por duas partes: a análise de risco de projetos mineiros, denominada de MAFMO – AIREs e o estudo da contabilidade previsional, denominada de MAFMO – EFIN. A primeira parte foi desenvolvida por *J. Ciruelos, O. Perraud e M. Bilodeau* no *Centre de Géotechnique et d'Exploitation du Sous-sol de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris*, tendo como objetivo fornecer uma ferramenta de cálculo da rentabilidade previsional para análise de um projeto de mineração (Nagle, 1988).

Posteriormente em 1988, Antonio José Nagle adaptou o Modelo de O'Hara para uso informático no MAFMO, denominando a versão de MAFMO – AIDE, para permitir a estimação de qualquer uma das principais variáveis de um projeto mineiro, ou seja, os custos de investimentos e os custos de operação e ainda o preço de venda do produto no mercado. O trabalho foi apresentado na tese de doutorado do mesmo defendida na *Ecole Nationale Supérieure de Mines de Paris* em 18 de novembro de 1988 (Nagle, 1988), sob o título “*Aide a L'Estimation des Parametres Economiques d'un Projet Minier dans les Etudes de Prefaisabilite*” (“Ajuda a estimação de parâmetros econômicos de um projeto de mineração em estudos de pré-viabilidade”).

A Figura 30 apresenta o “espelho ou tela” principal do MAFMO – AIREs com as opções ao usuário.

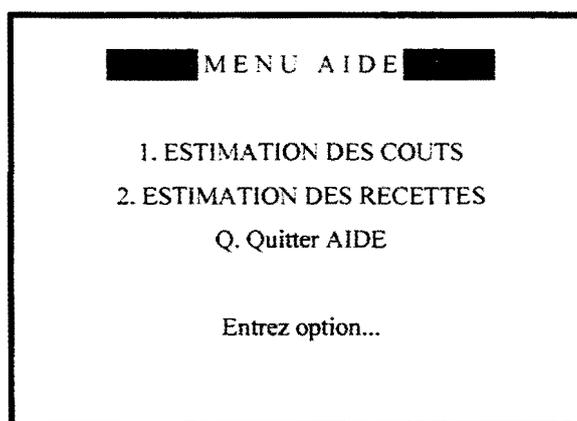


Figura 30 - “espelho ou tela” principal do MAFMO – AIREs com as opções;

A Figura 31 mostra outra tela do MAFMO – AIREs para estimação de custos, observando-se que é possível ao usuário aceitar ou não as respostas ou resultados (cenários já existentes) que o programa sugere, de acordo com o caso em análise.

MINE A CIEL OUVERT	
1. PREPARATION DU SITE	
Conditions du terrain :	Facteur
topographie plate et végétation légère	1.0
topographie accidentée et végétation intense	2.5
Facteur adopté :	1
Coût d'investissement (M US\$86) :	0.098
2. DECOUVERTURE PREALABLE	
Découverte :	Facteur
sans abattage à l'explosif (scrapers)	1.0
avec abattage à l'explosif	10.5
Facteur adopté :	1
Coût d'investissement (M US\$86) :	39.370
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>■ P = Passer</span> <span>M = Modifier</span> <span>PrtSc = Print Screen</span> <span>■</span> </div>	

Figura 31 - Tela do MAFMO – AIRES para estimação de custos;

#### 2.4.3 Comparação entre Aterros Sanitários e Mineração

O presente item tem como objetivo identificar similaridades entre os dois setores, em nível geral, apenas para verificar a possibilidade de se extrapolar a filosofia dos modelos de estimação de custos da mineração para os aterros sanitários. A atividade dos aterros sanitários tem muita semelhança com a de Mineração, e costuma-se dizer que os aterros sanitários seriam “minas ao contrário”. Há uma grande similaridade de operações e as duas atividades envolvem movimentação de solos e rochas, com operações de extração, carga, transporte, descarga. De outra forma também poderíamos dizer que a mineração extrai o minério e os aterros depositam o minério como analogia ao “lixo ou resíduo” como um bem com valor agregado se reciclado posteriormente, sendo que o termo “mineração de aterros” já é empregado referindo-se a extração do resíduo já depositado.

Em mineração, a estimação de custos de capital (investimentos) e de operação para uma determinada mina prevista, é normalmente utilizada após a reserva do minério ter sido determinada e antes dos estudos e do projeto detalhado. Neste estágio de viabilidade preliminar, não se tem conhecimento técnico suficiente para uma estimativa apurada de custos, e estes são estimados com aproximações para se obter uma

orientação sobre uma provável viabilidade da mina e sobre a necessidade de estudos adicionais sobre a reserva e outras avaliações básicas. Para os aterros sanitários a situação é a mesma, ou seja, são necessários estudos iniciais para a escolha da área ou local, complementados por uma estimativa inicial de custos, que auxiliarão na tomada de decisão e avaliação da melhor alternativa.

Estimações de custos são baseadas inicialmente na média dos custos computados em projetos existentes e operações reais com condições apropriadas e adequadas às condições do local, métodos de exploração e processos bem dimensionados, e quando aplicada aos estudos de viabilidade preliminar são admissíveis níveis de imprecisão em entre 20% e 40%.

Os custos de capital e de operação de um projeto de mineração serão influenciados por diversos fatores que devem ser avaliados antes de uma estimativa de custos para um estudo de viabilidade preliminar. Assim também acontece no caso de projetos para Aterros Sanitários, onde diversos são os fatores que podem interferir na projeção de custos.

Entre estes fatores, o mais importante que influi nos custos é o tamanho ou porte do projeto ou unidade de operação, que é expresso em termos da quantidade extraída por dia (ton/dia) no caso da mineração, ou a quantidade de resíduos disposto no aterro por dia de operação. A produção requerida, nos dois casos, irá influenciar no dimensionamento de equipamentos e mão-de-obra, principalmente. A diferença é que para a mineração a relação é sentida mais diretamente e para os aterros sanitários existe uma margem maior dentro da qual a relação pode se manter constante.

Um aspecto, porém, é influenciado quase que na mesma relação, ou seja, a “vida útil” da área. Tanto para um como para outro setor estamos lidando com volumes finitos e fixos e isto irá condicionar principalmente os “custos de capital” que podem ser mais ou menos diluídos se o tempo útil for maior ou menor.

Estes setores apresentam a necessidade de se instalar unidades de processamento físico e/ou químico e estão relacionados diretamente ao material movimentado. No caso da mineração têm-se as usinas de tratamento e beneficiamento de minério que compreendem sistemas complexos diretamente dependentes do tipo de minério e de produção. Assim como a infra-estrutura necessária é igualmente complexo (energia elétrica, água, oficinas, almoxarifados) e ainda dificultado pelo fato de a maioria das jazidas, com poucas exceções, se encontrarem em regiões de difícil acesso e com muito pouca infra-estrutura básica disponível.

Para os aterros sanitários a tem-se a instalação de processos de tratamento físico e químico do resíduo e do líquido percolado (lixiviado ou chorume), porém estes sistemas possuem uma determinada tecnologia apropriada com algumas variantes. O que pode variar é o tamanho destas em função da quantidade (produção) de resíduos dispostos.

E quanto à questão da localização, as áreas para os aterros sanitários possuem uma flexibilidade maior que as relativas às minerações, já que para estas esta presente o aspecto da “rigidez locacional”, ou seja, a mina tem que ser instalada onde se encontra a jazida mineral. Para os aterros sanitários, embora existam as condicionantes locais da norma técnica, as opções são maiores. Porém prevalece um quesito em comum relacionado a questão econômica, ou seja, quanto mais próximo o empreendimento estiver dos municípios ou núcleos de consumo, melhor será a alternativa locacional.

Há que se salientar também que as necessidades de insumos básicos, energia elétrica, água e combustível, itens comuns aos dois tipos de empreendimentos

A Tabela 11 sintetiza uma comparação entre estas atividades, em suas componentes principais.

O que se pode concluir a partir da análise entre os dois setores é que existem semelhanças marcantes que permitem a extrapolação de modelos usados na mineração para os aterros sanitários, ressalvadas as respectivas particularidades. Estas semelhanças destacadas estão colocadas a nível conceitual, porém não se referem em nível de valores, não sendo objetivo do trabalho transcorrer para uma comparação detalhada de custos.

Tabela 11 - Comparação entre as atividades, em suas componentes principais;

<b>Mineração</b>	<b>Aterro sanitário</b>
Decapeamento p/ remoção do estéril	Terraplenagem e preparação do terreno
Infra-estrutura de apoio (oficinas, almoxarifado, escritório)	Infra-estrutura de apoio (oficinas, almoxarifado, escritório)
Drenagem pluvial e de lençol freático	Drenagem pluvial, de chorume e de gás
Estabilização de taludes rocha e solo	Estabilização de taludes resíduo e solo
Operações de movimentação de material (carga, descarga, extração)	Operações de movimentação de material (carga, descarga, compactação)
Tratamento físico-químico do minério	Tratamento físico-químico do resíduo e do lixiviado

## 2.5 Análise multivariada de dados

Métodos de projeção multivariada são amplamente usados para análise e modelamento de conjunto de dados multivariados (Conceição, 2006). Os dois métodos de projeção multivariada mais utilizados são as análises em componentes principais (PCA) e os mínimos quadrados parciais (PLS). Esses dois métodos são apropriados para analisar conjuntos de dados “mal condicionados” para os tradicionais métodos estatísticos. PCA e PLS podem manipular conjuntos de dados onde: *o número de variáveis é maior que o número de observações; exista colinearidade entre as variáveis; moderada quantidade de dados perdidos e as informações contenham ruído* (Conceição, 2006).

Os bancos de dados resultantes para os aterros sanitários possuem estas características com exceção da quantidade de dados perdidos que é maior, e, portanto pode-se fazer uso desta metodologia para auxiliar no entendimento dos modelos possíveis de serem gerados, fundamentando conclusões ao longo do trabalho. Este tipo de análise nos permite visualizar de forma mais clara os “fenômenos ocultos no sistema formado pelas amostras e variáveis componentes”.

A análise em componentes principais (PCA) do inglês *Principal Component Analysis*, é usada para obter-se uma visão geral dos dados, para achar agrupamentos, identificar *outliers* e gerar variáveis que resumam as principais fontes de variação nos dados e poder ser usada em subseqüentes análises.

A PLS – *Partial Least Square*, é um método de regressão multivariada que relaciona a matriz de dados com uma resposta, que pode ser uma ou mais de uma.

Para o caso dos aterros sanitários, as variáveis de controle não são muitas, porém há uma particularidade, ou seja, há variáveis de controle que não possuem valores intrínsecos, ou seja, são variáveis que indicam a presença de características técnicas. Estas são também chamadas de “binárias”, na qual podem ser atribuídos valores “0 ou 1”, indicando, respectivamente, a “ausência ou a presença” de determinada característica. Neste aspecto a PCA e a PLS podem ajudar a identificar as influências destas características ao sistema analisado, levando as conclusões que podem embasar a geração dos modelos, tornando sua análise mais consistente.

## 2.6 Conclusão

Na primeira parte da revisão bibliográfica, a apresentação de todas as etapas que compõem uma GRSU ficou bem estabelecida a complexidade envolvida e a importância dos aterros sanitários neste contexto como um instrumento de destinação final cuja otimização depende em muito da eficácia das etapas anteriores e cuja gestão é fundamental no sucesso de uma GRSU. Neste sentido os exemplos colocados de concepções modernas forneceram uma boa idéia desta otimização, sempre visando a redução de custos e o aumento da vida útil de um aterro sanitário. Neste contexto foi importante salientar os Ecoparques, os consórcios de municípios e a reciclagem no próprio aterro. Já a apresentação de dados gerais de custos com a GRSU demonstrou a complexidade e variabilidade, fornecendo uma noção das ordens de grandeza existentes neste setor. O exemplo de Barcelona deixa claro como um aterro sanitário pode ser complexo e que tecnologias podem ser muito bem empregadas para ótimos resultados.

Quanto a segunda parte onde se apresentaram os modelos computacionais de gestão disponíveis para usuários do setor, demonstrou-se que os mesmos são de caráter mais geral e não se preocupam com a estimação de custos como objetivo principal, e sim com um balanço de massa e de ciclo de produtos. Mais uma vez demonstra-se a inexistência de modelos específicos para avaliação econômica.

Na seqüência, o detalhamento apresentado das etapas empregadas para um desenvolvimento de modelo de estimação de custos foi de fundamental importância, já que mostrou de forma didática o caminho a seguir, já introduzindo qual o melhor tipo e técnica de estimação para aplicar na presente tese. O tipo “ordem de grandeza” e a técnica de “estimação exponencial” já foram situadas, preliminarmente, como as mais adequadas, introduzindo o detalhamento que é apresentado no próximo capítulo. Como demonstração da aplicação desta metodologia foi descrito o Modelo de O’Hara para a mineração e seu programa computacional denominado de MAFMO, demonstrando que o mesmo foi bem sucedido para este setor e sua idéia pode ser extrapolada para o setor dos aterros sanitários, ressalvadas as diferenças dos setores que estão apresentadas na análise comparativa. Esta parte da revisão bibliográfica é de fundamental importância no entendimento dos capítulos posteriores, onde se apresenta o levantamento dos dados e a proposta de modelo.

Fechando o capítulo, a colocação resumida da técnica de análise multivariada deu uma idéia da sua aplicação quando se tem um conjunto de variáveis possíveis de

serem interpretadas na correlação do sistema como um todo. Foram resumidas as questões principais para um melhor entendimento da aplicação desta ferramenta na parte final do modelo proposto, onde se verificou a possibilidade de inserção das variáveis “tipo de tratamento do lixiviado”, como uma complementação à proposta.

## **Capítulo 3 – Levantamento de Dados**

### **3.1 Introdução**

O presente capítulo apresenta o trabalho desenvolvido para obtenção dos dados de custo que serviram como base para o modelo de estimativa de custos para aterros sanitários, objeto do capítulo 4.

Primeiramente esta descrita a metodologia de obtenção dos dados ou os tipos de abordagens empregados, cujo trabalho foi desenvolvido em duas etapas, ou seja, a primeira no Brasil e a segunda no exterior, na Espanha. Estão resumidos os tipos de dados obtidos e todos os contatos realizados, de modo a passar uma visão da real dimensão da abrangência da pesquisa realizada.

Logo após vem a apresentação dos resultados obtidos, ou seja, dos bancos de dados formados, com descrição da organização por tipo ou natureza (implantação, operação, transporte, fechamento) e dos agrupamentos formados ou bancos de dados por origem e nível de detalhamento conseguido. Aqui também são mencionadas as variáveis ou informações obtidas quanto às características técnicas dos aterros pesquisados (litologia, método de disposição, tipo de gestão, tipo de tratamento de lixiviado, presença ou não de sistema de aproveitamento de gases gerados).

Faz-se então uma análise crítica dos bancos de dados obtidos enfocando suas similaridades, coerências, nível de detalhamento e representatividade, onde procurou-se mostrar a importância de cada um na geração do modelo. São apresentadas também as conclusões a cerca das influências de cada característica técnica obtida sobre os custos, decorrentes da análise realizada pela técnica multivariável de principais componentes (PCA).

### **3.2 Metodologia de obtenção**

A pesquisa para obtenção dos dados necessários ao trabalho seguiu todas as formas e procedimentos descritos na etapa 3 do item 2.4.1, capítulo da Revisão Bibliográfica. Em síntese empregaram-se os seguintes tipos de abordagem na pesquisa de dados:

- a) Questionários;
- b) Visitas técnicas e entrevistas com profissionais;

- c) Pesquisa bibliográfica;
- d) Pesquisa a sites na internet;
- e) Consultas a fabricantes de equipamentos;

Os dados de custo abrangem os valores gastos pelo empreendedor do Aterro Sanitário na implantação e na operação, ou seja, os investimentos realizados e os gastos com as atividades necessárias ao recebimento do resíduo sólido e sua disposição final.

Além dos dados de custo, foram também pesquisados os relacionados às condições e parâmetros técnicos, para que o estudo pudesse chegar às conclusões relativas às especificidades de cada projeto ou área em operação, estabelecendo-se as diferenças e as similaridades, para facilitar o diagnóstico e aumentar a consistência dos bancos de dados.

### 3.2.1 Primeira etapa – pesquisa realizada no Brasil

Após a seleção dos aterros sanitários a serem contatados, foram encaminhados questionários às prefeituras e às empresas gerenciadoras, após prévio contato. Juntamente com o questionário seguiu uma correspondência, devidamente identificada com timbre da universidade e dados do laboratório, do pesquisador doutorando e do professor orientador.

Na Figura 32 apresenta-se o modelo de ofício elaborado, observando que nele estão esclarecidos os objetivos e os limites da utilização dos dados.

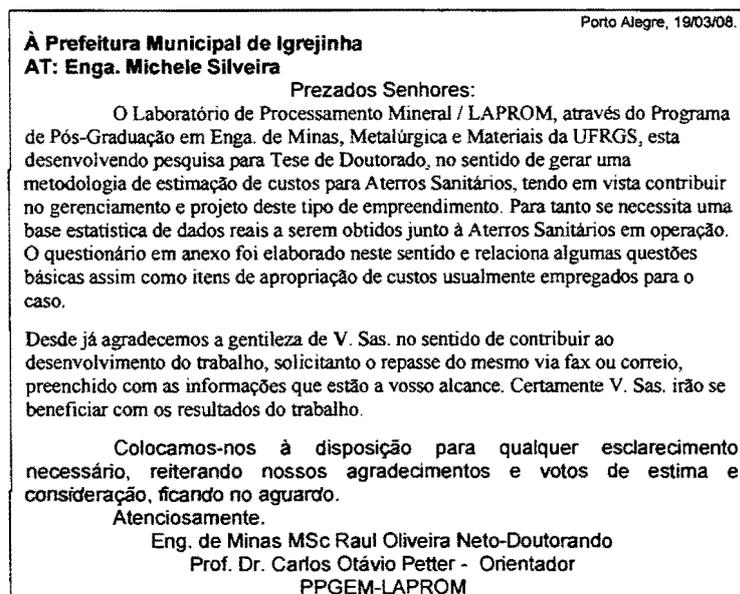


Figura 32- Modelo do Ofício de Solicitação de Dados;

O questionário elaborado é mostrado na Figura 33.

<input type="checkbox"/>	- o Aterro Sanitário do município se desenvolve em encosta, planície ou cava desativada de mineração ?
<input type="checkbox"/>	- qual a capacidade diária (t) e a vida útil (anos) estimada para o aterro?
<input type="checkbox"/>	- qual a área (m <sup>2</sup> ) aproximada do aterro ?
<input type="checkbox"/>	- quais as dimensões de cada célula (largura e comprimento)?
<input type="checkbox"/>	- que tipo de impermeabilização de base foi realizada (argila/geomenbrana)?
<input type="checkbox"/>	- o aterro esta em área com que tipo de rocha: Granito, Basalto, argila, saibro?
<input type="checkbox"/>	- há disponibilidade de argila para impermeabilização no local ?
<input type="checkbox"/>	- os equipamentos são próprios ou terceirizados? Que tipo?
<input type="checkbox"/>	- que tipo de tratamento é utilizado para o lixiviado (aeróbico, anaeróbico, transporte para Estação de Tratamento de Esgoto) ?
<input type="checkbox"/>	- investimentos realizados com a implantação (R\$):
<input type="checkbox"/>	compra da área:
<input type="checkbox"/>	EIA / RIMA:
<input type="checkbox"/>	projeto técnico:
<input type="checkbox"/>	instalações de apoio:
<input type="checkbox"/>	balança rodoviária:
<input type="checkbox"/>	cercamento da área:
<input type="checkbox"/>	cortina vegetal:
<input type="checkbox"/>	terraplenagem:
<input type="checkbox"/>	construção (abertura) das valas:
<input type="checkbox"/>	impermeabilização:
<input type="checkbox"/>	acessos permanentes:
<input type="checkbox"/>	tratamento de lixiviado:
<input type="checkbox"/>	poços artesianos:
<input type="checkbox"/>	piezômetros p/ monitoramento:
<input type="checkbox"/>	- custos mensais com a operação do aterro (R\$):
<input type="checkbox"/>	espalhamento / compactação:
<input type="checkbox"/>	acessos provisórios:
<input type="checkbox"/>	cobertura diária:
<input type="checkbox"/>	cobertura final:
<input type="checkbox"/>	drenagem pluvial:
<input type="checkbox"/>	drenagem de lixiviado:
<input type="checkbox"/>	drenagem de gás:
<input type="checkbox"/>	plantio de grama:
<input type="checkbox"/>	tratamento de lixiviado:
<input type="checkbox"/>	monitoramento operacional:
<input type="checkbox"/>	monitoramento ambiental:
<input type="checkbox"/>	despesas com pessoal:

OBS: caso algum investimento ou custo não tenha sido contabilizado, poderá ser informado um valor estimado:

Figura 33 - Modelo do Questionário de Obtenção dos Dados Pesquisados;

A Tabela 12 relaciona os aterros sanitários selecionados para a pesquisa descrita, indicando qual a resposta obtida. Metade dos municípios contatados respondeu ao questionário.

Tabela 12.- Relação dos Aterros Sanitários Pesquisados em Operação no estado do RS/Brasil;

MUNICÍPIO CONTATADO	GESTOR DO ATERRO	QTDE. DE ATERROS	RESPOSTA
Capão da Canoa / RS	PREFEITURA MUNICIPAL	01	NÃO
Igrejinha / RS	PREFEITURA MUNICIPAL	01	SIM
Lindolfo Collor / RS	PREFEITURA MUNICIPAL	01	NÃO
Marau / RS	NOVA ERA LTDA	02	NÃO
Novo Hamburgo / RS	PREFEITURA MUNICIPAL	01	SIM
Passo Fundo / RS	CODEPAS	01	NÃO
Osório / RS	PREFEITURA MUNICIPAL	01	NÃO
Porto Alegre / RS	PREFEITURA MUNICIPAL	02	SIM
Picada Café / RS	PREFEITURA MUNICIPAL	01	SIM
São Leopoldo / RS	VEGA SA	01	SIM
São Lourenço do Sul / RS	PREFEITURA MUNICIPAL	01	NÃO
São Paulo / SP	PREFEITURA MUNICIPAL	02	SIM
Sapucaia do Sul / RS	RECILIX SUL SA	01	SIM
Viamão / RS	PREFEITURA MUNICIPAL	01	NÃO
Paulínia/ SP	ESTRE SA	01	PARCIAL
<b>TOTAL DE ATERROS PESQUISADOS</b>		18	
<b>TOTAL DE ATERROS COM DEVOLUÇÃO DE DADOS</b>		09 (50%)	

Para o desenvolvimento do trabalho, também foram realizados contatos pessoais com profissionais atuantes no setor de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. A Tabela 13 sintetiza os contatos feitos no Brasil.

Tabela 13 – Relação de contatos realizados no Brasil;

INSTITUIÇÃO/EMPRESA No BRASIL	NOME DO PROFISSIONAL CONTATADO	TIPO DE DADOS/INFOs OBTIDOS
Brasil Ambiente	Sabetai Calderoni - Diretor	Formação dos custos e modelos de gestão de resíduos sólidos municipais
CETESB – São Paulo	Marcelo de Licenc. Ambiental Resíduos - Gerente	Estudos de impacto para aterros sanitários e disponibilização de custos em projetos
ESTRE –Empresa de Saneamento e Trat. De Resíduos Ltda	Ronald Teixeira Penteado – Gerente Operacional	Visita ao Aterro e todas as atividades, com dados técnicos operacionais e estimativas de custos
GEOTECH – Geotecnia Ambiental Consultoria e Projetos	Clóvis Benvenuto – Diretor Técnico	Investimentos e custos operacionais em aterros sanitários – análise e tratamento dos dados
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo	Ângelo Consoni - Depto. de Geotecnia	Orientação quanto à profissionais e organizações a contatar para obtenção de dados sobre gerenciamento de resíduos sólidos
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo	Sérgio Ignácio – Depto. de Transporte e Infra Estrutura	Custos com transporte de resíduos – programa PlanLix
Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de São Paulo	Maria de Fátima Borella -	Índices e Parâmetros de custos para os grandes aterros de S. Paulo, Bandeirantes e São João
Universidade de Campinas	Prof. Dr. Mariano.	Orientação e sugestões quanto ao desenvolvimento conceitual da tese; esclarecimentos sobre o programa PlanLix do IPT para custo de transporte de resíduos;
DMLU – Depto. Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre	Engs. Darci Campani e Geraldo Reichert	Custos e parâmetros de aterros sanitários municipais;
Universidade Federal de Pernambuco	Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá	Dados de custo e informações a cerca de projetos e investimentos do governo federal no setor;

### 3.2.2 Segunda etapa – pesquisa realizada no exterior, Barcelona/Espanha

As fontes de dados para a pesquisa foram várias, desde a consulta às bibliotecas da Universidade Politécnica de Barcelona - UPC, professores do Departamento de Eng. Química, departamentos e universidades associadas ao complexo universitário de Barcelona, até as visitas e contatos técnicos realizados em empresas, órgãos públicos e entidades de pesquisa.

Os principais contatos realizados, fora do âmbito do Depto. de Ing. Química-UPC, foram os seguintes relacionados na Tabela 14:

Tabela 14 – Relação de contatos realizados no Exterior;

LOCAL	CONTATO	ASSUNTOS TRATADOS
Escola Técnica Superior de Engenharia Industria de Barcelona ETSEIB/UPC Depto. de Projetos - UPC	Prof. Domingos Cucurull	Discussão sobre o trabalho da tese e orientação para obtenção de dados complementares e possíveis modelos similares já existentes; forneceu diversos caminhos de consulta na internet à base de dados de órgão públicos;
Biblioteca da Escola Técnica de Eng. Industrial - UPC	Bibliotecária Montserrat Pallas	Suporte e orientação ao acesso de toda a base de dados de todas as bibliotecas da UPC; ajuda na obtenção de diversos artigos técnicos relacionados à tese e com base científica;
Depósito de Resíduos Controlado (aterro sanitário) de Valls de Joan-Garraf e Ecoparque de Montcada	Pedagogo Jordi Pau	Visita técnica no Aterro e no Ecoparque, com apresentação das etapas dos processos e fornecimento de dados operacionais;
Agência de Ecologia de Barcelona BCN-Ecologia	Ecotecnóloga Marta Vila	Apresentação do modelo de simulação de gestão de resíduos sólidos urbanos, SIMUR, seu funcionamento e metodologia; fornecimento do resultado completo do Diagnóstico de 2006 realizado com o SIMUR para os 35 municípios da região metropolitana de Barcelona;
Entidade de Meio Ambiente da Área Metropolitana de Barcelona Serviço de prevenção e gestão de resíduos	Engenheiro Llorenç Alern i Domènech	Informações e esclarecimentos sobre o modelo de gestão de resíduos urbanos da região metropolitana de Barcelona; Obtenção de informações técnicas complementares sobre o Depósito de Resíduos de Garraf e Ecoparque de Montcada; Obtenção de dados de custo com investimentos e com operação das duas unidades;
Escola Técnica Superior de Engenharia Industria de Barcelona – ETSEIB/UPC	Prof. Roman Tauler	Análise dos dados da pesquisa com programa MATLAB; Apoio à interpretação dos resultados;
Dept. de Quimiometria-Faculdade de Química/Universidade de Barcelona-UB	Profa. Anna Dejuan Capdevila	Análise dos dados da pesquisa com programa de computador para correlação de multivariáveis, denominado UNSCRAMBLER; Apoio à interpretação dos resultados;
Incineradora de Besós – TERSA Tratamento e seleção de resíduos	Engenheiro Xavier Marzábal	Visita às instalações da Incineradora com explicação do funcionamento do processo; Informações e esclarecimentos sobre o tratamento dos resíduos sólidos por incineração e seus custos associados;
EQUINORD Equipos y Servicios del Nordeste S.L. – fabricante de contenedores soterrados para resíduos <i>municipais</i>	Engenheiro Javier Carrasco Carrasco	Informações e esclarecimentos sobre a utilidade e vantagens do emprego de contenedores soterrados, assim como custos associados; visita às instalações de construção e montagem da fábrica; demonstração do funcionamento do sistema de descarregamento dos contêineres nos caminhões;

Os demais trabalhos de desenvolvimento da pesquisa durante o estágio no exterior foram desenvolvidos junto ao Departamento de Eng. Química da ETSEIB-UPC, sob acompanhamento e orientação do Prof. Catedrático José Luis Cortina.

### 3.3 Bancos de dados obtidos

Os dados de custo obtidos em aterros sanitários em operação ou finalizados, considerando o nível de detalhamento e consistência, foram organizados da seguinte forma:

- a) CUSTOS DA FASE DE IMPLANTAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS (CI):
- ESTUDOS INICIAIS (Cest): Projeto Básico, Detalhado e o EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente);
  - INFRA-ESTRUTURA (Cinf): acessos permanentes, poços artesianos, instalações de apoio (oficinas, almoxarifado, escritório, energia elétrica), balança rodoviária, piezômetros, unidade de tratamento do lixiviado;

- PREPARAÇÃO (Cpr): terraplenagem, impermeabilização da base;
- SEGURANÇA E PROTEÇÃO AMBIENTAL (Camb): cercamento da área e implantação da cortina vegetal;

Obs: Os custos da fase de implantação correspondem ao investimento necessário ao início da operação ou funcionamento do Aterro, e estão considerados para todo o período necessário de operação e vida útil; a implantação ou construção pode variar de 06 meses até 02 anos, dependendo do porte e dos processos de licenciamento ambiental do mesmo.

b) CUSTOS DA FASE DE OPERAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS (CO):

- OPERAÇÃO (Cop): espalhamento e compactação dos resíduos, drenagens, cobertura diária, acessos provisórios, tratamento do lixiviado, monitoramentos, plantio de grama;
- MÃO-DE-OBRA (Cmo): inclui o pessoal empregado na operação e no apoio administrativo;

Obs: Os dados de custo referente à operação dos aterros sanitários são considerados para o período de um ano, ou seja, são custos anuais;

- c) Custos com transporte dos resíduos coletados até o aterro sanitário;
- d) Custos com fechamento ou término do aterro sanitário;

O Anexo 01 apresenta tabela com todas as amostras e respectivas variáveis obtidas para os dados de custos de implantação e operação. Já o Anexo 2 apresenta os dados de custo com transporte e também os dados de custos com fechamento.

Os dados ou valores de custos foram todos convertidos a um mesmo período (mês/ano) e mesma unidade monetária ou moeda. Para os dados do Brasil foi utilizado o IGPM (índice geral de preços de mercado) da FGV (Fundação Getulio Vargas), e para os restantes foram utilizados índices de variação de preços dos respectivos países de origem dos mesmos. As atualizações foram feitas para a base dezembro 2006:

- . US\$ 1,00 = R\$ 2,13
- . Euro 1,00 = US\$ 1,20

Em síntese obteve-se 146 amostras de aterros sanitários contendo dados de custos e outras variáveis de caracterização, e mais 29 contendo dados relativos a custos e parâmetros de transporte de resíduos até os aterros. Os bancos de dados formados estão condensados na Tabela 15 a seguir:

Tabela 15 – Bancos de dados obtidos;

Denominação do Banco de dados - identificação	Tipo de pesquisa	Quantidade de amostras e tipo de dado
BRASIL 1 – B1	Questionário para empresas operadoras de ATS	07 – custos detalhados de implantação e operação, capacidade diária, características técnicas completas *
BRASIL 2 – B2	Visitas e contatos com órgãos públicos controladores, com obtenção de parâmetros reais decorrentes da implantação e operação de ATS	04 – custos detalhados de implantação e operação, capacidade diária, características técnicas completas *
BRASIL 3 e 4 – B3 e B4	Dados bibliográficos e de seminários	11 – custos totais por tonelada de resíduo disposto, capacidade diária, características técnicas parciais **
TAIWAN – E1	Pesquisa à base científica <i>Science Direct</i>	88 – custos com implantação e operação sem detalhamento, capacidade diária e características parciais **
ESPANHA – E2	Consulta ao gerenciador SIMUR da Agência de Ecologia de Barcelona	30 – custos totais por tonelada de resíduo disposto e capacidade diária
EUROPA – E3	Pesquisa bibliográfica	16 – custos com implantação e operação sem detalhamento, capacidade diária
BRASIL 5 – B5	Pesquisa junto aos órgãos públicos, com obtenção de parâmetros reais relativos à composição dos custos de transporte	10 – custos de transporte por capacidade dos veículos e distância
ITALIA – E4	Pesquisa bibliográfica	5 – custos com transporte
KUWAIT – E5	Pesquisa bibliográfica	14 – custos com transporte

Obs: \* área do aterro, topografia, método, tipo de substrato;

\*\* somente tipos de tratamento do lixiviado e existência de sistema de recuperação do Biogás

A pesquisa também obteve outros tipos de dados relacionados às características e condicionantes de natureza técnica dos aterros sanitários que são os seguintes (ver tabela do Anexo 1):

- Capacidade diária de disposição de resíduos urbanos, medida em toneladas (t/dia);
- Área útil do aterro sanitário, considerando zona de disposição e de instalação das obras de infra-estrutura, medida em hectares (ha);
- Tratamento do tipo primário: inclui a recirculação com aeração mecânica;
- Tratamento do tipo secundário: inclui sistema de Clarificação adicional, além de tanques de aeração e equalização;
- Tratamento do tipo terciário: inclui sistemas de tratamento mais avançados com filtração e carvão ativado e ainda outros tipo como a flotação;

- Sistema de recuperação do gás gerado no aterro para reutilização como geração de energia, também denominado de Biogás.
- Gestão realizada por responsabilidade direta de órgão ligado à Prefeitura do município de localização do aterro ou pelo Consórcio de municípios;
- Gestão realizada por responsabilidade direta de empresa privada contratada pela Prefeitura do município ou pelo Consórcio de municípios;
- Planície, ou seja, topografia plana sem diferenças significativas de cotas;
- Encosta, ou seja, topografia condicionada por diferenças significativas de cotas, associadas às encostas de morros ou serras;
- Cava de mineração abandonada ou finalizada, ou seja, topografia remanescente caracterizada por uma cota de base plana e por taludes remanescentes com ou sem bermas intermediárias;

Obs: Importante salientar que a topografia condiciona o próximo critério de classificação, ou seja, o método de disposição do resíduo no aterro;

- Metodologia ou técnica de disposição dos resíduos denominada com Rampa (encosta ou planície),
- Metodologia ou técnicas de disposição dos resíduos denominada como Trincheira (planície),

Obs: Os métodos da rampa e da trincheira foram os predominantes em toda a pesquisa;

- Argila, ou seja, maciço predominantemente argiloso, existente na zona de disposição, até a cota de arrasamento ou de base;
- Saibro, ou seja, maciço predominantemente de natureza saibrosa, considerado como material resultante de alteração de rocha sã;
- Sedimentar, ou seja, arenito como maciço predominante;
- Ignea, ou seja, granitos e basaltos como rochas predominantes;

### 3.4 Análise crítica

Todos os dados obtidos foram organizados em bancos ou agrupamentos, de forma a manter uma coerência e similaridade na origem dos mesmos, o que certamente facilita o trabalho de análise e de geração do modelo.

Para os custos com disposição de resíduos nos aterros sanitários, foram obtidos três níveis de detalhamento:

- a) Custos detalhados onde foi possível obter os custos que compõem a fase de implantação (Cest, Cinf, Cpr, Camb) e a fase de operação (Cop, Cmo), e que correspondem apenas aos bancos de dados do Brasil B1 e B2;
- b) Custos com os totais para implantação ou investimento (CI) e para operação (CO), onde não foi possível obter o detalhamento de cada uma destas fases, e que correspondem aos bancos do exterior, Taiwan E1 e Europa E3;
- c) Custos totais englobando as fases de implantação e operação ( $CT=CI+CO$ ) onde não foi possível obter o detalhamento nem para CI e CO, representados pelos bancos de dados do Brasil B3 e B4 e exterior Espanha E2;

Importante salientar que sempre foi possível obter para todas as amostras a variável “capacidade diária do aterro sanitário (Cap)”, fundamental na análise das correlações para geração do modelo, dentro do conceito do “efeito escala”.

#### 3.4.1 Banco de dados do Brasil

Os bancos de dados do Brasil com mais consistência e onde houve mais trabalho de pesquisa e investigação são os bancos B1 e B2, e por isto têm uma confiabilidade maior inclusive de origem, já que foram obtidos diretamente nas instituições e empresas gerenciadoras dos aterros, e desta forma podem ter uma representatividade maior do setor no contexto brasileiro. Os bancos B3 e B4, embora tenham sido obtidos de bibliografia e de participação em seminários, também têm certa confiabilidade já que as fontes são reconhecidas no setor.

### 3.4.2 Banco de dados do Exterior

Dos bancos de dados do exterior o de Taiwan (E1) foi o mais completo e representativo de custos específicos com aterros sanitários, contendo 88 amostras e ainda com custos separados para implantação (CI) e operação (CO). O banco de dados da Espanha foi o segundo melhor obtido e embora não tenha sido possível a abertura do custo total (CT) em CI e CO, obtiveram-se o custo total por tonelada de resíduo disposto no aterro e a respectiva capacidade aterro, através de um trabalho de análise dos relatórios da Generalidad de Cataluña em Barcelona. No entanto este banco de dados não foi empregado na geração dos modelos por também ter apresentado valores muito mais elevados que os do Brasil e de Taiwan, chegando a 100% a maior, o que certamente este associado às questões de conjuntura econômica da Espanha. Já para o banco de dados Europa (E3) a pesquisa bibliográfica identificou valores para CI, CO e CT, porém sem uma regularidade, ou seja, as amostras nem sempre apresentavam os três tipos, e ainda quase sempre se referiam como uma média geral para diferentes países, o que pode servir apenas como uma base comparativa e de noção geral, mas não na formulação de um modelo de estimativa de custos.

Foi feita uma análise comparativa dos bancos de dados Taiwan e Espanha/Catalunya, esta realizada na correlação dos custos totais – CT (implantação + operação), já que este último não disponibiliza uma base com maior detalhamento.

As principais diferenças detectadas e facilmente mensuráveis são:

- a) – Taiwan e Espanha apresentam algumas amostras com a presença do “tratamento terciário do lixiviado-TT”, o que já não acontece com Brasil, onde o tratamento máximo é o secundário – TS;
- b) – Espanha apresenta 40% das amostras com a incidência do custo de recuperação e aproveitamento do gás metano, o denominado “biogás”, o que não ocorre em Taiwan e Brasil;

Existem outras diferenças, se bem que não explicitamente marcadas ou mensuráveis, sendo que, merece especial citação a seguinte:

- c) - Diferença conjuntural da economia dos países e que influi em componentes importantes da formação dos custos, tais como os custos com energia elétrica e com mão-de-obra, entre outros;

Portanto, a partir da constatação destas diferenças, pode-se proceder aos seguintes ajustes com o objetivo de se equalizar as bases e correlacioná-las conjuntamente:

- 1º) - suprimir da base Taiwan as amostras com incidência dos TT;
- 2º) - retirar da base Espanha as amostras com presença dos BG;
- 3º) - tentar mensurar ou estabelecer, mesmo que de modo grosseiro, um percentual para as diferenças conjunturais entre os países do exterior e Brasil, e abate-lo dos valores CT de Taiwan e Espanha;

As duas primeiras ações são facilmente feitas, bastando localizar as amostras e suprimi-las para o caso desta correlação. Já a terceira ação, identificou-se um bem de consumo final presente nos três países, facilmente influenciável pela conjuntura econômica de cada país. Verifica-se qual a diferença de preço final do bem entre os países, transpondo-a com alguma aproximação, ao caso em estudo. Optou-se pelo bem de consumo denominado de *Big Mac*, da rede de *fast food* internacionalmente conhecida, o *Mac Donald's*.

Obteve-se o seguinte resultado:

- - preço do *Big Mac* no Brasil: US\$ 4,2
- - preço do *Big Mac* na Espanha: US\$ 8,4, ou seja, 100% mais cara que no Brasil;
- - preço do *Big Mac* em Taiwan: US\$ 4,8, ou seja, 15% mais cara que no Brasil;

O gráfico da Figura 34 mostra o resultado das ACCC (Análise de Correlação Custo-Capacidade) para as bases de dados, contendo as modificações ou ajustes 1º e 2º.

Já para o 3º ajuste, a análise das curvas obtidas das ACCC nos mostra que as diferenças entre os custos correspondem às diferenças percentuais dos preços do *Big Mac*, confirmando a existência deste fator conjuntural na diferença de custos, conforme se demonstra na Tabela 16 abaixo. O mais importante é, sem dúvida, *a conclusão de que os bancos de dados praticamente se equivalem e que podem ser levados a uma mesma base, e ainda, sub-amostras podem ser coletadas de cada banco de dados para compor outros bancos de dados mais completos e representativos*. Em suma, criar um ou mais de um banco de dados compostos e otimizados.

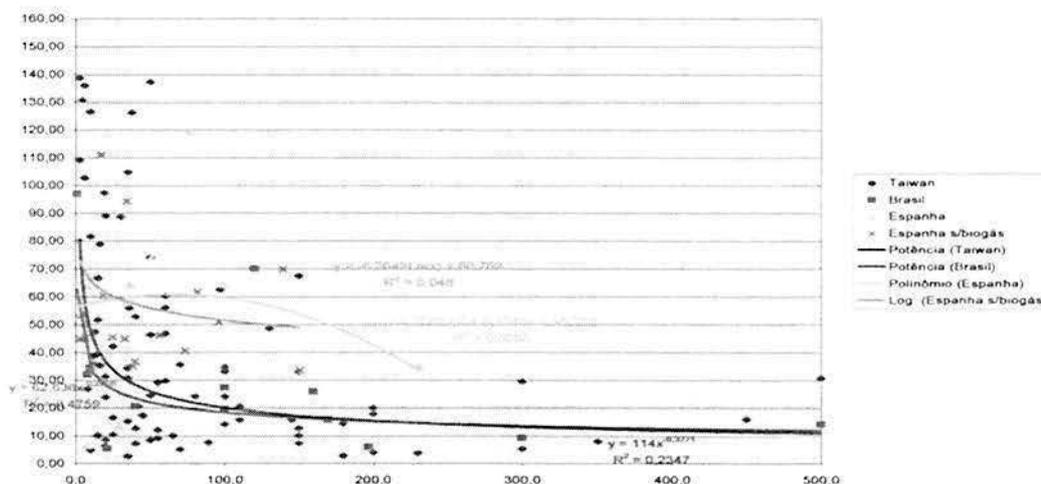


Figura 34- Gráfico comparando as curvas de correlação e ajuste exponencial entre Taiwan, Espanha e Brasil, para os custos totais por tonelada de resíduo diária disposta.

Tabela 16 - Comparação dos valores de CT para as bases em dois níveis de capacidade diária de aterros sanitários;

Capacidade aterro	Taiwan US\$/t	Espanha US\$/t	Brasil US\$/t	Diferença % Taiwan/Brasil	Diferença % Espanha/Brasil
100 t/dia	20,01	59,73	18,42	+8	+124
200 t/dia	15,46	43,21	15,32	+1	+82

### 3.4.3 Dados relacionados às características técnicas

Quanto à questão das características técnicas foi realizado um estudo de análise da influência das mesmas em um modelo de estimação de custos, através da técnica de análise multivariável dos componentes principais, *PCA*, que conforme já descrito no Capítulo 2 – Revisão bibliográfica, é empregada para obter-se uma visão geral dos dados. Foram então obtidas conclusões a cerca da importância das variáveis de caracterização técnica dos aterros no sistema de variáveis como um todo, e ainda suas relações com a variável custo, que são as seguintes:

- GAt (tipo de gestão do aterro) e BG (Biogás) têm muito pouco influência no sistema e indicam que BG e o tipo de gestão do aterro (municipal ou privada) não têm relação direta entre si.

b) Quanto às variáveis que representam características técnicas dos aterros sanitários amostrados (plan-planície, enc-encosta, cav-cava, ramp-rampa, cel-célula, arg-argila, sai-saibro, sed-sedimentar):

- . sed, arg, saib, ou o tipo de maciço rochoso presente, não têm nenhuma correlação entre si, e não apresentam importância no sistema, estando muito afastados da PC1;
- . os aterros em encostas (enc) estão associados ao tipo de rocha sedimentar (sed), e os aterros em cava (cav) ao tipo de rocha argila e saibro (arg e saib), o que confirma a preferência pelo aproveitamento de cavas remanescentes de mineração de argila ou saibro, já que estes substratos agregam a condicionante de permeabilidade exigida para instalação dos aterros sanitários;
- . os métodos de disposição em rampa (ramp) e células ou trincheiras (cel) estão sem relação entre si, porém há uma certa preferência pelo método de rampa para o tipo de gestão (GAt) privada, e o método das células para a gestão municipal, do que também se conclui que o emprego da “ramp” esta realmente associada às “Cap” maiores onde a gestão privada é mais adotada, sendo que para “Cap” menores a gestão municipal é mantida e para o método mais simples e barato das “cel”; poderíamos aqui afirmar que “ramp” possui uma influência mais direta e proporcional sobre o custo dos aterros sanitários como método de disposição do resíduo no aterro, ou seja, levam à custos totais CT maiores, já que estas duas variáveis estão no mesmo quadrante e mais próximas do que a “cel”;

A conclusão é que todas estas variáveis “características técnicas” são importantes como auxiliares na tomada de decisão e na otimização final da escolha de áreas para novos aterros, porém, não têm significância dentro dos objetivos e condicionantes do estudo, ou seja, poucas influências terão nas estimativas iniciais de custos na fase de pré-viabilidade.

#### 3.4.4 Banco de dados de custos com transporte do resíduo ao aterro sanitário

Quanto aos custos relativos ao transporte dos resíduos aos aterros sanitários, não foram formados bancos de dados consistentes, principalmente no caso brasileiro onde a pesquisa não obteve resultados. Mais uma vez a “questão da falta de divulgação ou até da inexistência de estudos mais aprofundados a respeito foram os fatos predominantes”. Alguns dados de trabalhos técnicos realizados no exterior foram coletados (Anexo 3) e formaram os bancos indicados como E4 e E5, porém, há muita disparidade nos valores encontrados. Um fator importante a salientar é que a maioria destes custos relativos ao transporte estava “contaminado” com os custos de “coleta” do resíduo, etapa esta que não está dentro da fronteira do estudo, dificultando o aproveitamento dos mesmos, aliado ao fato de não conterem informação referente à distância de transporte. Os dados que subsidiaram o modelo para custo com transporte estão nas tabelas do Anexo 2, banco de dados do Brasil - B5, e possuem um detalhamento maior que o exigido para a fase de pré-viabilidade, tendo sido obtidos a partir de parâmetros reais.

#### 3.4.5 Banco de dados de custos com fechamento ou encerramento dos aterros sanitários

Por fim procurou-se obter dados de custo relacionados ao tema do “fechamento do aterro sanitário” sendo que também pesou a questão da falta de estudos específicos a esta questão, sendo que os dados e informações resultaram muito esparsos e sem nenhuma correlação com o porte do aterro sanitário. Neste caso foram realizados cálculos estimados a partir de parâmetros reais de aterros existentes em fase de término, e em estudos e projetos consultados, gerando um modelo apenas indicativo de grandezas possíveis de custos que possam ser previstos ao nível da fase de escopo conceitual.

### 3.5 Conclusão

A principal conclusão que se pode chegar do trabalho de levantamento de dados, é que o mesmo foi conduzido dentro das técnicas possíveis e que os resultados obtidos foram suficientes para um setor incipiente e com enorme carência de estudos econômicos de custos. A busca por dados no exterior foi uma necessidade diante do quadro brasileiro, de total falta de trabalhos e de divulgação deste tipo de dados. Os

países desenvolvidos estão muito mais avançados na questão dos aterros sanitários, porém também se encontrou muita dificuldade na obtenção de dados através de estudos detalhados de custos.

Foi necessário também o levantamento de parâmetros ou índices reais de custos unitários, que levaram a obtenção de custos através de cálculos estimativos, considerando o porte ou capacidade do aterro, como foi o caso do banco de dados B2.

A pesquisa resultou em bancos de dados que somam o total de 175 amostras, sendo que após um trabalho exaustivo e repetitivo de cálculos, testes e análises, 117 amostras demonstraram consistência para a continuidade do trabalho de geração da proposta de modelo para estimação de custos para aterros sanitários.

Portanto, na seqüência do trabalho, os bancos de dados aproveitados com sua respectiva utilização, são os seguintes:

- B1 e B2, para a geração do Modelo Univariável (item 4.2);
- B1, B2 e E1, para a geração do Modelo Multivariável (item 4.3);
- B5, para a geração do Modelo de Cálculo do Custo de Transporte (item 4.4);

Cabe observar também que para a geração do Modelo de Estimação dos Custos de Fechamento de aterros sanitários (item 4.5), foram utilizados dados de referências bibliográficas conforme estão indicados.

## **Capítulo 4 – Proposta de Modelos para Estimação de Custos relativos à Gestão de Aterros Sanitários**

### **4.1 Introdução**

O presente capítulo apresenta as propostas de modelos para as estimações de custos associados à gestão de aterros sanitários, entendendo-se os custos de implantação ou também denominados custos de investimentos, os custos operacionais, os custos com transporte dos resíduos até o aterro e os custos decorrentes do fechamento ou encerramento do mesmo. A apresentação do capítulo desenvolve-se em quatro principais itens, ou seja:

- a) modelo univariável, onde se descreve o desenvolvimento e resultado considerando as correlações “custos x capacidade do aterro”;
- b) modelo multivariável, onde se descreve o desenvolvimento e resultado considerando as correlações “custos x capacidade do aterro e tipo de tratamento do lixiviado”;
- c) modelo de custo com transporte do resíduo ao aterro considerando “custos x capacidade, distância e tipo do veículo de transporte”, sendo que este modelo também fornece a frota ou a quantidade de veículos necessários;
- d) modelo de custo para fechamento ou encerramento do aterro sanitário;

A descrição dos modelos univariável e multivariável esta feita da forma mais detalhada e sucinta possível, de forma a demonstrar os caminhos utilizados para obtenção dos resultados, indicando-se as equações obtidas assim como os índices de correlação. Ao final de cada modelo demonstram-se os erros médios obtidos através de uma retro-análise de validação utilizando-se valores de amostras do próprio banco de dados (univariável) ou de sub-amostras retiradas do banco de dados (multivariável).

Já para os modelos de transporte e de fechamento por serem de concepção diferente, são apresentadas as equações de cálculo com dados ou parâmetros para o caso do transporte, e a sugestão de custos médios unitários para o custo de fechamento.

Para os modelos uni e multivariável são apresentadas análises críticas dos resultados dentro de cada item correspondente.

## 4.2 Modelo Univariável para Estimação de Custos de Investimento e Operação em Aterros Sanitários

A proposta de modelo de estimação de custos de investimentos (implantação) e de operação para projetos de aterros sanitários esta dentro do objetivo inicial de desenvolvimento do mesmo através do ajustamento de curvas aos dados de “custo – capacidade”, disponibilizados na pesquisa, e adaptados a fase de pré-viabilidade. Dentro deste contexto se enquadram o tipo de estimação por “ordem de grandeza” (estágio de projeto de estudo conceitual e preliminar), e a técnica de estimação por “ajustamento exponencial” que considera o “efeito escala”. Desta forma a proposta se enquadra dentro do conceito das “*quick evaluations*”, ou avaliações rápidas para estudos de análise e tomada de decisões em nível de projeto preliminar. O nível ou grau de precisão buscado para os resultados do modelo gerado, dentro do cenário e objetivos expostos, está na faixa de -30% a +50%, conforme na Tabela 09, do item 2.4.1 do capítulo da revisão bibliográfica.

As equações do modelo univariável foram obtidas através de correlações tendo-se como variável independente a capacidade de recebimento diário de resíduos do aterro (Cap) e como variáveis dependentes ou de respostas, os custos, e foram realizadas com os dados dos bancos denominados B1 e B2. Estes bancos de dados foram escolhidos por serem os que apresentam o melhor detalhamento já que decompõe os custos de investimento e de operação em custos parciais ou componentes, e por terem a maior confiabilidade conforme descrito na análise crítica do capítulo precedente. Esta decomposição é uma necessidade também para poder desenvolver convenientemente um modelo de estimação de custos pela técnica de ajuste “custo x capacidade” de modo a diminuir as incertezas que são maiores quanto maior for a generalização dos dados.

### 4.2.1 Custos de investimentos (fase de construção ou implantação do aterro sanitário)

A estimação do custo com investimento para os aterros sanitários esta realizada para as estimações parciais dos seguintes custos:

- a) Custos com estudos iniciais – Cest;
- b) Custos com infra-estrutura – Cinf;
- c) Custos com preparação – Cpr;
- d) Custos com segurança e controle ambiental – Camb;

A descrição dos itens que compõem cada um destes custos está no item 3.3 do capítulo precedente. Para o custo de estudos iniciais – *Cest*, Figura 35, conclui-se que a correlação é boa com  $R^2$  de 0,90 e a dispersão ou espalhamento dos dados é aceitável, notando-se apenas um ponto anômalo, o correspondente à *Cap* de 2000 t/dia, que o ajuste considerou com um *outlier* e, portanto não está influenciando no resultado.

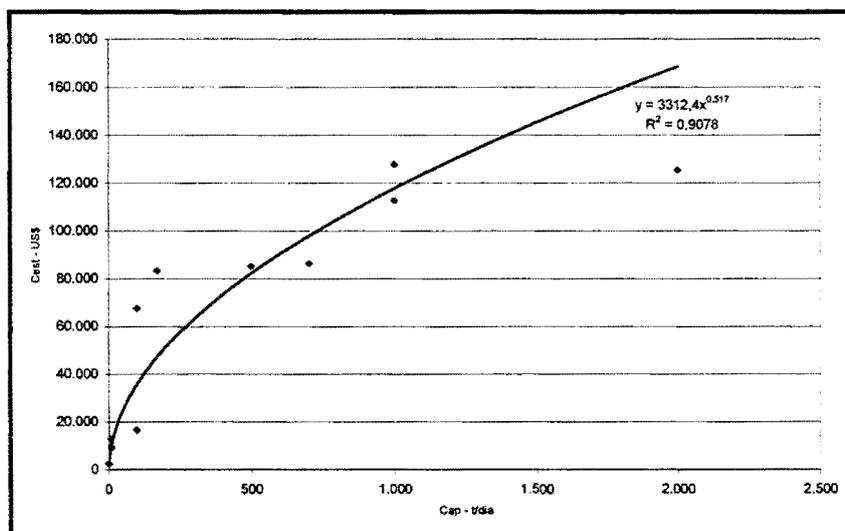


Figura 35- Gráfico de correlação ou ajuste *Cest* (custo com estudos e projetos iniciais - US\$) x *Cap*(capacidade do aterro sanitário- t/dia)

Os custos com a implantação da infra-estrutura – *Cinf* (figura 36) apresentam uma dispersão de dados muito menor que o precedente, custo com estudos iniciais - *Cest*, indicando por sua vez uma coerência e consistência maior dos dados. Possuem uma correlação menor com  $R^2$  em 0,87, mas também considerado bom.

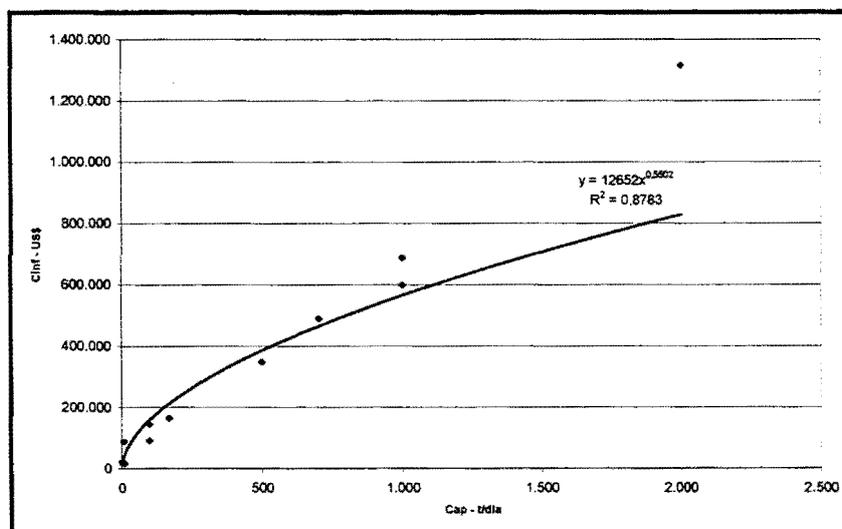


Figura 36- Gráfico de correlação ou ajuste *Cinf* (custo com infra-estrutura- US\$) x *Cap*(capacidade do aterro sanitário- t/dia)

Novamente observa-se que o ponto correspondente à capacidade diária de 2000 t/dia aparece como um *outlier*, porém não influi sobre o resultado, sendo que testes de regressão foram feitos para outros tipos de equações tais como o ajuste por uma reta, mas a melhor correlação ainda permaneceu com o tipo exponencial.

A correlação mostrada na figura 37, custo de preparação - Cpr x capacidade do aterro - Cap, apresenta grande dispersão de pontos, demonstrando um baixo nível de correlação entre as variáveis analisadas. Quando se observa a variável Cap = 1000 t/dia conclui-se que possui dois valores com uma diferença de cerca de US\$ 4,4 milhões, indicando que a amostra 9B2 (assinalada na Figura 37) possui problema de origem para Cpr, devendo neste momento ser descartada e verificando-se o resultado modificado, que é mostrado na figura 38. Importante considerar aqui a questão da variabilidade do sistema, ou seja, quanto maior a “variância das amostras, melhor a significância dos resultados das análises para os modelos”. Quer-se dizer que, o fato de se suprimir nesta análise esta amostra, poderá levar a uma variabilidade menor, mas, porém, aqui especificamente, “enxerga-se” um problema no dado coletado, salientando-se que não se refere a alguma diferença de característica técnica já que existe relativa homogeneidade entre os dados. Este tipo de observação, onde se aplica a experiência do autor para aperfeiçoar o sistema deve ser empregada e é muitas vezes mencionada no estudo de Nagle 1988, para o Modelo de O’Hara, assim como no estudo para o Modelo de Taiwan (Weng, 2001).

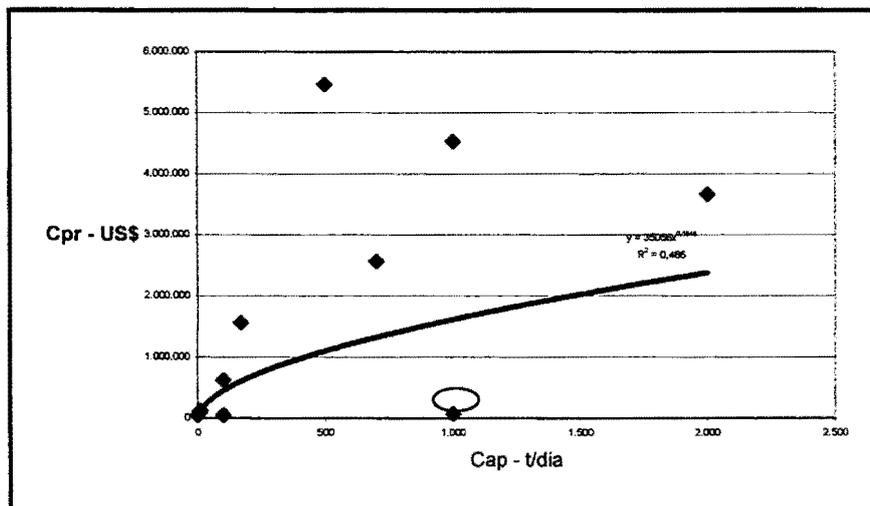


Figura 37 - Gráfico de correlação ou ajuste Cpr (custo com preparação - US\$) x Cap (capacidade do aterro sanitário - t/dia)

A figura 38 mostra como ficou a correlação sem a amostra 9B2, podendo-se concluir que houve uma relativa melhora, passando o  $R^2$  para 0,76, porém ainda há um

ponto bem “disperso” do sistema correspondente à capacidade 500 t/dia que será mantido no sistema, já que não parece ter uma significativa influência no resultado final do modelo para a variável custo de preparação - Cpr.

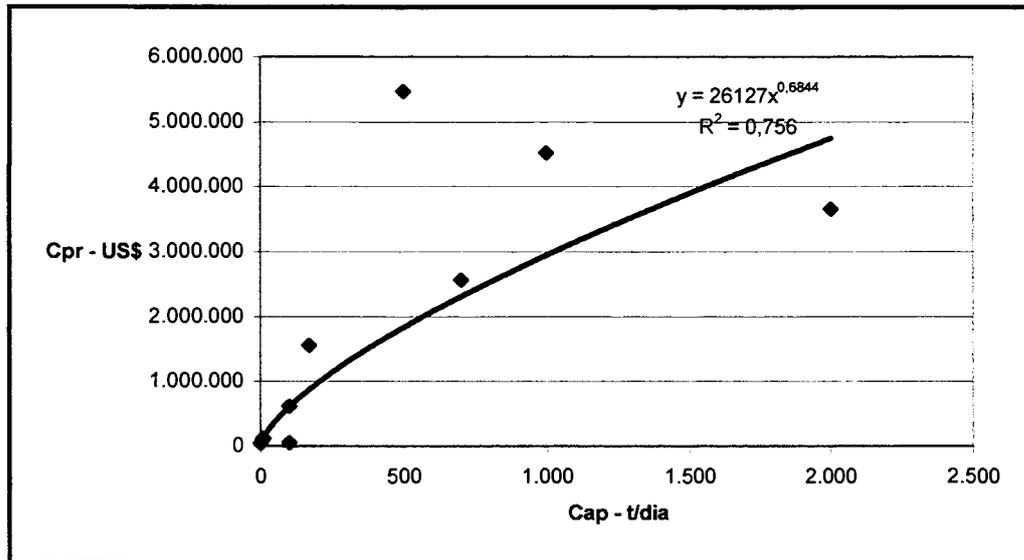


Figura 38 - Gráfico de correlação ou ajuste modificado  $Cpr$  (custo com preparação - US\$) x  $Cap$  (capacidade do aterro sanitário - t/dia);

Continuando-se nas correlações para os custos de investimento, a Figura 39 mostra custo com segurança e meio-ambiente -  $Camb$  x capacidade do aterro -  $Cap$ . Observa-se que duas amostras apresentam anomalias, com valores muito discrepantes ou dispersos da linha ou curva de correlação, o que leva a decisão de retirá-las o que mostra a Figura 40.

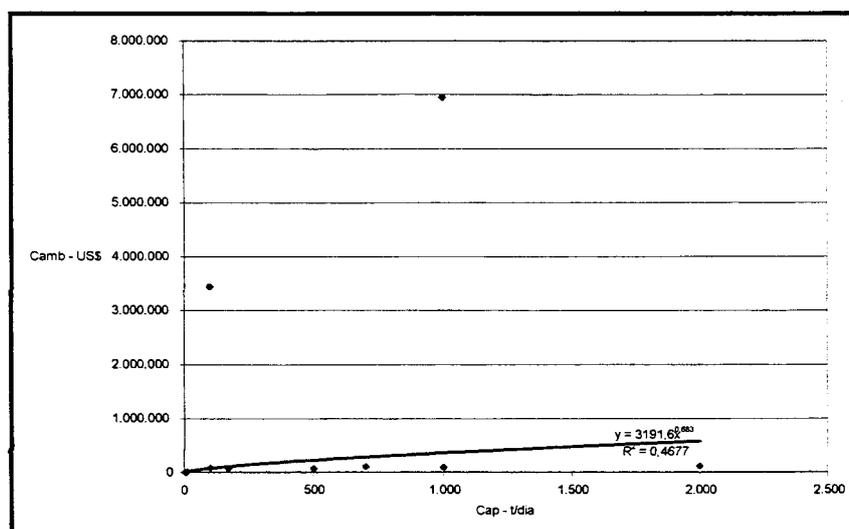


Figura 39- Gráfico de correlação ou ajuste  $Camb$  (custo com meio ambiente - US\$) x  $Cap$  (capacidade do aterro sanitário - t/dia);

Portanto, a correlação passa de  $R^2$  0,47 para 0,91 embora ainda com alguma dispersão, porém com amostras mais consistentes.

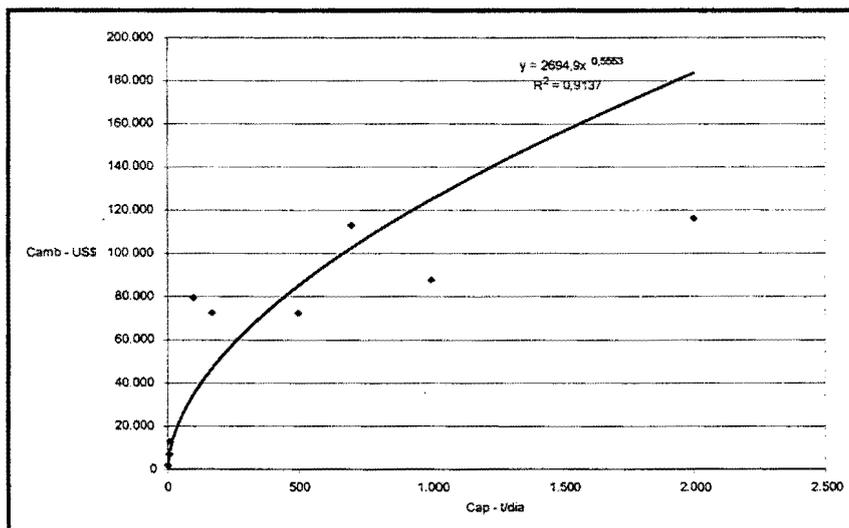


Figura 40 - Gráfico de correlação ou ajuste modificado *Camb* (custo com meio ambiente - US\$) x *Cap*(capacidade do aterro sanitário- t/dia);

#### 4.2.2 Custos de operação (fase de operação do aterro sanitário)

A correlação por ajuste exponencial para os custos de operação estão subdivididos em:

- a) *Cop* – custos operacionais propriamente ditos;
- b) *Cmo* – custos com mão de obra de operação;

A primeira correlação *Cop* x *cap*, Figura 41, demonstra um bom coeficiente de determinação  $R^2$ , de 0,98, aparecendo apenas um ponto mais disperso correspondente à *Cap* de 2000 t/dia da amostra 11B1. Novamente, esta amostra apresenta valor discrepante das demais, indicando problemas de origem.

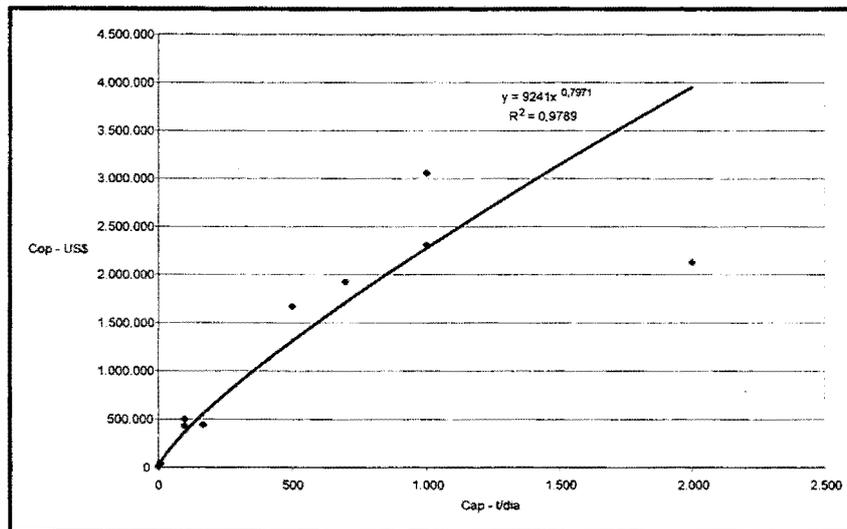


Figura 41- Gráfico de correlação ou ajuste  $Cop$  (custo operacional - US\$) x  $Cap$  (capacidade do aterro sanitário- t/dia);

A Figura 42 mostra então a correlação obtida para custo com mão de obra -  $Cmo$  x capacidade do aterro -  $Cap$ , também demonstrando bom coeficiente de determinação de 0,91, significando que a existe boa correlação entre as variáveis. Dois pontos aparecem como dispersos do grupamento, ou seja, para as capacidades de 700 t/dia e 2000 t/dia mas não estão influenciando no conjunto para esta correlação.

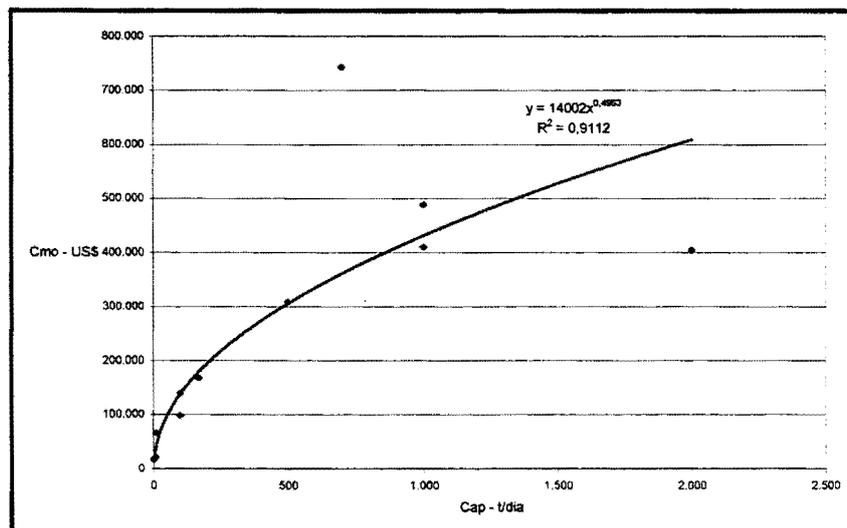


Figura 42- Gráfico de correlação ou ajuste  $Cmo$  (custo mão de obra - US\$) x  $Cap$  (capacidade do aterro sanitário- t/dia);

#### 4.2.3 Análise Crítica do Modelo Univariável

A Tabela 17 resume os resultados das correlações analisadas, onde se pode comparar os coeficientes de determinação  $R^2$  e respectivos índices de correlação  $R$ , e verificar as equações resultantes.

Tabela 17 - Síntese dos resultados obtidos das correlações “*Custos x Cap*” – univariável

Custo correlacionado com <i>Cap</i>	$R^2$ Coeficiente de determinação	$R$ Coeficiente de correlação	Equação do ajuste de regressão
Cest	0,9078	0,9528	$Cest=3312,4Cap^{0,517}$
Cinf	0,8783	0,9372	$Cinf=12652Cap^{0,5502}$
Cpr	0,756	0,8709	$Cpr=26127Cap^{0,6844}$
Camb	0,9137	0,9559	$Camb=2694,9Cap^{0,5553}$
Cop	0,9789	0,9894	$Cop=9241Cap^{0,7971}$
Cmo	0,9112	0,9546	$Cmo=14002Cap^{0,4963}$

Conclui-se da análise da Tabela 17, que os melhores resultados de correlação foram obtidos para os custos operacionais (Cop) no grupo dos custos de operação e, para o grupo dos custos de investimento, a melhor correlação ficou com os custos de controle ambiental e segurança (Camb). Isto pode ser explicado pelo fato de Camb não possuir uma composição complexa e conter itens muito bem definidos e de fácil contabilidade, levando a aumentar sua confiabilidade na obtenção. Quanto ao Cop, a composição é bem conhecida na teoria de contabilidade de custos e sua composição é bem controlada pelos administradores, o que leva a se ter também uma maior coerência e menor dispersão.

O menor índice de correlação foi obtido com Cpr, ou custos de preparação dos aterros sanitários, onde pode ocorrer a influência de fatores associadas às diferenças de faixa de capacidade do aterro, e também a fatores de características de terreno principalmente. Porém, há que se salientar que não se pode concluir que uma  $R^2$  de 0,7584 seja pequena para o sistema e o setor analisado, já que estudos similares publicados consideram aceitáveis valores em níveis mais baixos para modelos de estimação envolvendo o setor de resíduos sólidos urbanos e aterros sanitários (Weng & Chang, 2001).

Para uma análise dos coeficientes de correlação médios fizeram-se as curvas resultantes de *CI (custo de implantação ou de investimento) = Cest (custo com estudos iniciais) + Cinf (custo com infra-estrutura) + Cpr (custo com preparação) + Camb (custo com segurança e gestão ambiental) e CO (custo de operação) = Cop*

(custos operacionais)+  $C_{mo}$  (custo com mão de obra), que estão apresentadas nas Figuras 43 e 44.

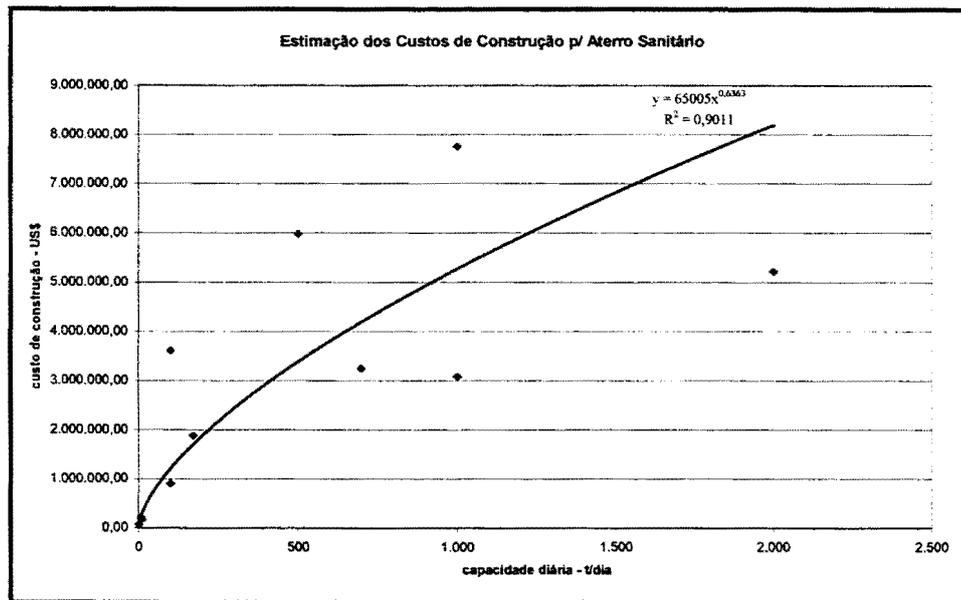


Figura 43 – Curva resultante do custo total de investimento (CI – US\$) x capacidade do aterro (Cap – t/dia)

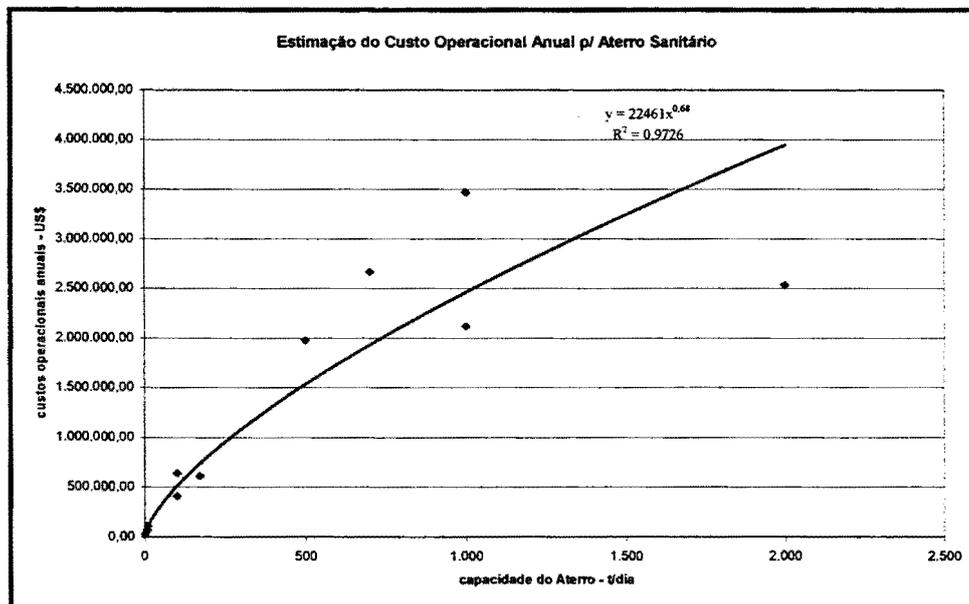


Figura 44 – Curva resultante do custo total de operação (CO – US\$) x capacidade do aterro (Cap – t/dia)

Os coeficientes de determinação resultante do ajuste da curva exponencial para o CI e CO, respectivamente 0,9011 e 0,9726 indicam uma boa correlação entre os custos e a capacidade, confirmando mais uma vez a viabilidade do modelo.

Para verificar o nível de erro médio obtido no modelo, apresentam-se a seguir os gráficos da disposição dos pontos “valor modelo” x “valor da amostra” (Figuras 45 e 46) para verificar a dispersão em torno da reta ideal de 45°, e a Tabela 18 com os erros obtidos.

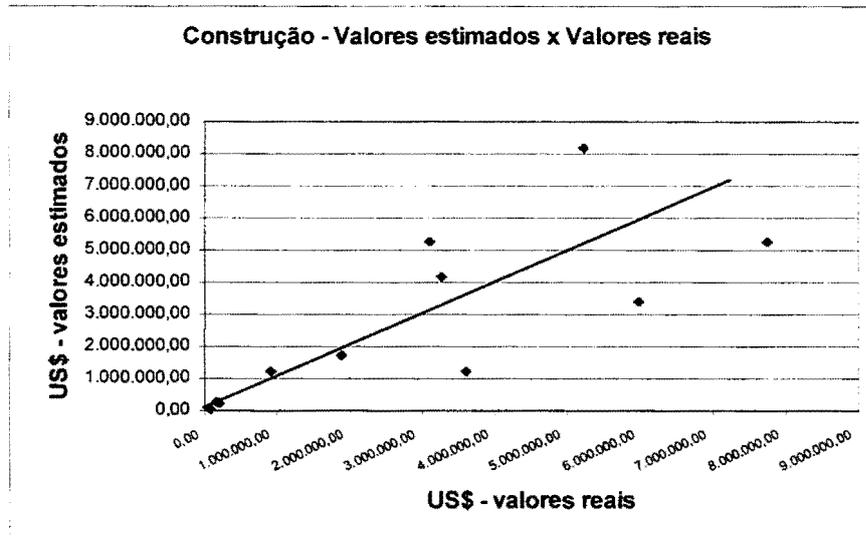


Figura 45 – Gráfico “valor modelo x valor da amostra” para o custo total de investimento (CI);

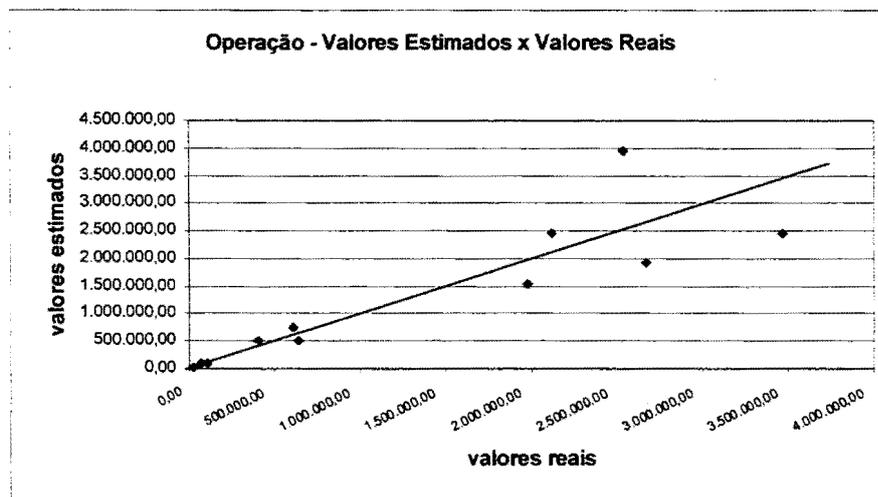


Figura 46 – Gráfico “valor modelo x valor da amostra” para o custo total de operação (CO);

Tabela 18 – Erro médio para CI e CO (modelo univariável)

Tipo de custo	Erro médio do modelo univariável	
	a menor	a maior
CI	- 31,6	+ 46,2
CO	- 16,0	+ 31,0

Conclui-se portanto da análise dos resultados de correlação e erros, que o modelo proposto esta aceitável para as condições e objetivos iniciais adotados no presente trabalho, ou seja “*estudo para geração de modelo estimacional de custos de aterros sanitários em nível de escopo inicial, em fase de projeto de pré-viabilidade, onde são aceitos erros da ordem de -30% a 50%*”.

#### **4.3 Modelo Multivariável para Estimação de Custos de Investimento e Operação em Aterros Sanitários**

Tendo em vista uma complementação ao modelo univariável e dar ao modelo como um todo uma abrangência maior, agregando um universo de dados mais completo e a possibilidade da influência de outras variáveis sobre os custo que não somente a variável “capacidade”, é que foi gerado o modelo multivariável elaborado com auxílio da ferramenta computacional denominada Unscrambler já descrita na revisão bibliográfica.

Para isto então se utilizou o denominado “banco misto” resultante da composição dos dados do banco B3 e E1, do Brasil e de Taiwan, o qual esta apresentado na tabela 19 e contém 08 variáveis e 55 amostras. A análise sobre a composição do banco de dados misto já foi descrita no item 3.3 do capítulo precedente.

Para o desenvolvimento do modelo multivariável, inicialmente procedeu-se a análise dos *Principals Components Analysis – PCAs (Unscrambler)*, para verificação da relação das variáveis e a importância de cada uma na “identificação do fenômeno”, ou do modelo. O resultado desta avaliação pode ser resumido nas seguintes conclusões (gráfico da Figura 47):

- a) Há importante relação entre CI (custo total de implantação), CO (custo total de operação) e Cap (capacidade do aterro sanitário), confirmando a presença do chamado “efeito escala”;
- b) A Cap (capacidade do aterro sanitário) possui grande significância com o sistema analisado, sendo a que condiciona a PC1(Principal Componente 1 da PCA – Análise de Componentes Principais) na teoria da análise multivariável ;
- c) TLx, tratamento do lixiviado, que representa TP (tratamento primário), TS (tratamento secundário), TT (tratamento terciário) com valores 1,2,3 respectivamente, e valor 0 quando não existe tratamento, tem coerência maior com Cap (capacidade do aterro sanitário) do que a Are (área do aterro) com Cap;
- d) A variável BG (biogás) não aparece como importante para o modelo, com baixa relação sobre CI (custo total de implantação), CO (custo total de operação), Cap (capacidade do aterro sanitário) e Are (área do aterro);

Tabela 19– Base de dados “mista” montada a partir dos bancos de dados Brasil 3 e Taiwan, sem sub-amostra para validação e sem outliers.

Cap	CI	CO	Are	TP	TS	TT	BG
1	70.793,98	26.609,92	0,28	1	0	0	0
8	206.512,29	68.084,99	1,20	1	0	0	0
10	166.989,78	109.514,68	0,80	1	0	0	0
100	3.607.033,14	638.649,01	16,40	0	1	0	0
100	911.513,66	522.956,55	15,00	0	1	0	0
170	1.882.762,95	609.022,20	14,00	0	1	0	0
500	5.976.368,26	1.979.336,41	20,00	0	1	0	0
700	3.253.882,78	2.668.277,07	7,00	0	1	0	0
1000	7.755.238,36	3.468.191,28	12,00	0	1	0	0
1000	5.419.848,87	2.794.601,42	25,00	0	1	0	0
2000	5.218.111,32	2.533.456,68	35,00	0	1	0	0
70	3.888.551,67	470.887,41	5,30	0	0	0	0
25	1.690.223,11	151.166,20	9,26	0	1	0	0
65	1.093.274,72	93.413,43	0,96	0	1	0	0
6	264.105,96	163.103,67	0,80	1	0	0	1
55	1.022.959,26	106.312,96	8,15	1	0	0	1
30	3.142.712,87	556.211,67	8,50	1	0	0	0
15	1.510.481,48	84.291,67	1,40	1	0	0	0
145	5.077.663,89	221.119,63	8,40	1	0	0	0
45	2.835.175,00	120.983,33	4,00	0	1	0	0
50	421.832,96	102.440,74	1,20	0	1	0	0
35	568.842,04	344.791,48	2,53	0	0	0	0
8	583.603,70	59.419,41	1,20	0	0	0	0
150	2.137.041,67	133.119,44	1,20	0	0	0	0
50	2.604.651,85	217.773,15	84,00	0	0	0	0
55	535.772,31	105.360,65	6,73	0	1	0	0
40	1.033.247,41	55.130,37	1,54	0	0	0	0
100	1.531.983,33	648.329,63	4,45	0	1	0	0
100	2.438.933,33	197.011,11	8,90	1	0	0	0
25	597.250,93	22.973,61	0,87	0	1	0	0
110	2.460.885,37	293.555,37	8,91	1	0	0	0
89	933.725,00	118.910,59	3,70	0	0	0	0
60	3.994.906,81	456.733,33	10,00	1	0	0	1
16	1.223.335,11	53.442,96	0,88	0	1	0	0
13	1.443.011,31	47.199,87	2,63	0	1	0	0
50	2.343.179,26	426.149,07	3,50	0	0	0	0
40	385.199,22	44.099,26	1,20	0	0	0	0
42	825.391,56	211.026,67	0,10	0	0	0	0
60	2.342.056,94	367.540,00	4,43	1	0	0	1
20	217.474,07	19.235,19	0,60	0	0	0	0
2,5	812.635,42	91.885,79	25,00	0	1	0	0
60	1.302.247,22	888.231,11	3,66	0	1	0	0
110	3.604.887,78	38.681,30	58,79	0	1	0	0
40	1.967.592,59	458.937,04	3,50	0	1	0	0
200	2.031.562,96	50.748,15	3,76	0	0	0	0
37,5	3.244.843,52	1.225.133,33	6,92	0	1	0	1
97	1.012.412,96	1.783.149,20	2,70	0	1	0	0
100	1.777.265,00	438.379,63	2,09	0	1	0	0
35	639.625,00	328.550,19	0,72	0	1	0	1
80	4.322.911,11	167.028,15	3,50	1	0	0	0
45	2.254.511,67	18.799,17	3,03	0	1	0	0
35	3.196.484,50	799.404,54	3,00	0	1	0	0
450	11.838.516,67	1.048.475,00	3,74	0	1	0	0
1400	13.179.911,11	2.144.203,70	18,00	0	0	1	0
350	6.614.416,67	223.345,37	3,03	0	0	0	0

Cap – capacidade do aterro em t/dia; CI- custo de implantação em US\$; CO-custo de operação anual em US\$; Are- área do aterro em hectares; TP/TS/TT – tratamento primário, secundário e terciário do lixiviado; BG- reaproveitamento do gás como Biogás;

A variável TLx, tipo do tratamento do lixiviado, foi aberta em três tipos, a saber:

- TP - inclui a recirculação com aeração mecânica;
- TS – inclui sistema de Clarificação adicional, além de tanques de aeração e equalização;
- TT – inclui sistemas de tratamento mais avançados com filtração e carvão ativado e ainda outros tipo flotação;

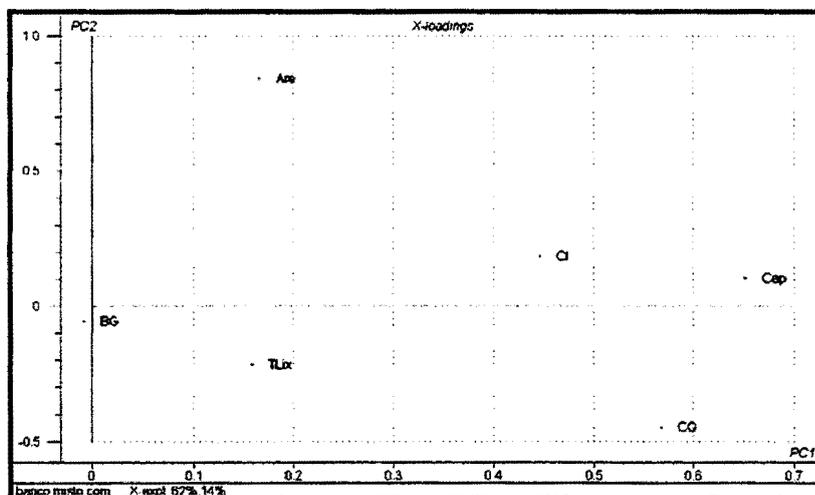


Figura 47 – Gráfico dos *loadings* com todas as variáveis existentes no sistema e simplificando os tratamentos do lixiviado em TLx;

A variação dos valores da variável TLx (tratamento do lixiviado), demonstrou certa coerência com a variação dos valores de Cap (capacidade do aterro), com uma distribuição de valores maiores à direita do gráfico e menores à esquerda (gráfico da Figura 48), indicando que o tipo de tratamento do lixiviado pode realmente influir nos custos finais de implantação e operação de aterros sanitários. Cabe salientar que a variável “tipo de tratamento do lixiviado” foi considerada relevante no estudo apresentado no modelo gerado para Taiwan (Weng & Chang, 2001).

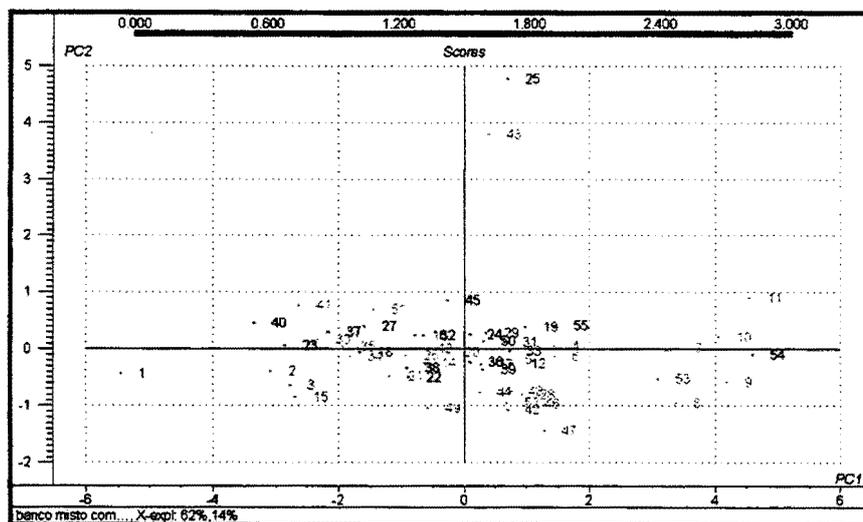


Figura 48 - Gráfico dos *scores* com todas as amostras em função da escala de valores da variável TLx;

Em função destas observações retirou-se do sistema a Are e BG, decompondo TLx em TP,TS,TT, resultando que a explicação da variabilidade passa de 76% para 87%. O número de PCs sugerido ficou o mesmo, ou seja, 04, porém esta última têm uma explicação bem maior com 03 PCs.

Em função de todas estas conclusões a partir da análise das *PCAs*, decidiu-se gerar a análise de regressão (*PLS – Unscrambler*) para Cap (capacidade do aterro), TP (tratamento primário do lixiviado), TS (tratamento secundário do lixiviado) e TT (tratamento terciário do lixiviado), como “variáveis x”, para correlacionar com CI (custo total de implantação) e CO (custo total de operação) como “variáveis Y.

Os resultados estão mostrados na tabela 20 e figura 49.

Tabela 20 – Resumo dos resultados para os *PLS- Unscrambler* ;

	Regressão para CI	Regressão para CO
Normalização realizada	Logaritmo natural- ln	Logaritmo natural- ln
Qtde. de PCs	02	02
Coefficiente de correlação – R	0,76	0,70
Coefficiente de determinação – R <sup>2</sup>	0,58	0,49
Fórmula geral	CI=Cap <sup>0,5782</sup> * exp(0,1997TP+0,060468TS+0,065207TT+11,8102)	CO=Cap <sup>0,6014</sup> * exp(0,3846TP+0,7356TS+0,066889TT+9,42)
Fórmula com incidência da participação % de cada tipo de tratamento no banco de dados (23,6%, 49,1% e 1,8%)	CI=Cap <sup>0,5782</sup> *145.709	CO=Cap <sup>0,6014</sup> *19.665

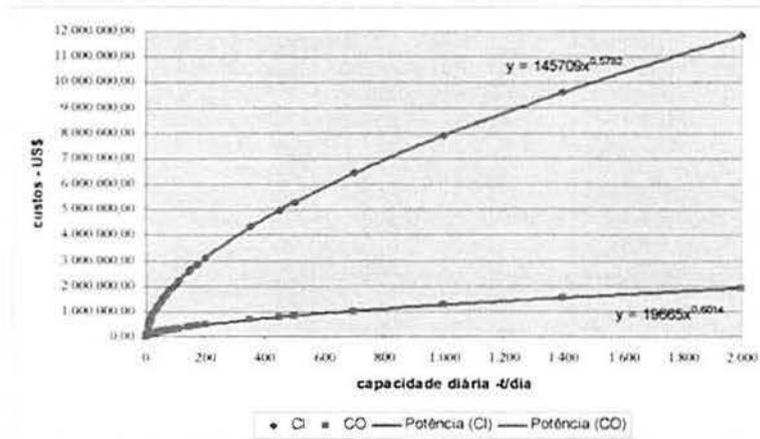


Figura 49 – Gráfico de regressão de CI e CO e Cap, para os modelos multivariáveis;

#### 4.3.1 Análise Crítica do Modelo Multivariável

Em termos de validação das estimações via equações geradas na análise multivariável, procedeu-se à comparação entre os “valores reais (da sub-amostra retirada para validação)” e os “valores estimados pelas equações de ajuste multivariável”, o que permitiu o cálculo dos erros médios. A sub-amostra foi obtida das 20 últimas amostras presentes no banco misto e correspondente ao banco E1, e foi previamente analisada no PCA para verificar a presença de *outliers* ou amostras que possam dar ao sistema problemas ou “ruídos”, e que foram eliminadas para se realizar a comparação de modo mais real possível.

O resultado obtido está mostrado nos gráficos das Figuras 50 e 51:

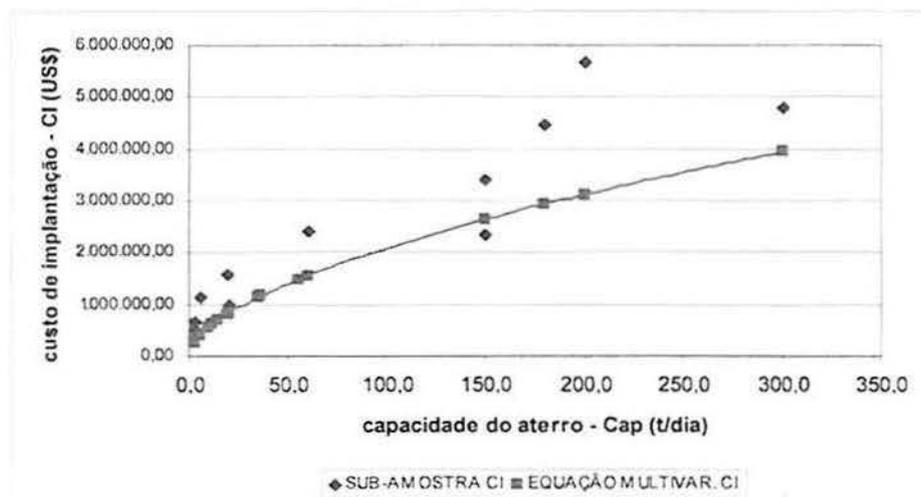


Figura 50 – Resultado da validação da estimação de CI – custo total de implantação (US\$) x Cap - capacidade do aterro sanitário (t/dia);

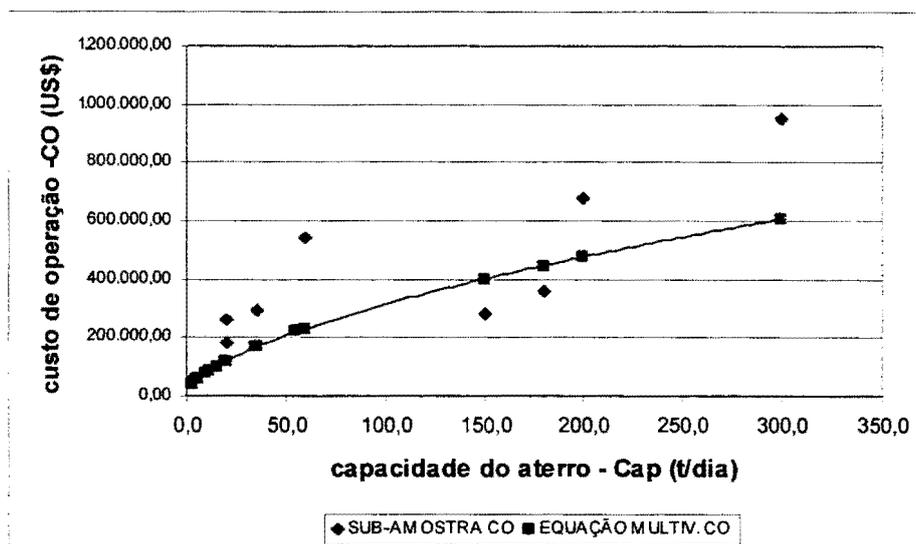


Figura 51 – Resultado da validação da estimacão de CO – custo total de operacão (US\$) x Cap – capacidade do aterro sanitário (t/dia);

Os erros médios obtidos nesta análise entre valores obtidos com o modelo multivariável e valores das amostras estão na Tabela 21.

Tabela 21 - Erro médio para CI e CO (modelo multivariável);

Tipo de custo	Erro médio do modelo multivariável	
	a menor	a maior
CI	- 36,0	+ 13,6
CO	- 39,5	+ 32,5

A conclusão deste resultado é que predomina um erro maior do modelo para valores abaixo ou menores que os dados amostrais, tanto para CI (custo total de implantaco) quanto para CO (custo total de operacão), o que leva a concluir sobre a influência no sistema em relato  presença das variáveis TP (tratamento primário do lixiviado), TS (tratamento secundário do lixiviado) e TT (tratamento terciário do lixiviado), ou seja, a participacão percentual destas no banco de dados misto está “puxando” o modelo para uma tendência a valores mais baixos que os amostrados. A análise das equacões da tabela 20 – “fórmula geral”, juntamente com os percentuais de TP, TS e TT, respectivamente, 23,6%, 49,1% e 1,8%, ressalta esta influência. Há que se salientar que a dispersão das amostras de dados de custo está indicando a existência de algum fator que está elevando os valores a níveis mais altos e pode estar inserindo um

“ruído” no sistema, e o modelo final está equilibrando ou compensando, através da fórmula resultante da regressão multivariável, tornando-o mais realista. Portanto, é razoável considerar aceitável o modelo multivariável dentro das condicionantes de nível de erros adotadas no trabalho, ou seja, -30% e +50%, já que os valores excedentes a este intervalo, de 6 a 9% no limite inferior (-30%), estão explicados dentro desta constatação. Importante também constatar que para os aterros sanitários talvez seja mais adequado considerar uma extrapolação do limite inferior de erro aceitável para -40%.

Há que considerar também que quando da utilização ou emprego do modelo, o analista do projeto irá inserir a participação percentual de cada tipo de tratamento do lixiviado que pretende implantar no seu aterro sanitário a ser estudado, e que isto condicionará o resultado de forma a torná-lo mais realista.

#### **4.4 Modelo para estimação dos custos com “transporte” aos Aterros Sanitários**

Para os custos de transporte também a disponibilidade de dados divulgados foi um problema enfrentado na pesquisa realizada. Encontraram-se bancos de dados divulgados em estudos na bibliografia especializada no exterior, conforme apresentado no item 3.3.2, porém quase todos, com poucas exceções, se referiam ao “custo de coleta e transporte”, ou seja, não eram dados de transporte propriamente ditos. E aqui, faz-se observação importante com referência ao estudo, de que não se está considerando no modelo o “custo de coleta”, conforme já mencionado em capítulo anterior, já que não faz parte, ou melhor, não está dentro dos limites das “condições de contorno” do estudo. A coleta é um tema complexo e que, por si só, merece uma tese a parte.

Tendo em vista, portanto, esta dificuldade em obter dados de custos de transporte disponibilizados, decidiu-se pela geração de um modelo de cálculo baseado no dimensionamento de frota de veículos de transporte a partir de variáveis e parâmetros obtidos junto a fontes especializadas do setor, ou seja, Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre – DMLU e Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT.

Assim portanto, foram empregadas as seguintes fórmulas e respectivos parâmetros de cálculo, para a obtenção do número de veículos necessários e após para o cálculo do custo do transporte:

a) **Dimensionamento da frota:**  $N_v = (\text{Cap} \times T_c) / (m \times C \times T_o)$ , onde :

- .  $N_v$  – número necessário de veículos;
- .  $\text{Cap}$  – quantidade de resíduos a ser transportada diariamente (t);
- .  $T_c$  – tempo de ciclo completo do veículo para carga, transporte ao aterro, descarga, retorno (horas);
- .  $m$  – massa específica do resíduo ( $t/m^3$ );
- .  $C$  – capacidade de carga do veículo ( $m^3$ );
- .  $T_o$  – tempo de operação diária da frota (horas);

Os dados disponíveis são os seguintes:

- .  $m = 0,48 t/m^3$
- .  $C = 15 m^3$  ou  $C = 40 m^3$  (duas opções de veículos)
- .  $T_o = 8$  horas / dia
- .  $T_c = (D / V_c) + T_d + (D / V_v)$ , sendo:
  - o  $D$  – distância do aterro sanitário em relação ao município;
  - o  $V_c$  – velocidade de transporte do veículo carregado, sendo considerado o valor médio de 30 km/h;
  - o  $T_d$  – tempo médio de descarga no aterro, sendo considerado o valor médio de 40 min ou 0,7 h ;
  - o  $V_v$  – velocidade de retorno do veículo vazio, sendo considerado o valor médio de 60 km/h;

Portanto, a equação a) resultante segundo os critérios e parâmetros conhecidos:

$$N_v = (\text{Cap} \times ((D / 30) + 0,7 + (D / 60))) / (0,48 \times C \times 8), \text{ ou,}$$

. **Para veículos de  $15m^3$  de capacidade:**

$$N_v = (\text{Cap} \times ((D / 30) + 0,7 + (D / 60))) / 57,6$$

. **Para veículos de  $40m^3$  de capacidade:**

$$N_v = (\text{Cap} \times ((D / 30) + 0,7 + (D / 60))) / 153,6$$

Os resultados são obtidos com inserção das variáveis de estimação para cada caso a ser analisado, ou seja,  $\text{Cap}$  e  $D$ , respectivamente, a capacidade diária de resíduos e a distância ao aterro.

b) **Custo unitário por tonelada de resíduos do transporte até o aterro sanitário:**

$$C_t = ((C_f + (C_v \times d)) \times N_v) / \text{Cap}, \text{ sendo :}$$

- Ct – custo de transporte por tonelada de resíduo (US\$/t);
  - Cf – custo fixo dia do transporte por veículo (US\$/dia);
  - Cv – custo variável transporte por veículo (US\$/km);
  - d – distância total percorrida por dia e por veículo (km), sendo:  
 $d = (\text{número de viagens} = ((\text{Cap} \times 0,48) / (\text{Nv} \times C)) \times (\text{distância de ida e volta ao aterro} = 2D))$ ;
  - Nv – número de veículos calculado pelas equações a) resultantes, para cada caso, ou seja, veículos de 15m<sup>3</sup> ou de 40m<sup>3</sup>;
  - Cap – capacidade diária gerada de resíduos a serem transportados;
- Os parâmetros conhecidos para custos segundo as fontes citada são:
- Cf – US\$ 350,00/dia para 40m<sup>3</sup> e US\$ 178,00/dia para 15m<sup>3</sup>;
  - Cv – US\$ 1,0101/km para 40m<sup>3</sup> e US\$ 0,8081/km para 15m<sup>3</sup>;

A equação resultante b) é a seguinte:

. **Para veículos de 15m<sup>3</sup> de capacidade:**

$$Ct = ((178,00 + (0,8081 \times ((\text{Cap} \times 0,48) / (\text{Nv} \times 15)) \times 2D))) \times \text{Nv} / \text{Cap}$$

. **Para veículos de 40m<sup>3</sup> de capacidade:**

$$Ct = ((350,00 + (1,0101 \times ((\text{Cap} \times 0,48) / (\text{Nv} \times 40)) \times 2D))) \times \text{Nv} / \text{Cap}$$

Analisando-se o modelo gerado para cálculo estimativo do transporte de resíduos até ao aterro, conclui-se:

- . O modelo permite a testagem ou verificação dos custos para diferentes distâncias (D) de prováveis áreas para aterros e diferentes capacidades (Cap) ou taxas de geração diária de resíduos, permitindo a análise de diversas alternativas;
- . O modelo também permite a verificação das diferenças de custos caso se opte por veículos ou caminhões de pequena capacidade (15m<sup>3</sup>) ou de grande capacidade (40m<sup>3</sup>), permitindo a decisão sobre o nível de investimento para a frota escolhida;

Portanto, conclui-se que este tipo de modelo fornece uma flexibilidade de estimativas dentro das diversas opções ou alternativas que se queira ou necessite analisar para a tomada de decisão no que tange a melhor alternativa na distância do

aterro para uma determinada capacidade de geração de resíduos para o município ou para também um consórcio de municípios.

#### **4.5 Modelo para estimação dos custos com “fechamento” de Aterros Sanitários**

O “fechamento” dos Aterros Sanitários é um tema recente, principalmente no Brasil. Esta questão está mais desenvolvida no exterior, principalmente na Europa, onde as imposições legais da Diretiva Europeia relacionada à destinação final dos resíduos sólidos urbanos obrigam prever 30 anos de monitoramento.

Os estudos de custos envolvidos nesta fase não estão bem divulgados e consolidados e o que se obtém são valores e informações esparsas. Estes abordam mais as questões técnicas envolvidas com segurança da população e preservação do meio-ambiente. A conclusão a que se chegou na pesquisa realizada é que ainda não existe uma “memória” de dados estabelecida para o tema.

O presente estudo, no que se refere a este item, se limita a apresentar valores médios dos principais estudos que se teve acesso, e que são relativos à Espanha (Allem, 2006) e aos Estados Unidos (Ayalon, 2005).

O “fechamento” de um Aterro Sanitário envolve duas etapas distintas:

- a) Restauração: refere-se aos trabalhos necessários ao restabelecimento das condições de equilíbrio do sítio ou do local onde se instalou e se operou o aterro, envolvendo basicamente a *impermeabilização e o plantio de espécies vegetais*;
- b) Manutenção e controle: refere-se aos trabalhos necessários ao acompanhamento e manutenção das condições de segurança e preservação do meio-ambiente, envolvendo *Tratamento dos gases, Tratamento do lixiviado, Monitoramento geotécnico, Monitoramento dos piezômetros*;

A tabela 22 apresenta uma estimação destes custos, baseada na pesquisa bibliográfica e consultas realizadas, onde se condensou todos os dados de custos retirados das fontes indicadas. Todos os custos incluem mão de obra, materiais, administração e encargos pela execução das respectivas atividades.

Tabela 22 - Dados de custos com “fechamento” de aterros sanitários de RSU;

restauração US\$/m <sup>2</sup>	manutenção e controle - US\$/ano		
		menor que 300 t/dia	maior que 300 t/dia
plântio - 3	monitoramentos - 2600	5300	
impermeabilização - 11	tratamento lixiviado - 6300	25200	
total - 14	total - 8900	30500	

fontes: Allern, 2006 (Espanha); Ayalon, 2005 (EUA)

Pode-se afirmar que a ordem de grandeza esta na faixa de precisão de -30% a 50%, porém, neste caso, os custos unitários utilizados foram obtidos pela média dos custos unitários de diversos casos com capacidades diferentes.

Para o caso da etapa de “manutenção e controle” ou de “monitoramento”, conseguiu-se obter médias dos custos unitários para duas faixas de capacidade de aterros sanitários, abaixo de 300 t/dia e acima de 300 t/dia. Observa-se que a capacidade de 300 t/dia corresponde a municípios brasileiros com população na faixa de 200.000 a 500.000 habitantes. Esta capacidade significa um limiar entre “pequenos municípios” e “grandes municípios”, sendo importante esta situação durante a fase dos “estudos preliminares”, quando será empregado o modelo.

Os dados da “restauração” foram transformados para “US\$/m<sup>2</sup>” porque todo o trabalho nesta fase se refere à superfície ou área (ha ou m<sup>2</sup>) que foi ocupada pela atividade do aterro, ficando fácil extrapolar para outros casos a se estimar, bastando ter em mãos a superfície do novo aterro. Importante porém salientar que a área em “m<sup>2</sup>” equivale “a superfície útil realmente ocupada pela disposição dos resíduos e que foi degradada pela atividade”, não estando inserida a superfície ocupada pela infra-estrutura de apoio (oficinas, escritórios, almoxarifado, portaria, balança).

#### 4.6 Conclusão e Síntese do Modelo Final Gerado

O Modelo final gerado para estimação de custos em aterros sanitários esta composto em 04 partes principais, ou seja:

- a) Estimação de custos detalhados de implantação e operação para aterros sanitários através da correlação univariável “custos x capacidade do aterro”;
- b) Estimação de custos totais de Implantação e Operação para aterros sanitários através da correlação multivariável “custos x capacidade do aterro e tipo de tratamento do lixiviado”;

- c) Estimação de custos de transporte aos aterros sanitários através de modelo de cálculo de dimensionamento de frota e estimação de custos fixos e variáveis;
- d) Estimação de custos de fechamento de aterros sanitários através de dados de custos unitários por tipo de atividade;

A figura 52 mostra esquema em bloco diagrama que resume bem a composição final do Modelo.

A composição dos custos detalhados na realidade é a abertura dos custos de implantação e de operação, sendo que a diferença esta na concepção, ou seja, a “estimação dos custos detalhados” foi gerada em função de um banco de amostra menor, porém com maior detalhamento, e os resultados são baseados em apenas uma variável de controle, a capacidade diária do aterro.

Já a “estimação dos custos totais” de implantação e operação, que englobam todos os custos detalhados, foi gerada em função de um conjunto de amostras maior, a partir de uma análise multivariável, com duas variáveis de controle, capacidade do aterro e tipo de tratamento do lixiviado.

A tabela 23 apresenta a síntese de toda a composição do modelo, informando além das equações de estimação por tipo de custo e nível de detalhamento do modelo, também o intervalo de validade e as premissas ou condições de aplicação, as quais devem ser levadas em consideração quando da aplicação.

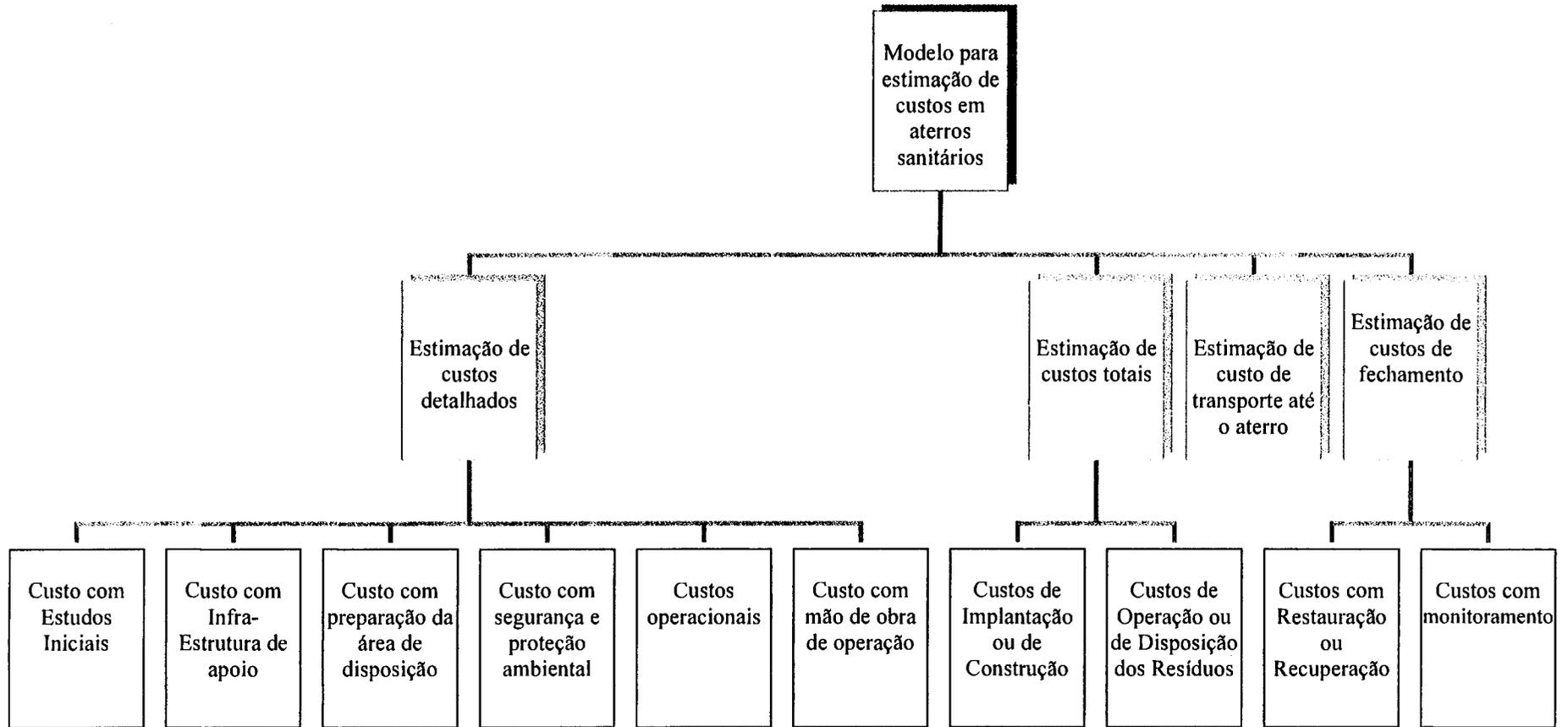


Figura 52 - Esquema em bloco diagrama da composição final do Modelo;

Tabela 23 – Síntese dos componentes do Modelo completo e condições de aplicabilidade;

Tipos de custo	Variável de controle	Equação de estimação	Intervalo de validade	Premissas ou condições de aplicação
1. estudos iniciais	t/dia residuo	$C_{est}=3312,4Cap^{0,517}$	1 a 2000 t/dia	- Sem custo de aquisição da área ou terreno; - Utilização de equipamentos terceirizados; - Tratamento do lixiviado do tipo primário (TP) até 300 t/dia, e tipo secundário (TS) acima;
2. infra-estrutura	t/dia residuo	$C_{inf}=12652Cap^{0,5502}$	1 a 2000 t/dia	
3. preparação	t/dia residuo	$C_{pr}=26127Cap^{0,6844}$	1 a 2000 t/dia	
4. segur.m.ambiente	t/dia residuo	$C_{amb}=2694,9Cap^{0,5553}$	1 a 2000 t/dia	
5. Total implantação	t/dia residuo	$CTI=65005*Cap^{0,6363}$	1 a 2000 t/dia	
6. operação anual	t/dia residuo	$C_{op}=9241Cap^{0,7971}$	1 a 2000 t/dia	
7. mão-de-obra na.	t/dia residuo	$C_{mo}=14002Cap^{0,4963}$	1 a 2000 t/dia	
8. Total de operação	t/dia residuo	$CTO=22461*Cap^{0,68}$	1 a 2000 t/dia	
9. implantação	t/dia residuo e tipo de tratamento lixiviado	$CI=Cap^{0,5782} * \exp(0,1997TP+0,060468TS+0,065207TT+11,8102)$	1 a 5000 t/dia	- Sem custo de aquisição da área ou terreno; - Utilização de equipamentos terceirizados;
10. operação anual	t/dia residuo e tipo de tratamento lixiviado	$CO=Cap^{0,6014} * \exp(0,3846TP+0,7356TS+0,066889TT+9,42)$	1 a 5000 t/dia	- Participação %: TP- TS- TT-
11. transporte	t/dia residuo, distância do aterro(km) e capacidade veiculo	$C_t = ((178,00 + (0,8081 * (((Cap * 0,48) / (Nv * 15)) * 2D))) * Nv) / Cap$ $C_t = ((350,00 + (1,0101 * (((Cap * 0,48) / (Nv * 40)) * 2D))) * Nv) / Cap$	- 1 a 2000 t/dia - 15 m <sup>3</sup> e 40 m <sup>3</sup> - 01 km a 200 km	- Equipamentos de transporte próprios;
12. fechamento	m <sup>2</sup> da área útil	Valores médios de acordo c/tabela 28	De acordo c/tabela 28	- Equipamentos próprios;

É importante no estudo dos custos da gestão de resíduos sólidos a inclusão dos custos com “transporte dos mesmos”. Conforme já relatado no Capítulo 1, item 2.2, esta parcela da composição do custo global pode chegar a ter um peso importante na gestão e é neste ponto que incide a importância de sua avaliação conjunta ao modelo de estimação de custos de aterros sanitários. Conforme também descrito anteriormente, a situação atual vivida em quase todos os países desenvolvidos e em desenvolvimento, caso brasileiro, é o problema da “escassez de áreas” para implantação dos aterros, devido principalmente às “rígidas normas que estabelecessem os condicionantes básicos para que uma área possa ser objeto de aterro sanitário”. Esta questão somada a outra exigência normativa de que os aterros sanitários de RSU devem ter uma área de disposição para no mínimo 10 anos de vida útil, restringe ainda mais a seleção de sítios para este fim. A tendência atual é portanto, que as áreas escolhidas estejam localizadas mais afastadas dos centros urbanos, e conseqüentemente os custos com transporte incidirão em percentual importante na gestão, ou seja, a decisão sobre as alternativas locais não recairá apenas sobre a questão custos de implantação e operação dos aterros e sim, sobre também à questão “custo do transporte do resíduo até o aterro”. Por isto a importância de inserção deste item no estudo e concepção do modelo.

## **Capítulo 5 – Adaptação Informática dos Modelos e Testes de Validação**

### **5.1 Introdução**

O capítulo apresenta na primeira parte o “*software*” ou programa resultante da adaptação informática dos modelos gerados, onde se demonstra passo a passo o seu funcionamento de modo sucinto e claro, ilustrando com as telas do programa, tendo em vista o bom entendimento do usuário. O principal objetivo do programa foi de dar a maior rapidez e facilidade de utilização, permitindo rápidas simulações.

A segunda parte do capítulo tem fundamental importância no contexto do trabalho, já que são apresentados os resultados decorrentes das validações, ou seja, as comparações entre valores reais, ou das amostras, e valores obtidos pelos modelos gerados, empregando-se o “*software*” desenvolvido e apresentado na primeira parte. O objetivo principal das validações é de demonstrar que os modelos resultantes ficaram adequados aos objetivos iniciais do trabalho em termos da precisão adotada. Ao final faz-se uma análise crítica destes resultados.

### **5.2 Adaptação Informática – Software**

A adaptação informática dos modelos de estimação gerados foi concebida de modo bem compacto e de simples acesso pelo usuário, tornando mais rápido o entendimento e a visualização dos resultados. Desta forma fica facilitada a execução de quantas forem as estimações que se deseja realizar com agilidade e rapidez, o que vai ao encontro do objetivo das “*quick evaluations*”.

Já na tela inicial do programa é possível visualizar todos os cálculos disponíveis, permitindo o rápido acesso as janelas, separadamente, ou seja:

- a) Estimação de custo “Detalhado de Implantação”, que corresponde ao modelo univariável “custo (US\$) x capacidade do aterro sanitário (t/dia)”;
- b) Estimação de custo “Detalhado de Operação”, que corresponde ao modelo univariável “custo (US\$) x capacidade do aterro sanitário (t/dia)”;
- c) Estimação de custo “Totais”, que corresponde ao modelo multivariável “custo (US\$) x capacidade do aterro sanitário (t/dia) e tipo do tratamento do lixiviado”;

- d) Estimação do custo com “Transporte”, que corresponde ao modelo de cálculo dos custos de transporte do resíduo ao aterro;
- e) Estimação do custo com “Fechamento”, que corresponde ao modelo de estimação de custos globais após o encerramento do aterro sanitário;

Na parte superior da tela o programa permite inserir o título da simulação que o usuário deseja para seu controle posterior de comparação de resultados testados. Logo abaixo aparecem os campos de entrada para os dados iniciais que o programa utiliza em todos os cálculos das estimativas, e que são dois basicamente, ou seja, a “População” do município em número de habitantes e a “Capacidade” do aterro em t/dia. Não há necessidade de se ter em mãos os dois dados, sendo que inserindo apenas um dos dois o programa irá executar as simulações e fornecer os resultados. Se para um determinado município só se conhecer a população estimada para o mesmo pode-se obter a capacidade diária média que o aterro sanitário deve ter. Esta correlação entre “população e capacidade do aterro” esta baseada nos dados obtidos das pesquisas realizadas pelo IBGE e pela CETESB e apresentadas na tabela 01, do capítulo 2 da Revisão Bibliográfica.

O programa permite também que o usuário faça as modificações nos resultados dos valores de custo estimados, podendo ajustá-los de acordo com seu interesse, seu objetivo na estimação ou também de acordo com sua experiência, tornando mais particular ou específico as suas simulações. Dentro de todas as janelas os resultados são fornecidos em US\$ / ano e em US\$ / t de resíduo, com exceção dos custos de transporte que são fornecidos somente em US\$ / t e de fechamento que são em US\$ / t e US\$ / m<sup>2</sup>.

Quanto aos custos com transporte o programa permite simulações de acordo com a distância do município até o aterro e do tipo ou capacidade do caminhão de transporte a ser utilizado, que pode ser de pequeno porte (15 m<sup>3</sup>) ou de grande porte (40 m<sup>3</sup>), porém isto é a critério do usuário de acordo com seu interesse.

As figuras 53 a 58 mostram exemplos de simulações para os custos detalhados de implantação, de operação, custos totais e com transporte, para alguns casos de aterros sanitários utilizados nos testes de validação apresentados no item 5.3 a seguir.

### 5.2.1 Exemplo de simulação para custos detalhados de implantação (modelo univariável)

A Figura 53 ilustra o resultado da aplicação do modelo para uma simulação para o caso de Jundiaí/SP, onde se obtêm os valores dos custos detalhados de implantação para Estudos Iniciais – Cinf, Infra Estrutura de Apoio – Cinf, Preparação – Cpr, e Segurança de Proteção Ambiental – Camb, e o correspondente CI – custo total de implantação ou de investimento para o caso testado. Para os custos citados o Software também fornece os respectivos custos unitários por tonelagem de resíduo a ser disposto no aterro sanitário.

Jundiaí / SP			
População (habitantes)	Capacidade do aterro (t/dia)		
166667	100		
Detalhado de Implantação    Detalhados de Operação    Totais    Transporte    Fechamento			
	Valores Estimados (US\$/ano)	Valores Usuário (US\$/ano)	Valores em US\$/t
Estudos Iniciais	35.021,42		0,1
Infra Estrutura de Apoio	159.426,01		0,44
Preparação	641.709,42		1,76
Segurança e Prot. Ambiental	34.765,03		0,1
<b>Custo Total de Implantação</b>	<b>871.721,89</b>	<b>871.721,89</b>	<b>2,39</b>

Figura 53- Tela resultante da simulação para os custos detalhados de implantação (modelo univariável);

### 5.2.2 Exemplo de simulação para custos detalhados de operação (modelo univariável)

A Figura 54 ilustra o resultado da aplicação do modelo para uma simulação para o caso de Jundiaí/SP, onde se obtêm os valores dos custos detalhados de operação para Mão de Obra – Cmo e Custos operacionais – Cop, e o correspondente CI – custo total de implantação ou de investimento para o caso testado. Para os custos citados o Software também fornece os respectivos custos unitários por tonelagem de resíduo a ser disposto no aterro sanitário.

**Jundiá / SP**

População (habitantes): 166667      Capacidade do aterro (t/dia): 100

Detalhado de Implantação    **Detalhados de Operação**    Totais    Transporte    Fechamento

	Valores Estimados (US\$/ano)	Valores Usuário (US\$/ano)	Valores em US\$/t
Mão de obra	137.954,32		3,77
Custos Operacionais	363.010,32		9,99
<b>Custo Total de Operação</b>	<b>500.964,71</b>	<b>500.964,71</b>	<b>13,72</b>

Figura 54 - Tela resultante da simulação para os custos detalhados de operação (modelo univariável);

### 5.2.3 Exemplo de simulação para custos totais (modelo multivariável)

A Figura 55 ilustra o resultado da aplicação do modelo para uma simulação para o caso de Porto Alegre/RS, onde se obtêm os valores dos custos totais, ou seja, custos de implantação (CI) somados ao custos de operação (CO) para o caso de tratamento a nível terciário do lixiviado (TT). Para os custos citados o Software também fornece os respectivos custos unitários por tonelagem de resíduo a ser disposto no aterro sanitário.

**Porto Alegre / RS**

População (habitantes): 1150000      Capacidade do aterro (t/dia): 1150

Detalhado de Implantação    **Detalhados de Operação**    Totais    Transporte    Fechamento

	Valores Estimados (US\$/ano)	Valores Usuário (US\$/ano)	Valores em US\$/t
Implantação ou Construção	10.967.527,92		2,61
Operação ou Disposição dos Resíduos	2.800.940,63		6,67
<b>Custos totais</b>	<b>13.768.468,54</b>	<b>13.768.468,54</b>	<b>9,29</b>

Valores considerando a participação dos níveis de tratamento do lixiviado

Tratamento Primário     Tratamento Secundário     Tratamento Terciário

Figura 55 - Tela resultante da simulação para os custos totais com tratamento do lixiviado a nível terciário (modelo multivariável);

Já a Figura 56 apresenta o mesmo tipo de simulação aplicado ao caso do município de Caxias do Sul/RS, porém considerando que o aterro sanitário tem apenas o tratamento do lixiviado até o nível secundário (TS).

**Estimativa de Custos em Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos**

**Caxias do Sul / RS**

População (habitantes): 134500      Capacidade do aterro (t/dia): 276.7

Detalhado de Implantação    Detalhes de Operação    Totais    Transporte    Fechamento

	Valores Estimados (US\$/ano)	Valores Usuário (US\$/ano)	Valores em US\$/t
Implantação ou Construção	4.119.605,69		4,77
Operação ou Disposição dos Resíduos	1.012.496,5		11,72
<b>Custos totais</b>	<b>5.132.102,19</b>	<b>5.132.102,19</b>	<b>16,49</b>

Valores considerando a participação dos níveis de tratamento do lixiviado:

Tratamento Primário     Tratamento Secundário     Tratamento Terciário

Figura 56 - Tela resultante da simulação para os custos totais com tratamento do lixiviado a nível secundário (modelo multivariável);

#### 5.2.4 Exemplo de simulação para custos de transporte do resíduo ao aterro sanitário

A Figura 57 ilustra o resultado da aplicação do modelo para uma simulação para o caso de Porto Alegre/RS, onde se obtêm o valor do custo de transporte considerando a distância até o aterro e o porte do veículo de transporte. O Software fornece o custo unitários por tonelagem de resíduo e a frota ou quantidade de veículos necessários.

**Estimativa de Custos em Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos**

**Porto Alegre / RS**

População (habitantes): 115000      Capacidade do aterro (t/dia): 1.150

Detalhado de Implantação    Detalhes de Operação    Totais    Transporte    Fechamento

Distância ao aterro (Km): 80      Capacidade do veículo de transporte: Caminhão de 40 m<sup>3</sup>

Frota: 36      Veículos

Custos de transporte: 17,9      US\$/t

Figura 57 - Tela resultante da simulação para os custos com transporte;

### 5.2.5 Exemplo de simulação para custos de fechamento do aterro sanitário

A Figura 58 ilustra o resultado da aplicação do modelo para uma simulação para o caso de Porto Alegre/RS, onde se obtêm o valor dos custos de fechamento unitários considerando a área superficial e o porte do aterro, que no caso fica acima de 300 t/dia. O Software fornece também os custos totais anuais com manutenção e controle e os com restauração por unidade de área superficial.

Porto Alegre / RS													
População (habitantes)	Capacidade do aterro (t/dia)												
1150000	1.150												
Detalhado de Implantação   Detalhes de Operação   Totais   Transporte   <b>Fechamento</b>													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Valores Estimados (US\$/ano)</th> <th>Valores Usuário (US\$/ano)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Monitoramento</td> <td>5.300</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Tratamento do Lixiviado</td> <td>25.200</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><b>Total manutenção e controle</b></td> <td><b>30.500</b></td> <td><b>30.500</b></td> </tr> </tbody> </table>		Valores Estimados (US\$/ano)	Valores Usuário (US\$/ano)	Monitoramento	5.300	<input type="checkbox"/>	Tratamento do Lixiviado	25.200	<input type="checkbox"/>	<b>Total manutenção e controle</b>	<b>30.500</b>	<b>30.500</b>
	Valores Estimados (US\$/ano)	Valores Usuário (US\$/ano)											
Monitoramento	5.300	<input type="checkbox"/>											
Tratamento do Lixiviado	25.200	<input type="checkbox"/>											
<b>Total manutenção e controle</b>	<b>30.500</b>	<b>30.500</b>											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Valores Estimados (US\$/m<sup>2</sup>)</th> <th>Valores Usuário (US\$/m<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plano</td> <td>3</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Impermeabilização</td> <td>11</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><b>Total restauração</b></td> <td><b>14</b></td> <td><b>14</b></td> </tr> </tbody> </table>		Valores Estimados (US\$/m <sup>2</sup> )	Valores Usuário (US\$/m <sup>2</sup> )	Plano	3	<input type="checkbox"/>	Impermeabilização	11	<input type="checkbox"/>	<b>Total restauração</b>	<b>14</b>	<b>14</b>
	Valores Estimados (US\$/m <sup>2</sup> )	Valores Usuário (US\$/m <sup>2</sup> )											
Plano	3	<input type="checkbox"/>											
Impermeabilização	11	<input type="checkbox"/>											
<b>Total restauração</b>	<b>14</b>	<b>14</b>											

Figura 58 - Tela resultante da simulação para os custos com fechamento;

### 5.3 Testes de validação do modelo aplicando o “Software”

A validação consiste nas comparações entre dados considerados como “reais” e os “respectivos valores obtidos através da aplicação do modelo desenvolvido”.

Os testes de validação apresentados a seguir estão divididos em duas tabelas:

- tabela 24, onde se apresenta a comparação dos resultados do modelo em relação a dados divulgados em seminários, estudos, licitações e na mídia especializada;
- tabela 25, onde se apresenta a comparação dos resultados do modelo em relação a dados divulgados pela pesquisa do SNIS – Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS, 2005);

Na Tabela 24, os dados foram coletados da divulgação de órgãos de controle governamental, como é o caso da CETESB-Jundiaí e de Prefeituras Municipais através de Editais de Licitações Públicas do setor de saneamento e resíduos urbanos. As capacidades dos

aterros apresentam um intervalo bem abrangente, desde porte pequeno (20 t/dia) até porte grande (1150 t/dia). Para estes casos não se tem disponível outros tipos de variáveis utilizadas no modelo, pressupondo-se com segurança que os custos com aterros sanitários não incluem investimentos em unidades de recuperação e geração de energia através do biogás (BG) e, quanto ao tipo de tratamento do lixiviado (TLx), pressupõe-se os tipos primário e secundário como predominantes. Desta forma julga-se procedente a “aplicação do modelo de estimação de custos detalhados” Conforme observação dos resultados da tabela 24, as diferenças percentuais ou “os erros dos valores obtidos pelo modelo em relação aos valores reais”, não ultrapassam -33% e +26,1%, o que é um bom resultado para as condicionantes do modelo. Há que se ressaltar também que os dados “reais” estão de acordo com as premissas do modelo, de “não aquisição da área” e de “utilização de equipamentos terceirizados”.

Tabela 24 - Teste de validação do modelo comparando com valores divulgados em estudos, seminários, licitações;

Município	Tipo de dado divulgado	Fonte	Capacidade e do aterro t/dia	Valor divulgado (US\$/t)	Valor modelo (US\$/t)	Diferença % (modelo - real)	Parte do modelo utilizada
Jundiaí/SP (consórcio de municípios)	Custo total aterro sanitário (implant.+oper.)	CETESB – Jundiaí/SP Maio/2005	20	44,00	29,58	-33	Custos detalhados
	Custo total aterro sanitário (implant.+oper.)	CETESB – Jundiaí/SP Maio/2005	100	17,50	16,11	-7,9	Custos detalhados
	Custo total aterro sanitário (implant.+oper.)	CETESB – Jundiaí/SP Maio/2005	400	12,00	11,1	-7,5	Custos detalhados
Vacaria/RS	Custo de operação anual (sem monitor. e trat. Lixiv.)	Prefeitura de Vacaria/Edital de licitação-Out/2006	25	14,36	14,03	-2,3	Custos detalhados
Porto Alegre/RS	Custo de transporte +disposição no aterro	Prefeitura de Porto Alegre/DML U Nov/2006	1.150	17,61	22,20	+26,1	Custos de transporte ao aterro e custos detalhados

Na Tabela 25 se tem dados divulgados por uma pesquisa oficial do governo brasileiro, Ministério das Cidades (SNIS, 2005) e específica ao tema do saneamento e gestão de resíduos sólidos urbanos que vem sendo atualizada ano a ano. Portanto, os dados têm um grau de

confiabilidade satisfatório para o objetivo de “testagem” do modelo. Neste caso se dispõe de três tipos de dados ou de variáveis integrantes do modelo, ou seja:

- custo total, CT em US\$/t de resíduo;
- existência ou não de instalação de recuperação de biogás para geração de energia (BG);
- tipo de tratamento do lixiviado (TLx);

Selecionaram-se 17 amostras da pesquisa pelo critério de disponibilidade de variáveis, ou seja, aquelas onde se dispunha das variáveis acima citadas.

Quanto ao modelo optou-se por utilizar-se o “modelo de custos totais” (multivariável), devido a se ter estas outras informações, TLx (tratamento do lixiviado) e BG (biogás), além da variável de custo total por tonelada de resíduo urbano.

Tabela 25- Teste de validação do modelo em comparação com dados divulgados pela pesquisa do SNIS;

município	t resid./ano	t res./dia	CT RS/t (2004)	CT US\$/t(2007)	BG (biogás)	TLx (trat.Lixiviado)	CT US\$/t MODELO	% MODELO - SNIS
1. Anápolis	62395	170,95	20,80	10,26	0	1	11,54	12,53
2. Caxias do Sul	86400	236,71	20,00	15,96	0	2	16,49	3,29
3. Curitiba	640799	1755,61	11,23	8,96	0	2	7,32	-18,32
4. Dourado	3404	9,33	50,17	40,04	0	2	61,19	52,81
5. Duque de Caxias	2016063	5523,46	5,16	4,12	1	2	4,60	11,74
6. Feira de Santana	107644	294,92	19,49	15,56	0	3	16,12	3,61
7. Goiânia	387258	1060,98	14,98	11,96	0	2	8,98	-24,91
8. João Pessoa	271472	743,76	14,16	11,30	0	2	10,37	-8,27
9. Nova Lima	15945	43,68	25,89	20,66	0	2	32,71	58,30
10. Ribeirão Preto	139174	381,30	10,95	8,74	0	3	14,52	66,19
11. Rio de Janeiro	1041592	2853,68	12,90	10,30	1	2	6,01	-41,60
12. Salvador	896364	2455,79	26,88	21,45	0	3	6,83	-68,17
13. Santo André	181686	497,77	19,77	15,78	0	2	12,20	-22,69
14. Santo Antônio Jesus	21380	58,58	25,00	19,95	0	2	29,04	45,55
15. São Paulo - Band.	1430563	3919,35	23,34	18,63	1	3	5,65	-69,66
16. Serra	72511	198,66	20,04	15,99	0	2	17,70	10,67
17. Uberlândia	112343	307,79	19,28	15,39	0	3	14,82	-3,67

O resultado obtido pode ser melhor visualizado no gráfico da Figura 59.

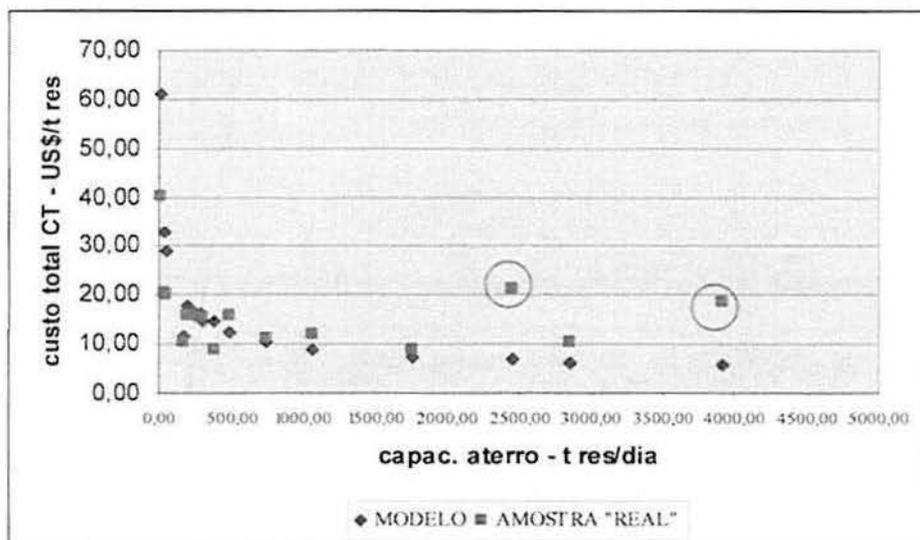


Figura 59 – Gráfico de dispersão comparativo entre os valores da pesquisa “SNIS” (amostra “real”) e os do modelo;

As conclusões da análise destes resultados são as seguintes:

- Ocorrem 8 amostras com diferenças negativas, ou seja, valores do modelo menores que os valores da pesquisa SNIS, com uma média de 32,2%, portanto, no limite de -30% de erro condicionado para o modelo;
- Ocorrem 9 amostras com diferenças positivas, ou seja, valores do modelo maiores que os da pesquisa, com uma média de 29,41%, ou seja, bem abaixo do limite condicionado ao modelo, de +50%;
- O modelo fornece uma ótima distribuição de resultados em relação aos “reais”, para mais e para menos, fornecendo uma curva praticamente de “pontos médios” em relação à distribuição dos pontos da amostra “real”, o que pode bem ser visualizado no gráfico da figura 59;
- Há três amostras em que os valores praticamente são iguais se considerarmos que o nível de diferença ficou em torno dos 3%, e isto perfaz a cifra significativa de 18% da amostragem;
- Os pontos ou valores mais “anômalos” que ficaram com as amostras 12 e 15 (assinalados no gráfico com um círculo), com diferenças de 66% e 69%, respectivamente, correspondentes aos aterros sanitários das capitais de Salvador e São Paulo que podem certamente serem explicados por conterem algum tipo de custo excedente ou “anormal” podendo até conter custos relativos à “recuperação e fechamento dos aterros”, já que são aterros antigos e se tem

conhecimento que o de São Paulo (Bandeirantes) já esta com sua capacidade praticamente esgotada;

#### **5.4 Conclusão**

Pode-se concluir que o *software* desenvolvido atingiu plenamente o objetivo de dar ao usuário simplicidade de utilização e agilidade na obtenção dos resultados. A forma como esta apresentado, ou seja, em tela única com possibilidade de visualização de todas as janelas possíveis, onde cada uma corresponde a cada modelo, fornece um fácil entendimento para usuário. Diversas simulações são possíveis com apenas três dados básico de entrada, ou seja, população do município, capacidade do aterro sanitário e distância do transporte, abrindo-se ainda a possibilidade de testar resultados para três níveis de tratamento do lixiviado e para dois tipos de caminhões ou veículos de transporte.

Quanto às simulações apresentadas conclui-se que foram bem abrangentes já que as comparações foram feitas para diversos casos de aterros sanitários utilizando-se dados ou valores reais de fontes diversas e confiáveis, destacando-se a pesquisa do próprio governo brasileiro. Demonstrou-se na análise que os resultados ficaram a níveis aceitáveis dentro dos objetivos do trabalho.

## Capítulo 6 – Conclusões e Comentários Finais

### 6.1 Conclusões

1. Os aterros sanitários apresentam uma estrutura de custos com componentes bem definidos, podendo ser generalizada para todos os portes ou tamanhos de acordo com a capacidade diária de recebimento dos resíduos, com duas fases bem distintas, inicial ou de construção e a de operação durante sua vida útil. Quanto ao termo empregado para referenciar a fase inicial, foram encontrados dois tipos, ou seja, “custos de construção” e “custos de implantação”, sendo que o primeiro é muito mais empregado. Uma constatação importante é a de que *“o termo investimento é muito raramente empregado”* sendo que a explicação mais razoável encontrada é a de que *“não se faz referência aos aterros sanitários como empreendimentos com conotação financeira onde necessariamente tenha que existir o aspecto da rentabilidade financeira”*;
2. Foi possível compor bancos de dados de custos com ênfase maior aos aterros sanitários onde se pode reunir uma amostragem com mais de 100 amostras, sendo talvez, o maior banco de dados que esteja sendo divulgado neste sentido atualmente. Outros bancos de dados menores foram possíveis de se reunir no trabalho, porém mais gerais quanto às alternativas envolvidas na gestão de resíduos, mas que também são importantes como fontes de consulta e referência para outros trabalhos no setor;
3. As técnicas de análise e estimação de dados adotadas se adequaram muito bem ao caso em estudo, com ênfase ao *“ajuste exponencial, devido ao efeito escala que ficou claramente evidenciado para o caso dos aterros sanitários”*. Outra técnica utilizada na análise de dados que foi a *“análise multivariável através de PCA e PLS”*, também foi uma ferramenta muito valiosa que ajudou a entender os *“fenômenos existentes no sistema analisado com suas relações entre amostras e variáveis”*.
4. Ficou evidenciado pela análise da inter-relação entre amostras e variáveis binárias relacionadas às *“características técnicas”*, que os fatores relacionados aos tipos de maciços rochosos presentes no local, ou seja, *sedimento (sed)*,

*argila (arg) ou ígnea (ign), “não têm influência significativa na composição dos custos de implantação e de operação dos aterros sanitários analisados no sistema e estes fatores não serão considerados nos resultados do modelo gerado”*. Evidentemente que o(s) analista(s) usuário deverá ter a sensibilidade de avaliar a existência *“de fatores extras ao modelo para aterros sanitários”* e que poderão ter uma influência nos custos final. Por exemplo, fica claro que os aterros sanitários não devem ser locados em terrenos sob maciços rochosos de natureza ígnea (granitos ou basaltos), e por esta razão não houve incidência desta variável na amostragem, comprovando ser uma variável que *“extrapola os limites do sistema analisado”*. Futuramente poderão ser agregados ao sistema fatores de correção que considerem a incidência de custos maiores para casos especiais, como o da instalação do aterro sanitário em áreas com presença de rochas ígneas remanescentes de cavas de pedreiras.

5. Também ficou evidenciado pela análise multivariável, *“que as variáveis relacionadas ao método de disposição do resíduo no aterro sanitário (ramp e cel) também não provocam influência significativa sobre os custos finais e mostraram ter uma correlação maior com o tipo de topografia do terreno (enc, plan e cav), sendo que estas também não confirmaram influência significativa para o sistema”*, não havendo, portanto, diferenciação quanto a esta questão nos condicionantes do modelo.
6. As conclusões dos itens 4 e 5 são adequadas ao *“nível de precisão requerido à fase de estudos de pré-viabilidade, para a qual o modelo foi gerado e deve ser aplicado”*, ou seja, as *“variações de custo que podem ser influenciadas pela presença destas características não têm significância para as decisões a serem tomadas com base na utilização do modelo”*.
7. Os tipos de gestões dos aterros sanitários (GAt) identificadas por gestão realizada pela prefeitura municipal (GM) e por empresa do setor privado (GP) não foram fatores que pesaram na variação dos custos, porém tiveram alguma relação com a variável capacidade do aterro (Cap);
8. Embora todas as variáveis que representam características técnicas dos aterros sanitários amostrados (plan, enc, cav, ramp, cel, arg, sai, sed), não tenham demonstrado influência sobre o sistema que baseou a geração do modelo, conforme conclusões 4 a 6, foram identificadas algumas relações entre elas e com as variáveis GAt e Cap, relatadas no item 3.4.3, importantes no

entendimento das influências em aterros sanitários e podem ajudar na tomada de decisão;

9. A variável *Are* (área do aterro sanitário) aparece como um fator de ordem secundária na influência do sistema multivariável, ou seja, não apresenta uma relação forte sobre os custos e também não apresenta uma correlação com a *Cap* (capacidade do aterro sanitário). A explicação para este fato parece estar na existência de “ruídos” na informação, e aparentemente existe um fator externo embutido nos valores que não se refere à “área útil” propriamente dita;
10. A presença ou não da recuperação e geração de energia através do gás gerado nos aterros (variável *BG*), não pesou no sistema porque a sua participação percentual em quantidade é muito baixa, existindo uma população muito pequena de aterros sanitários que possuem esta instalação. *Este fator deve ser considerado em uma análise econômica mais detalhada em estudos específicos que incluam a influência “da renda gerada pela venda da energia elétrica e ainda pelo cômputo dos “créditos de carbono” a serem obtidos”.*
11. A variável “custo de tratamento com lixiviado” (*TLx*) apresentou-se com alguma representatividade e influência no sistema, principalmente se analisada quanto peso ou participação dos seus componentes, *tratamento primário (TP), secundário (TS) e terciário (TT), e devido a importância deste custo nos aterros sanitários como um fator de “controle ambiental preponderante”, decidiu-se gerar a equação com base na análise multivariável, ficando demonstrado a boa aplicação da mesma;*
12. Quanto ao “custo de transporte” o modelo apresentado está baseado *em custos a nível de detalhamento em custos variáveis e fixos, levando em consideração tanto o fator “distância” como o “tonelagem de resíduo transportado”,* o que, apesar de não haver a disponibilidade estatística de um maior número de dados para se gerar um modelo pelo método de ajuste exponencial e tampouco para se validar o mesmo, *fornece ao modelo uma confiabilidade maior porque este método de detalhamento de custos é empregado para fases do empreendimento mais adiantadas onde se tem a posse de estudos e informações a nível mais avançado conforme é demonstrado na Tabela 09, item 2.4.1;*
13. Para o caso dos “custos de fechamento” dos aterros sanitário o modelo apresenta uma sugestão de estimação a nível de *escopo preliminar* que se considera como uma fase até *anterior a de pré-viabilidade* porque, pela falta

total de dados estatísticos e de estudos mais detalhados, só pode-se elaborar se baseando em “custos médios gerais baseados em exemplos isolados”, o que realmente nos fornece baixa confiabilidade e que ainda requer a agregação de mais dados à medida que forem surgindo divulgação de estudos a respeito. Porém considera-se que se fornece uma idéia bem razoável para se ter a sensibilidade sobre o peso futuro dos mesmos na avaliação de custos de aterros sanitários;

14. Na validação do modelo há que se dar especial ênfase às seguintes conclusões obtidas nos resultados:
  - a. Os dados apresentados como “reais” para efeito de comparação com os do “modelo” são fidedignos porém podem conter alguma imperfeição decorrente do atual momento que vive o setor analisado;
  - b. Todos os resultados ficaram abaixo do limite de precisão ou de erro superior de +50%;
  - c. Com relação ao limite inferior de -30% os resultados indicaram que para o caso dos aterros sanitários pode ser aceito uma extrapolação para - 40%, resultando então em um ajuste para o intervalo admissível de precisão para estudos em fase de escopo ou de pré-viabilidade, ficando entre - 40% e + 50%;
15. As vantagens e aplicações principais do modelo no contexto da gestão dos resíduos sólidos municipais são:
  - a. Embasar preços limites para os editais de licitações públicas lançados pelas prefeituras, evitando desperdício de dinheiro público;
  - b. Embasar linhas de financiamento e subsídios emitidos pelos governos a níveis municipais, estaduais e federais;
  - c. Auxílio ao estabelecimento de taxas municipais de “lixo” cobradas da população;
  - d. Definição dos custos a serem compartilhados entre os municípios na formação de consórcios;
  - e. Definição dos custos envolvidos nas PPP (parcerias público privadas);
  - f. Possibilidade de adaptação do modelo no *software* de rápida e fácil utilização;

Toda esta gama de aplicações práticas vai ao encontro do objetivo de auxiliar o desenvolvimento e otimização de aterros sanitários como forma de

contribuir a um melhor planejamento da gestão integrada dos resíduos sólidos municipais.

16. Finalizando, é importante concluir também sobre uma provável influência da variação das moedas empregadas nos valores de custo do estudo, ou seja, dólar americano (US\$), euro e real (R\$). O que se pode afirmar é que, qualquer correção ou ajuste deve passar primeiro por uma transformação para a moeda de interesse, ou seja, fazer a conversão de dólar para euro ou reais a partir das cotações à época do fechamento do estudo citadas no item 3.3, e após então uma atualização monetária considerando os índices de inflação respectivos para cada moeda convertida. A atual desvalorização do dólar americano frente o euro e o real, esta refletindo uma situação anômala de inflação nos Estados Unidos por conta de uma condição específica relacionada à questão das hipotecas do setor imobiliário, e que esta sendo revertida pelo governo deste país. A tendência é o dólar começar a reagir no câmbio e voltar aos níveis de conversão do final do ano de 2007, quando se terminaram os cálculos do presente estudo, recomendando-se cautela em qualquer correção dos valores.

## 6.2 Comentários Finais

Apesar das dificuldades encontradas ao longo do caminho percorrido no desenvolvimento da presente tese, o modelo de estimação de custos ficou bem fundamentado e comprovadamente sua eficácia certamente poderá ter uma grande utilização e aceitação no meio técnico, o que de certa forma, já foi comprovado em contatos com profissionais do setor e que já tiveram conhecimento do trabalho.

O modelo final, em todos os seus componentes, ficou relativamente mais simples que a idéia original que se tinha em mente, principalmente se comparado com o Modelo de O'Hara para a mineração. Isto porque a atividade dos aterros sanitários demonstrou ser muito mais simples. O'Hara teve que detalhar mais o seu modelo devido às "especificidades da mineração", o que já não acontece com os aterros sanitários e esta foi uma das principais constatações obtidas no transcorrer do trabalho, ou seja, os aterros sanitários podem ser muito mais "generalizados" do que a mineração. Este fato se tornou adequado ao estudo porque compensou a dificuldade de se obter um banco de dados de custo mais detalhado e mais específico.

Outra questão importante de ser registrada é a de que a preocupação de não se estar atingindo um número ou quantidade de amostras grande o suficiente para se assegurar o fator “representatividade” do modelo, foi perdendo o sentido a medida que o estudo ia se aprofundando, principalmente por duas razões:

- 1º. A constatação de que mesmo a pequena amostragem ou quantidade de dados para o caso brasileiro mostrou ter uma representatividade grande, quando comparado com novos dados que iam surgindo de divulgações;
- 2º. A obtenção de dados com relação a outros países, também foi reafirmando a crença ou a confiança de que os dados são bem representativos;
- 3º. Todos os testes de validação demonstraram que o nível de precisão ou erro dos resultados do modelo está dentro do intervalo admissível para estudos relativos à fase de pré-viabilidade;

Portanto, estas constatações nos levam a concluir que o modelo atingiu seu principal objetivo geral descrito inicialmente.

Há que se evidenciar também o seguinte fato inerente ao tipo de tese desenvolvido, ou seja:

*- “O modelo gerado pode ser continuamente, ou periodicamente, atualizado com agregação de novos dados, otimizando desta forma os ajustes e correlações realizadas”.*

Portanto, esta é “*uma tese que não termina com a defesa de tese*”, ou seja, pode e deve ter uma continuidade no sentido colocado acima.

## REFERÊNCIAS

- Abbie, M. & Lund, H.F., 1996. *Supervision del rendimiento de los sistemas de separación y recolección*. Manual McGraw-Hill de Reciclaje, Cap. 5.
- ADEME, 1998. AMF – *Analyse des Coûts de Gestion des Dechets Municipaux*, France, avril 1998.
- Alemu, C. , 2001. *La bonne élève de l'Union Européene*. Label France, dez. 2001.
- Ayalon, O., Avnimelech Y. & Shechter M., 2001. *Solid Waste Treatment as a High-Priority and Low-Cost Alternative for Greenhouse Gas Mitigation*. Environmental Management Vol. 27, No. 5, pp. 697-704.
- BCN Ecologia, 2006. *Metodologia de simulação aplicada- SIMUR, para os sistemas de simulação de resíduos dos municípios da Catalunya*. Agência de Resíduos da Catalunya, Entidad Metropolitana de Barcelona.
- Borella, M.F.P. 2004. *Reintegração de Aterros Sanitários à Paisagem Urbana*. RESID/2004, Seminário de Resíduos Sólidos – ABGE, São Paulo.
- Brasil, S. & Patury, F. 2004. *O lixo que é um verdadeiro luxo*. Revista Veja – SP, março 2004, pág. 50-51.
- Calderoni, S. 2003. *Os Bilhões Perdidos no Lixo*. 4. edição – São Paulo: Humanitas Editora / FFLCH / USP, 346 p.
- Calderoni, S. 2006. *A tecnologia da incineração na gestão de resíduos sólidos*. 1º Simpósio Brasileiro de Incineração – UPAN. Porto Alegre, dezembro de 2006.
- Carvalho, D. , 2004. *Protocolo de Quioto - Venda de Carbono de Aterro Sanitário*. Gazeta Mercantil, 28/05/2004, p. A-12.
- Cassini, S. T., 2003. *Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás*. ABES, Rio de Janeiro. 210 p.
- Conceição, P.R.N. 2006. *Utilização da análise multivariada de dados na otimização de misturas de minerais na formulação de tintas*. Tese de doutorado apresentada na UFRGS/PPGEM, 136 p.

- D'Almeida, M.L.O. & Vilhena, A. 2000. *Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado*. 2ª. Ed., São Paulo: IPT/CEMPRE, 370p.
- DMLU, Depto. Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre, 2002. *Projeto Básico para Contratação de Serviços de Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos com Disposição Final em Aterro Sanitário*. 20 p.
- ECOTEC, Research and Consulting ltd, 1999. *A Final Report to Friends of the Earth, K Waste and Waste Watch*. 23 p., 1999.
- EMB, 2005. *Entidad Metropolitana de Medio Ambiente de Barcelona, Datos Ambientales Metropolitanos de 2004*. Edição de outubro de 2005.
- EPA, United States Environmental Protection Agency, 1980. *Technology, Prevalence and Economics of Landfill Disposal of Solid Waste*. Office of Water, Waste Management, Washington, december 1980, p. 7-68.
- Esbensen, K.H., 2000. *Multivariate Data Analysis-In Practice, An Introduction to Multivariate Data Analysis and Experimental Design*. CAMO ASA, Oslo, Norway. 4ª. Edition, 2000.
- Estevez, P., 2003. *Management of Municipal Solid Waste in Santiago, Chile: Assessing Waste-To-Energy Possibilities*. Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation of School of Engineering and Applied Science, Earth Engineering Center. Columbia University, December 9, 2003. 32 p.
- Glaub,J.C. 1996. *Integracion del reciclaje en vertederos e incineradoras*. Manual McGraw-Hill de Reciclaje, Cap.25.
- Hogg, D., 2005. *Costs for municipal waste management in the EU*. Final Report to Directorate General Environment, European Commission. Eunomia Research & Consulting, p. 31-71.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Econômica, 2000. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB*.
- Jucá, J.F.T. 2002. *Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil: Situação Atual e Perspectivas*. 10º SILUBESA-Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Braga-Portugal, Set. 2002.

- Junior, A. B. C., 2003. *Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte*. ABES, Rio de Janeiro, Projeto PROSAB, 294 p.
- Koushki P.A., Al-Duaij U. & Al-Ghimlas W., 2004. *Collection and transportation cost of household solid waste in Kuwait*. Waste Management n. 24, 2004, pp. 957-964.
- Leite, V.D. et al, 2003. *Bioestabilização de resíduos sólidos orgânicos*. Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro, ABES. Projeto PROSAB. p. 95 -119.
- Leme, J.H.P. 2006. *Estudo de caso: reciclagem energética na Usina Verde*. 1º Simpósio Brasileiro de Incineração – UPAN. Porto Alegre, dezembro de 2006.
- Leroy J.B., 2005. *Guia para elaboración de un proyecto de tratamiento de residuos urbanos*. Revista Resíduos n. 82, janeiro-fevereiro de 2005, pp. 46-53.
- Lima, J. D., 2003. *Consórcio de Desenvolvimento Intermunicipal: Instrumento de Integração Regional*. ABES, Paraíba. 275 p.
- Lima, J. D. , 2000. *Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*. Universidade Federal da Paraíba, 267 p.
- McBean E.<sup>a</sup> , Rovers F.A., Farquhar G.J. 1995. *Solide Waste Landfill Engineering and design*. Prentice Hall, New Jersey. P. 31-34.
- McDougall F.R., White P.R., Franke M. & Hindle P. 2001. *Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory*. Procter & Gamble Technical Centres Limited. Second Edition, Blackwell Science Ltd, 493 p.
- Miranda, E. C. et al, 2006. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos-2004*. Brasília, M.CIDADES, SNSA, 381 p.
- Nagle, A J, 1988. *Aide a L'Estimation des Paramètres Economiques d'un Projet Minier dans les Etudes de Prefaisabilite*. Ecole Nationale Supérieure de Mines de Paris. Thèse du Doctorat. 206 p.
- Neto, P.F. 2004. *Processo mecânico-biológico para o tratamento de resíduos sólidos*. RESID/2004, Seminário de Resíduos Sólidos – ABGE, São Paulo.

- Neto, S.N., König, T. et al, 2005. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos: uma visão de futuro*. Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo e Secretaria do Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção do Consumidor da Baviera. 80 p.
- Nunes, K. R.A. , 2004. *Avaliação de Investimentos e de Desempenho de Centrais de Reciclagem para Resíduos Sólidos de Construção e Demolição*. Tese de doutorado COPPE/UFRJ, fevereiro de 2004, 223 p.
- Orth, M. H. A., 1999. *Planos Diretores de Resíduos Sólidos no Estado de São Paulo*. RESID/99-Seminário de Resíduos Sólidos. São Paulo, ABGE, p. 27.
- Parikh J.K. & Yedla S., 2001. *Economic evaluation of a landfill system with gas recovery for municipal solid waste management: a case study*. Int. J. Environmental and Pollution, Vol. 15, n. 4, p. 433-447.
- Pavoni, J.L., 1975. *Handbook of Solid Waste Disposal: Materials and Energy New York*. Van Nostrand Reinhold. Cap. 4 – Sanitary Landfill, p.169-223.
- PRé Consultants, 2006. *SimaPro 7, a Life Cycle Assessments Software*. Netherlands.
- Privett, E.E.K.D. 2004. *The after-use of quarries with specific reference to solid waste disposal*. RESID/2004, Seminário de Resíduos Sólidos – ABGE, São Paulo, abril de 2004.
- Reichert , G.A & Reis, J.C.F.1998. *Custos de Implantação e Operação Unitário – Estudo de Caso: Aterro da Extrema, Porto Alegre, RS*. II Simpósio Internacional da Qualidade Ambiental, Porto Alegre, 1998.
- Riera, P. & García, L., 1997. *Análisis económico de la gestión de residuos urbanos*. XXIII Reunión de Estudios Regionales, Valencia, 18-21 noviembre 1997.
- Sabata, J.M.C. 2006. *Gestion de los residuos sólidos urbanos*. Universitat Politècnica de Catalunya-UPC /Metrópolis. <http://www.ema-amb.es>
- SNIS, 2005. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos-2003*. PMSS. Ministério das Cidades, Brasília, 350 p. <http://www.snis.gob.br>
- Sorg, T.J. , Hickman, H.L. 1970. *Sanitary Landfill Facts*. U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Bureau of Solid Waste Management, 30 p.

- Stellin, L. A R., Valente P., 1978. *Ensaio de Custos de Operação de um Aterro Sanitário*. CETESB, agosto de 1978, 29 p.
- Strobridge, D. E. & Gerlock, F.G 1996. *Obtención de datos y control de costes*. Manual McGraw-Hill de Reciclaje, Cap.33.
- Tchobanoglous, G. 1977. *Solid Wastes: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. P. 588-589.
- Thorpe, S. G., 2003. *Estimating the Costs of Solid Waste Disposal is Messy Business*. <http://www.scirus.com>
- Vecino, J. B., 1998. *Análisis económico del reciclaje de residuos urbanos. Aplicación a la ley de envases*. <http://www.uco.es>
- Veit, M. A., Coriolano, J.V. , Consolmagno M., Stuermer K. J., 1983. *Avaliação dos Custos e Benefícios no Aproveitamento do Biogás Gerado em Aterros Sanitários*. Hicsan Ltda – engenheiros consultores, ABES, São Paulo, 20 p.
- Vialli, A., 2004. *Tecnologia da Espanha aumenta vida de aterros*. Gazeta Mercantil, 27/05/2004. p. A-10.
- Weng, Y.C., Chang N.B., 2001. *The development of sanitary landfills in Taiwan: status and cost structure analysis*. Department of Environmental Engineering, National Cheng-Kung University, Tainan, Taiwan. Resources, Conservation and Recycling, vol. 33, p. 181-201.

**ANEXO 1 – Banco de dados completo resultante do  
levantamento para custo nos aterro sanitários**

Para facilitar o desenvolvimento do trabalho, assim como o entendimento dos usuários, empregaram-se siglas para identificação de todos os tipos de dados obtidos e suas respectivas classificações adotadas. A tabela a seguir apresenta as siglas para cada classificação, ou também consideradas como “variáveis” dos bancos de dados.

Classificação dos dados “variáveis do banco de dados”	“sigla”	unidade
1. Custo de estudos iniciais	Cest	US\$
2. Custo da infra-estrutura	Cinf	US\$
3. Custo da preparação	Cpr	US\$
4. Custo com segurança e meio ambiente	Camb	US\$
5. Custo total de implantação (investimento)	CI *	US\$
6. Custo de operação anual	Cop	US\$
7. Custo da mão-de-obra anual	Cmo	US\$
8. Custo total operacional anual	CO **	US\$
9. Custo total	CT ***	US\$
10. Capacidade diária de disposição do aterro	Cap	t/dia
11. Área útil do aterro sanitário	Are	ha
12. Tratamento do lixiviado a nível primário	TP	****
13. Tratamento do lixiviado a nível secundário	TS	-
14. Tratamento do lixiviado a nível terciário	TT	-
15. Recuperação do Biogás e geração energia	BG	-
16. Gestão municipal do aterro	GM	-
17. Gestão privada do aterro	GP	-
18. Topografia do local em planície	plan	-
19. Topografia do local em encosta	enc	-
20. Cava remanescente de mineração	cav	-
21. Disposição método da rampa	ramp	-
22. Disposição método de trincheiras(células)	trin	-
23. Litologia predominante Argila	arg	-
24. Litologia predominante Saibro	sai	-
25. Litologia predominante Sedimentar(arenito)	aren	-
26. Litologia predominante Ignea(granito/basalto)	ign	-
<b>Observações :</b>		
* CI=Cest+Cinf+Cpr+Camb		
** CO=Cop+Cmo		
*** CT=CI+CO		
****As variáveis 12 a 26 não possuem unidade, pois são indicadores da presença ou não da característica que representam, sendo denominadas variáveis “binárias”, por receberem apenas valores “0 ou 1”;		

A planilha apresentada neste anexo mostra todo o conjunto de dados e informações resultantes do trabalho de pesquisa realizado, conforme já descrito. Para um melhor entendimento da organização e disposição estrutural do conjunto de dados que a compõe é importante salientar as seguintes observações:

- A planilha resultante pode também ser referida como a “matriz de dados”, que por sua vez, é formada por 141 amostras e 26 variáveis, em suma, cada linha da matriz é uma amostra e cada coluna, uma variável;
- As amostras são cada conjunto de dados formado pelas variáveis e um conjunto de amostras forma um determinado “banco de dados”, sendo que o conjunto completo de todas as amostras da pesquisa compõe o “banco de dados completo da pesquisa”;
- Os espaços ou células vazias da planilha significam que não havia disponível o dado para a(s) variável(is) na respectiva amostra;

d) A sigla de identificação da amostra (linhas) é formada por um número, uma letra e um número; o primeiro número corresponde ao número de ordem da linha ou da amostra, a letra corresponde à origem do banco de dados, sendo “B” para as amostras de aterros sanitários do Brasil e “E” para as amostras dos aterros sanitários dos países do exterior pesquisados, e o número após a letra corresponde à identificação do banco de dados do respectivo país analisado, assim por exemplo:

- “12B3”, representa a amostra de ordem nº 12, correspondendo ao BANCO DE DADOS BRASIL 3;

e) As primeiras 11 colunas (da esquerda para a direita), da variável 1 - Cest a variável 11 - Are, correspondem as variáveis tipo “custo”, com valor em moeda Dólar Americano;

f) As últimas 15 colunas (da esquerda para a direita), da variável 12 - TP a variável 26 - ign, correspondem as variáveis tipo “características técnicas do aterro” (tabela 15), e são adimensionais, ou seja, não apresentam valor intrínseco, sendo que o número absoluto indicado nas células indica a presença ou não da respectiva característica na amostra ou no aterro sanitário amostrado;

	Cest	Cinf	Cpr	Camb	CI	Cop	Cmo	CO	CT	Cap	Are	TP	TS	TT	BG	GM	GP	plan	enc	cav	ramp	trin	arg	aren	sed	ign
1B1	2602	19520	46978	1694	70794	9432	17178	26610	97404	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
2B1	13013	88838	97599	7063	206512	46847	21238	68085	274597	8	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
3B2	9469	16788	128145	12587	166990	43644	65871	109515	276504	10	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4B2	16665	91211	52763	3446394	3607033	498957	139692	638649	4245682	100	16	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
5B1	67669	143823	620630	79392	911514	424690	98267	522957	1434470	100	15	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
6B1	83285	165269	1561595	72614	1882763	440995	168028	609022	2491785	170	14	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0
7B2	85178	348094	5470719	72378	5976368	1670424	308912	1979336	7955705	500	20	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
8B1	86322	490107	2564498	112956	3253883	1925345	742932	2668277	5922160	700	7	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0
9B2	127767	598896	78672	6949904	7755238	3058201	409990	3468191	11223430	1000	12	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
10B1	112646	688271	4531187	87746	5419849	2305917	488685	2794601	8214450	1000	25	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
11B1	125311	1315313	3661316	116171	5218111	2129448	404008	2533457	7751568	2000	35	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
12B3								42924	21			0	1	0	0	0	1									
13B3								25550000	5000			0	0	1	0	0	1									
14B3								2767613	750			0	1	0	0	1	0									
15B3								3066000	120			0	1	0	0	1	0									
16B3								1510224	160			1	0	0	0	1	0									
17B3								302074	40			0	1	0	0	1	0									
18B4								2797634	575			0	1	0	0	0	1									
19B4								435744	197			0	0	1	0	0	1									
20B4								6131161	6970			0	1	0	0	0	1									
21B4								1021635	300			0	1	0	0	0	1									
22B4								6360125	697			0	0	1	0	0	1									
23B4								18560250	5000			0	0	1	0	1	0									
24B4								14817978	5370			0	0	1	0	1	0									
25 E1					3888552			470887	4359439	70	5	0	0	0	0	0										
26 E1					25097761			583352	25681113	500	12	0	0	1	0											
27 E1					75316			16385	91701	35	1	0	0	0	0											
28 E1					11838517			1048475	12886992	450	4	0	1	0	0											
29 E1					1690223			151166	1841389	25	9	0	1	0	0											
30 E1					59531167			5066000	64597167	1200	65	1	0	0	0											
31 E1					35880830			2302556	38183385	600	68	0	1	0	0											
32 E1					13179911			2144204	15324115	1400	18	0	0	1	0											
33 E1					173967			144103	318070	180	7	0	0	0	0											
34 E1					1093275			93413	1186688	65	1	0	1	0	0											
35 E1					6614417			223345	6837762	350	3	0	0	0	0											
36 E1					13041078			680944	13722022	200	27	1	0	0	0											
37 E1					264106			163104	427210	6	1	1	0	0	1											
38 E1					1022959			106313	1129272	55	8	1	0	0	1											
39 E1					571905			64657	636562	70	7	1	0	0	1											
40 E1					3142713			556212	3698925	30	9	1	0	0	0											
41 E1					1510481			84292	1594773	15	1	1	0	0	0											
42 E1					5077664			221120	5298784	145	8	1	0	0	0											
43 E1					2835175			120983	2956158	45	4	0	1	0	0											
44 E1					421833			102441	524274	50	1	0	1	0	0											
45 E1					568842			344791	913634	35	3	0	0	0	0	1										
46 E1					583604			59419	643023	8	1	0	0	0	0											
47 E1					2137042			133119	2270161	150	1	0	0	0	0											





**ANEXO 2 – Levantamento de dados de custo com  
transporte**

Comparação de dados relativos aos custos médios de coleta e transporte aos aterros sanitários para alguns países e cidades;

Pais ou Cidade	Geração t res./dia	Custo médio de coleta e transporte US\$/t	Fonte
Itália	217,6	96,8	Hogg, 2005
Kuwait	227,4	6,55	Koushki, 2004
Santiago/Chile	6800	15,00	Esteves, 2003
São Paulo/Brasil	15000	46,00	Miranda, 2005
Porto Alegre/Brasil	1100	24,00	DMLU, 2002
Barcelona/Espanha	1500	20,00	AMB, 2006

Custo fixo mensal para caminhões de 40 m<sup>3</sup> de resíduo (DMLU, 2002);

ITEM	VALOR MENSAL (R\$/mês)
1- Mão de obra	
Motorista	5.366,59
Vale Transporte	85,65
Equipamentos e Vestuários	39,04
TOTAL	5.491,28
2- Equipamento de Comunicação	
TOTAL	54,28
3- Capital	
Custo da Frota	7.091,45
Custo de Impostos e Seguros do Veículo Transportador	377,35
TOTAL	7.468,80
4- Manutenção	
TOTAL	9.573,45
TOTAL DO CUSTO FIXO POR MÊS / caminhão	22.587,81

Custo fixo mensal para caminhões de 15 m<sup>3</sup> de resíduo (DMLU, 2002);

ITEM	VALOR MENSAL (RS/mês)
1- Mão de obra	
Motorista	2.769,41
Vale Transporte	85,65
Equipamentos e Vestuários	39,04
TOTAL	2.894,10
2- Equipamento de Comunicação	
TOTAL	54,28
3- Capital	
Custo da Frota	3.545,73
Custo de Impostos e Seguros do Veículo Transportador	188,68
TOTAL	3.734,41
4- Manutenção	
TOTAL	4.786,73
<i>TOTAL DO CUSTO FIXO POR MÊS / caminhão</i>	<i>11.469,52</i>

Custo variável mensal para caminhões de 15 m<sup>3</sup> de resíduo (DMLU, 2002);

ITEM	VALOR (RS/km)
1- Óleo Combustível	
	0,6823
2- Óleo Motor	
	0,0157
3- Óleo Transmissão	
	0,0036
4- Graxas	
	0,021
5- Pneus	
	0,2875
<i>TOTAL DO CUSTO VARIÁVEL / km / cam.</i>	<i>1,0101</i>

Custo variável mensal para caminhões de 15 m<sup>3</sup> de resíduo (DMLU, 2002);

ITEM	VALOR (R\$/km)
1- Óleo Combustível	
	0,54584
2- Óleo Motor	
	0,01256
3- Óleo Transmissão	
	0,00288
4- Graxas	
	0,0168
5- Pneus	
	0,23
<i>TOTAL DO CUSTO VARIÁVEL / km . / cam.</i>	0,8081