

Oliveira Neto, Raul; de Souza, Luis Eduardo  
Desenvolvimento de Modelo de Estimativa de Custos aplicado ao caso dos Aterros  
Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos  
Ciência e Natura, vol. 36, 2014, pp. 302-313  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546183029>

## Desenvolvimento de Modelo de Estimativa de Custos aplicado ao caso dos Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos

Development of Cost Estimating Model applied to the case of Landfills for Municipal Solid Waste

Raul Oliveira Neto<sup>1</sup> e Luis Eduardo de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PPGTM – Programa de Pós Graduação em Tecnologia Mineral; Campus Caçapava do Sul/RS;  
UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

### Resumo

O gerenciamento de resíduos municipais é um tema que vem se tornando cada vez mais importante no contexto das preocupações mundiais dos governos. Embora hajam esforços para diminuir a quantidade destinada aos chamados "aterros sanitários", há unanimidade em se afirmar que ainda por muito tempo se dependerá deste sistema de disposição final. Porém, muito pouco é divulgado em termos dos custos de implantação e operação sobre aterros, que subsidie estudos técnico-econômicos de apoio a decisão dos gestores do setor. O objetivo principal deste trabalho 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", a partir de estudo investigativo de banco de dados obtidos no Brasil e comparados com outros países. São apresentados os modelos resultantes com testes de validação atingindo-se um nível de erro aceitável para estudos a este nível de detalhamento. 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.

**Palavras-chave:** Aterros, resíduos, modelo, custos, estimativa.

### Abstract

Management of urban municipal waste has become an increasing problem for governments. 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 and 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". 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. 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.

**Keywords:** Landfills, waste, model, costs, estimate.

## 1 Introdução

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 locacionais, 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.

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.

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 objetivos específicos do trabalho citam-se:

- 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;

## 2 Desenvolvimento do trabalho

### 2.1 Metodologia

O trabalho foi conduzido adotando-se as seguintes etapas:

1. Coleta de dados;

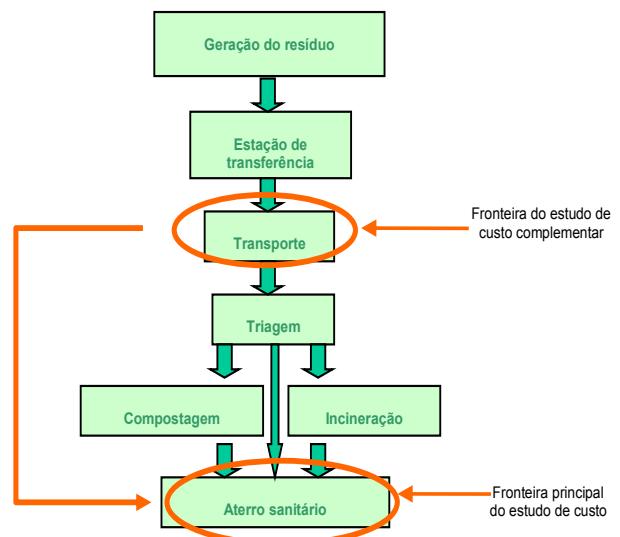


Figura 01 – Fronteira ou condição de contorno do estudo no contexto geral do fluxograma simplificado de uma GRSU;

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 na modalidade 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.

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.

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.

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 02 ilustra as condicionantes de declividade, distância de cursos d'água e de núcleos habitacionais.



Figura 02 – 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 confinação 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 dentro de certas peculiaridades.

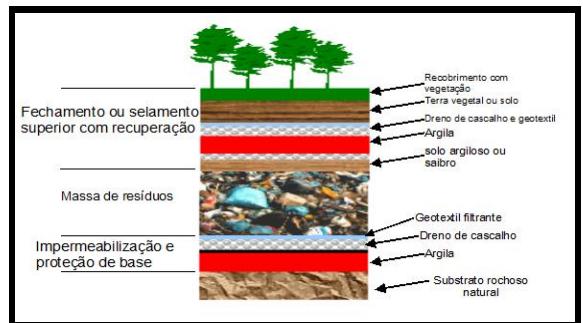


Figura 03 - Perfil esquemático da composição de todas as camadas presentes em um aterro sanitário;

## 2.2 Metodologia de desenvolvimento de um modelo de estimativa 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 implan-

tado, 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”.

### 2.3 Etapas

A metodologia para desenvolvimento de um modelo de estimativa de custos de um projeto deve seguir etapas, as quais estão descritas a seguir. A escolha do tipo e da técnica de estimativa 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 estimativas serão muito mais precisas (Nagle, 1998).

#### 1) Escolha do tipo de estimativa

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

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

A Tabela 01 mostra a relação existente entre estes diferentes tipos de estimativa de custos, a precisão a ser atingida, o tempo empregado para elaborá-las e o percentual de estudos de engenharia realizados.

Tabela 01 - Tipos de estimativas de custos de projetos e suas características;

| Tipo de estimativa de custos | Precisão (%) | Tempo necessário (dias) | Estudos realizados (%) |
|------------------------------|--------------|-------------------------|------------------------|
| ordem de grandeza            | -30 à +50    | 1 - 7                   | 5                      |
| preliminar                   | -15 à +30    | 7 - 60                  | 15 - 25                |
| definitiva                   | -5 à +15     | 90 - 360                | 50 - 60                |
| 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 estimativa. A otimização ou melhoria

da precisão das estimativas 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 estimativas depende do investimento realizado nos trabalhos de reconhecimento e estudos de engenharia (Nagle, 1988).

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

##### a) Ordem de grandeza (Conceitual)

A estimativa 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 estimativa é de “afinar” a anterior, à medida que aumenta o número de dados complementares disponíveis. As estimativas 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 estimativa 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 infra-estrutura de construção do empreendimento respectivo.

A Figura 04 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.

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

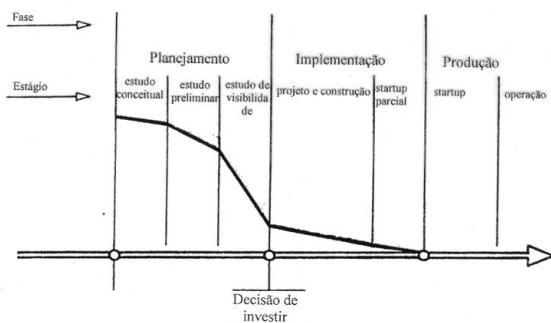


Figura 02 – Vista geral o aterro sanitário de Paulínia/SP (Estre), observando-se a localização e características de acordo com a normatização;

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 02:

## 2) Escolha da técnica de estimativa

Portanto, a conclusão a partir da descrição precedente, é de que o tipo de estimativa que melhor se adapta à fase de pré-viabilidade parece ser a “estimativa 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 estimativa, serão consideradas as técnicas propostas pela “estimativa em ordem de grandeza”.

### a) Técnica de estimativa por analogia entre projetos

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

### b) Técnica de estimativa por utilização de custos unitários

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

### c) Técnica de estimativa 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

Tabela 02 – 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.

consequência, ocorre uma redução dos custos unitários com o aumento desta capacidade, 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 estimativas em função das especificidades do projeto a se estimar.

A técnica c), estimativa 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:

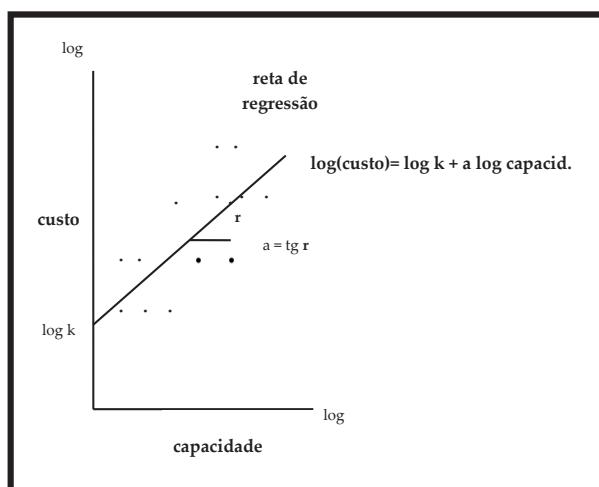
$$\text{- custo} = k * (\text{capacidade})^a, \text{ sendo } a < 1;$$

$$\text{- log custo} = \log k + \log \text{capacidade}^a;$$

$$\text{- log custo} = \log k + a \log (\text{capacidade}).$$

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 05:

Figura 05 - Esquema demonstrativo de um ajuste custo



x capacidade;

Portanto, neste ponto do estudo deve ser abordada a próxima etapa da metodologia de estimativa 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:

a) Através de visitas diretamente aos empreendimentos existentes, no caso, aterros sanitários já implantados e em operação;

b) Através de visitas aos órgãos de controle dos aterros sanitários, ou seja, as prefeituras municipais e fundações de meio-ambiente;

c) 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;

d) Pesquisas bibliográficas às mais diversas fontes, desde bases científicas universitárias a revistas especializadas do setor pesquisado;

e) Consultas a fabricantes e fornecedores de materiais e equipamentos do setor;

f) Consultas a sindicatos e associações de empresas e indústrias do setor;

g) 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 estimativa e verificar sua validação

O modelo de estimativa 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. 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 está 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 estimativa 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 Modelo de O’Hara e o Software MAFMO

O chamado “Modelo de O’Hara”, muito conhecido e utilizado no setor de mineração no mundo todo, considerado um dos principais modelos de estimativa 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 ideia 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 versão base do software 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 Figura 06 apresenta o “espelho ou tela” principal do MAFMO – AIRES com as opções ao usuário.

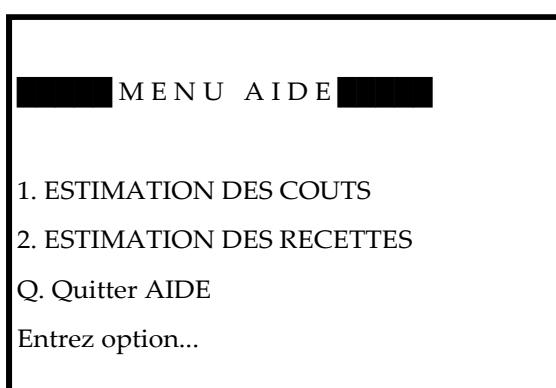


Figura 06 - “espelho ou tela” principal do MAFMO – AIRES com as opções;

A Figura 07 mostra outra tela do MAFMO – AIRES para estimativa 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.

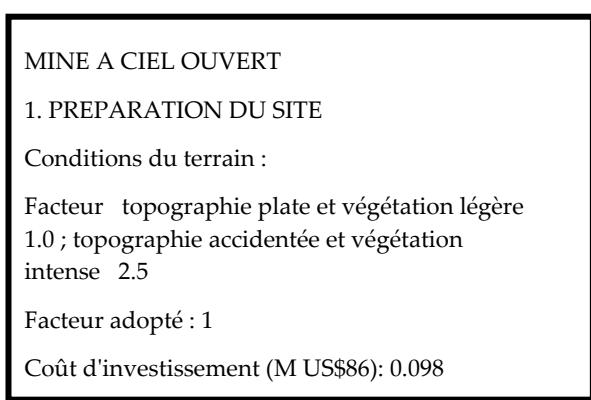


Figura 07 - Tela do MAFMO – AIRES para estimação de custos;

## 2.5 Bancos de dados

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;

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 03 a seguir:

## 2.6 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 estimativas 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)”;

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

Tabela 03 – Bancos de dados obtidos;

| Banco de dados         | Pesquisa  | Qtde. amostras   |
|------------------------|---|--|
| BRASIL 1 – B1          | Questionário para empresas operadoras de ATS                      | 07 – custos detalhados de implantação e operação,              |
| BRASIL 2 – B2          | Visitas e contatos com órgãos públicos controladores,             | 04 – custos detalhados de implantação e operação,              |
| BRASIL 3 e 4 – B3 e B4 | Dados bibliográficos e de seminários                              | 11 – custos totais (t de resíduo)                              |
| TAIWAN – E1            | Pesquisa à base científica <i>Science Direct</i>                  | 88 – custos com implantação e operação sem detalhamento,       |
| ESPAÑHA – E2           | Consulta ao gerenciador SIMUR da Agência de Ecologia de Barcelona | 30 – custos totais por tonelada de resíduo e capacidade diária |
| EUROPA – E3            | Pesquisa bibliográfica  | 16 – custos com implantação e operação sem detalhamento,       |
| BRASIL 5 – B5          | Pesquisa aos órgãos públicos, custos de transporte                | 10 – custo. transporte por capac. e dist.                      |
| ITÁLIA – E4            | Pesquisa bibliográfica  | 5 – custos com transporte                                      |
| KUWAIT – E5            | Pesquisa bibliográfica  | 14 – custos com transporte                                     |

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.

A Figura 08 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.



Figura 08- Tela resultante da simulação para os custos detalhados de implantação (modelo univariável);

A Figura 09 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.

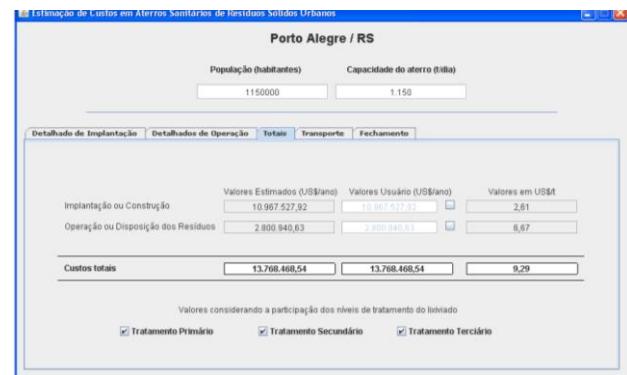


Figura 09 - Tela resultante da simulação para os custos totais com tratamento do lixiviado a nível terciário (modelo multivariável);

## 2.7 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”.

Conforme observação dos resultados da tabela 04, 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 04 - Teste de validação do modelo comparando com valores divulgados em estudos, seminários, licitações;

| Fonte   | Cap t/d | US\$/t real | US\$/t mod. | % mod. / real |
|---|---------|-------------|-------------|---------------|
| CETESB – Jundiaí/SP Maio/2005                       | 20      | 44,00       | 29,58       | -33           |
| CETESB – Jundiaí/SP Maio/2005                       | 100     | 17,50       | 16,11       | -7,9          |
| CETESB – Jundiaí/SP Maio/2005                       | 400     | 12,00       | 11,1        | -7,5          |
| Prefeitura de Vacaria/Edital de licitação- Out/2006 | 25      | 14,36       | 14,03       | -2,3          |
| Prefeitura de Porto Alegre/DMLU Nov/2006            | 1.150   | 17,61       | 22,20       | +26,1         |

### 3 Resultados e discussão

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.

As figuras 10 e 11 a seguir mostram duas das curvas obtidas no modelo.

A Tabela 05 resume os resultados das correlações analisadas, onde se pode comparar os coeficientes de determinação R<sup>2</sup> e respectivos índices de correlação R, e verificar as equações resultantes.

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

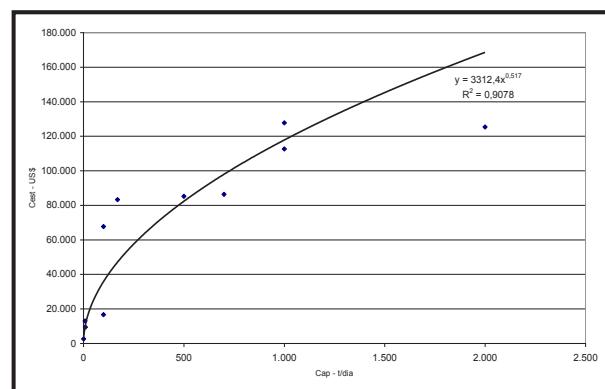


Figura 10- Gráfico de correlação ou ajuste Cest (custo com estudos e projetos iniciais - US\$) x Cap(capacidade do aterro sanitário- t/dia)

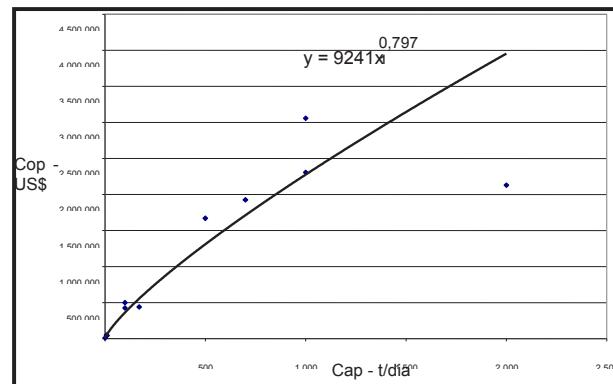


Figura 11- Gráfico de correlação ou ajuste Cop (custo operacional - US\$) x Cap(capacidade do aterro sanitário- t/dia);

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<sup>2</sup> 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).

Tabela 05 - Síntese dos resultados obtidos das correlações “Custos x Cap” – univariável

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

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 12 e 13) para verificar a dispersão em torno da reta ideal de 45°, e a Tabela 6 com os erros obtidos.

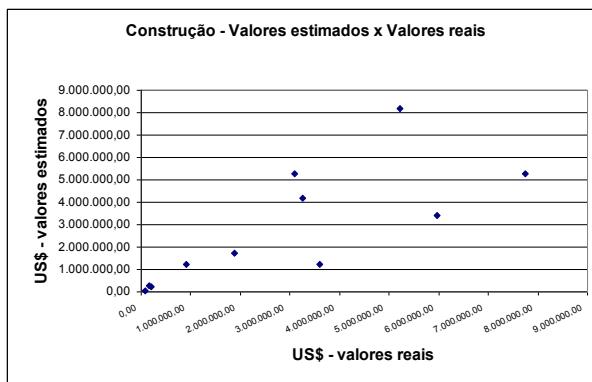


Figura 12 – Gráf. “valor modelo x valor da amostra” para o custo total de investimento (CI);

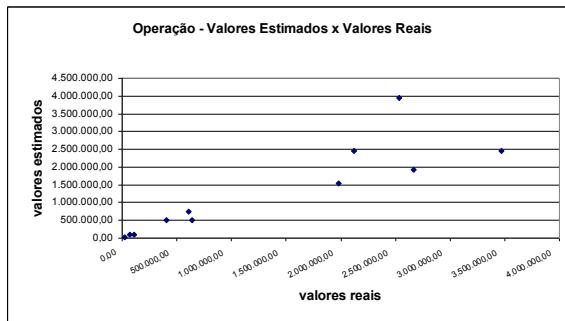


Figura 13 – Gráfico “valor modelo x valor da amostra” para o custo total de operação (CO);

Conclui-se da análise dos resultados de correlação e erros, que o modelo proposto está aceitável para as condições e objetivos iniciais adotados no presente trabalho,

Tabela 6 – Erro médio para CI e CO

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

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 Conclusões

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.

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.

As técnicas de análise e estimativa de dados adotados 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”.

Na validação do modelo há que se dar especial ênfase às seguintes conclusões obtidas nos resultados:

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;

Todos os resultados ficaram abaixo do limite de

precisão ou de erro superior de +50%;

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%;

As vantagens e aplicações principais do modelo no contexto da gestão dos resíduos sólidos municipais são:

Embasar preços limites para os editais de licitações públicos lançados pelas prefeituras, evitando desperdício de dinheiro público;

Embasar linhas de financiamento e subsídios emitidos pelos governos a níveis municipais, estaduais e federais;

Auxílio ao estabelecimento de taxas municipais de "lixo" cobradas da população;

Definição dos custos a serem compartidos entre os municípios na formação de consórcios;

Definição dos custos envolvidos nas PPP (parcerias públicas privadas);

Possibilidade de adaptação do modelo no software de rápida e fácil utilização;

Collection and transportation cost of household solid waste in Kuwait. Waste Management n. 24, 2004, pp. 957-964.

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.

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.

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.

## Agradecimentos

Ao Prof. Dr. José Luis Cortina, Catedrático do Depto. de Química da UPC- Universidade Politécnica de Cataluña, pelo apoio e orientação.

Ao Prof. Dr. Carlos Otávio Petter, Laboratório de Processamento Mineral – LAPROM – UFRGS, pelo apoio e orientação.

Ao analista de sistemas Maurício Schoenfelder, na montagem do software com a aplicação do modelo gerado.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica – CNPq, pelo aporte financeiro através da bolsa de doutorado e taxa de bancada.

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

## Referências

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.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Econômica, 2000. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB.

Koushki P.A., Al-Duaij U. & Al-Ghimplas W., 2004.