



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro de Tecnologia e Ciências  
Instituto de Química

Vitor Sergio Almeida Lopes

**Estudo comparativo de alternativas para o tratamento dos resíduos  
de serviços de saúde: incineração e desinfecção térmica**

Rio de Janeiro  
2008

Vitor Sergio Almeida Lopes

**Estudo comparativo de alternativas para o tratamento dos resíduos  
de serviços de saúde: incineração e desinfecção térmica**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos Químicos e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo

Rio de Janeiro  
2008



Vitor Sergio Almeida Lopes

**Estudo comparativo de alternativas para o tratamento dos resíduos  
de serviços de saúde: incineração e desinfecção térmica**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos Químicos e Meio Ambiente.

Aprovado em 05 de setembro de 2008

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo (Orientador)  
Instituto de Química da UERJ

---

Prof. Dr. Elmo Rodrigues da Silva  
Faculdade de Engenharia da UERJ

---

Prof. Dr. Fernando Altino Medeiros Rodrigues  
Instituto de Química da UERJ

---

Prof. Dr. Geraldo André Torcer Fontoura  
Bayer Material Science Latin América

Rio de Janeiro

2008

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Marco Antonio Gaya de Figueiredo pela orientação neste trabalho, interesse pelo assunto, apoio e confiança.

À empresa, onde atuo, pelo conhecimento que adquiri desenvolvendo projetos para análise de gases, responsável pela minha dedicação e envolvimento em sistemas para monitoramento de processo de combustão de metano em aterros sanitários, e pela disponibilidade para desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas Eduardo Gaiotto Marques e Ricardo Borges, que se colocaram à disposição para o auxílio no aporte de material e conhecimento e, com isso, viabilizaram o meu estudo.

Aos meus amigos, que torcem por esta realização.

A minha esposa, Flávia, que esteve ao meu lado e apoiou o meu empenho na realização deste trabalho.

Ao meu filho, Felipe, que me ensina a ser pai e a buscar novos desafios.

Aos meus pais e ao meu irmão, que sempre estiveram ao meu lado, auxiliam no meu crescimento e porque sempre me apoiaram em todas as decisões.

## RESUMO

LOPES, Vitor Sergio Almeida. *Estudo comparativo de alternativas para o tratamento dos resíduos de serviços de saúde: incineração e desinfecção térmica*. Brasil 2008, 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

O objetivo do presente estudo é a comparação do processo de incineração de resíduos sólidos de serviços de saúde em aterros sanitários com a alternativa de desinfecção térmica a vapor utilizada atualmente para o tratamento de resíduos infectantes na área do aterro. Os resíduos sólidos químicos, infectantes e anatômicos, que são gerados nos estabelecimentos de saúde, oferecem um grande risco à saúde pública e ao meio ambiente com necessidade de tratamento diferenciado dos demais resíduos para reduzir-se os riscos e para o cumprimento das leis, normas e resoluções. A pesquisa apresenta alguns aspectos sobre o gerenciamento de resíduos, as legislações, as alternativas para o tratamento de RSS, grande abrangência sobre o aterro sanitário e o projeto MDL e o estudo comparativo entre as tecnologias de incineração e de desinfecção térmica a vapor. Foi verificado que o processo de incineração é vastamente utilizado nos países desenvolvidos, apresenta os custos para investimento e tratamento inferiores e confere a oportunidade para tratar resíduos sólidos infectantes, químicos e anatômicos. Dessa forma, conclui-se que a incineração é mais flexível e economicamente mais interessante, mas causa maior impacto ao meio ambiente devido às emissões de gases tóxicos. Além disso, foi apresentada a questão da responsabilidade do município e dos órgãos fiscalizadores para o cumprimento do aspecto legal, tendo em vista que no Rio de Janeiro há resíduos sólidos de serviços de saúde sendo encaminhados aos lixões por empresas de destinação contratadas pelos estabelecimentos de saúde. Os municípios, órgãos fiscalizadores e os estabelecimentos de saúde são apresentados como os principais responsáveis pela ausência de iniciativas de investimento, já que o preço final para o tratamento torna-se alto, comparando-se com o valor cobrado pelas empresas responsáveis pela destinação final dos resíduos. A expectativa é que o desenvolvimento de novas pesquisas torne a solução aqui proposta mais atrativa para investimentos que contribuam para a melhoria da saúde pública.

Palavras-chave: Gerenciamento de resíduos. Meio ambiente. Aterros sanitários. Tratamento de resíduos e resíduos sólidos de serviços de saúde.

## ABSTRACT

The objective of this study is the comparison of the incineration process regarding solids waste in landfills provided by health services with the alternative of thermal disinfection with vapor currently used for the treatment of infectious wastes in a landfill. The chemical, infectious and anatomical solid wastes that are generated in health establishments offer a great risk to the public health and, also to the environment, providing a necessity of different treatment in order to reduce the risk and to be in compliance with the laws, norms and guidelines. The research presents some aspects on the management of wastes, the laws, the alternatives for the treatment of solid wastes of the health establishments, great boarding of the landfill and the MDL project and the comparative study between the technologies incineration and thermal disinfection with vapor. It was verified that the incineration process is widely used by developed countries; it presents the costs for inferior investment and treatment and provides the opportunity to treat infectious, chemical and anatomical wastes. Of this form, the conclusion is that the incineration is more flexible and economically more interesting, but cause bigger impact with the toxic emissions of gases. Moreover, it was shown the cities and fiscal agencies responsibilities to be in compliance with legal aspects, considering that in Rio de Janeiro, there are solid wastes of the health service being disposed in the “lixões”, that are sites to the solids wastes with disposal directly on the ground, by destination companies contracted by the health establishments. The cities, fiscal agencies and health establishments are the main responsible of lacking on investment initiatives, regarding that the final price for the treatment becomes great, compare with the charge price by the responsible companies for the final destination of the solid waste. The expectation is that the development of new researches besides the proposal solution becomes more attractive to investments that contribute to the improvement of public health.

Keywords: Waste management. Environment. Landfill sites. Waste treatment and solids waste provided by health services.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – O fenômeno do efeito estufa .....  | 12 |
| Figura 2 – Os principais estoques de carbono no ambiente em giga-toneladas por ano .....    | 14 |
| Figura 3 – O crescimento das emissões dos GEEs .....  | 18 |
| Figura 4 – O ciclo típico de um projeto MDL .....   | 24 |
| Figura 5 – O número de atividades de MDL no Brasil por gases de efeito estufa .....         | 25 |
| Figura 6 – Classificação de resíduos sólidos .....  | 34 |
| Figura 7 – Fluxograma das reações de degradação anaeróbica de polímeros .....               | 46 |
| Figura 8 – Fases de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos .....                  | 48 |
| Figura 9 – Fluxograma geral de processo de incineração de resíduos .....                    | 60 |
| Figura 10 – Área considerada para a fundamentação da pesquisa .....                         | 62 |
| Figura 11 – Adaptado de corte esquemático do aterro sanitário .....                         | 65 |
| Figura 12 – Geração de metano durante a vida útil do aterro.....                            | 66 |
| Figura 13 – O processo de desinfecção térmica do aterro sanitário .....                     | 69 |
| Figura 14 – Forno incinerador pirolítico de câmaras múltiplas cilíndricas horizontais ..... | 74 |
| Figura 15 – Exemplo de incinerador instalado pelo fabricante consultado.....                | 76 |



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – O Potencial de Aquecimento Global (PAG) dos GEEs.....                        | 16 |
| Tabela 2 – Os principais emissores de CO <sub>2</sub> do mundo .....                    | 21 |
| Tabela 3 – O número de atividades de projeto MDL no Brasil, por tipo de projeto .....   | 26 |
| Tabela 4 – Composição de biogás de aterros sanitários .....                             | 49 |
| Tabela 5 – Comparação entre as características de processos de tratamento dos RSS ..... | 57 |
| Tabela 6 – Detalhamento do processo de desinfecção térmica a vapor .....                | 69 |
| Tabela 7 – Estudo econômico das alternativas para o investimento .....                  | 83 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>ABNT</b>           | Associação Brasileira de Normas Técnicas   |
| <b>ABRELPE</b>        | Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais            |
| <b>AIA</b>            | Avaliação de Impacto Ambiental   |
| <b>BM</b>             | Banco Mundial  |
| <b>C</b>              | Carbono  |
| <b>CEEE</b>           | Câmara Especializada em Engenharia Elétrica  |
| <b>CECA</b>           | Comissão Estadual de Controle Ambiental  |
| <b>CEPEA</b>          | Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada                                     |
| <b>CERs</b>           | Créditos de Reduções de Emissões   |
| <b>CETESB</b>         | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental                                      |
| <b>CH<sub>4</sub></b> | Metano   |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | Dióxido de Carbono   |
| <b>COFINS</b>         | Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social                               |
| <b>COMLURB</b>        | Companhia de Limpeza Urbana do Município do Rio de Janeiro                           |
| <b>CIMGC</b>          | Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima                                 |
| <b>COP</b>            | Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima |
| <b>CQNUMC</b>         | Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima                        |
| <b>EMBRAPA</b>        | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  |
| <b>EMLURB</b>         | Empresa Municipal de Limpeza Urbana de Nova Iguaçu                                   |
| <b>EPA</b>            | <i>Environmental Protection Agency</i>   |
| <b>FEEMA</b>          | Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente                                      |
| <b>GEE</b>            | Gases de Efeito Estufa   |
| <b>GWP</b>            | <i>Global Warming Potential</i>  |
| <b>IBGE</b>           | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                                      |
| <b>IBMEC</b>          | Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais  |
| <b>ICMS</b>           | Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços                                    |
| <b>II</b>             | Imposto de Importação  |
| <b>IIA</b>            | <i>Incinerator Institute of America</i>  |
| <b>IPCC</b>           | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>                                     |

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>IPI</b>           | Imposto sobre Produtos Industrializados                            |
| <b>IPT</b>           | Instituto de Pesquisas Tecnológicas                                |
| <b>LULUCF</b>        | <i>Land-Use, Land-Use Change and Forestry</i>                      |
| <b>MCT</b>           | Ministério da Ciência e Tecnologia                                 |
| <b>MDL</b>           | Mecanismo de Desenvolvimento Limpo                                 |
| <b>N</b>             | Nitrogênio   |
| <b>N<sub>2</sub></b> | Nitrogênio molecular   |
| <b>NBR</b>           | Normas Brasileiras   |
| <b>O</b>             | Oxigênio   |
| <b>O<sub>2</sub></b> | Oxigênio molecular   |
| <b>ONU</b>           | Organização das Nações Unidas                                      |
| <b>PAG</b>           | Potencial de Aquecimento Global                                    |
| <b>PDD</b>           | Project Design Document  |
| <b>PGRSS</b>         | Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde            |
| <b>pH</b>            | Potencial hidrogeniônico   |
| <b>PIS</b>           | Programa de Integração Social                                      |
| <b>PNUMA</b>         | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente                    |
| <b>PNUD</b>          | Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento                  |
| <b>PNSB</b>          | Pesquisa Nacional sobre o Saneamento Básico                        |
| <b>PPGEQ</b>         | Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia           |
| <b>PROCLIMA</b>      | Programa Estadual de Mudanças Climáticas                           |
| <b>PROSAB</b>        | Programa de Pesquisa em Saneamento Básico                          |
| <b>RSS</b>           | Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde                              |
| <b>RSU</b>           | Resíduos Sólidos Urbanos   |
| <b>UERJ</b>          | Universidade do Estado do Rio de Janeiro                           |
| <b>UNFCCC</b>        | <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>       |
| <b>USEPA</b>         | <i>Environmental Protection Agency - United States of America</i>  |
| <b>WMO</b>           | <i>World Meteorological Organization</i>                           |
| <b>WWIUMA</b>        | <i>Worldwatch Institute / Universidade Livre da Mata Atlântica</i> |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>15</b> |
| 1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....  | 15        |
| 1.2 ORGANIZAÇÃO DA REDAÇÃO .....  | 3         |
| 1.3 OBJETIVO DA PESQUISA .....  | 4         |
| <b>2 METODOLOGIA DE PESQUISA.....</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1 INTRODUÇÃO TEÓRICA .....  | 6         |
| 2.1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....  | 6         |
| 2.1.2 METODOLOGIA CIENTÍFICA .....  | 6         |
| 2.1.3 PESQUISA.....   | 7         |
| 2.2 A PESQUISA REALIZADA.....   | 7         |
| 2.2.1 A PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....   | 8         |
| 2.2.2 A DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....   | 9         |
| 2.2.3 O ESTUDO EXPLORATÓRIO.....  | 9         |
| <b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA I - AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, O EFEITO ESTUFA E O PROTOCOLO DE QUIOTO.....</b>   | <b>11</b> |
| 3.1 OS ASPECTOS RELACIONADOS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....  | 12        |
| 3.2 OS GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE).....  | 14        |
| 3.3 A EVOLUÇÃO DAS CONVENÇÕES DO PROTOCOLO DE QUIOTO .....  | 18        |
| 3.4 O PROTOCOLO DE QUIOTO.....  | 20        |
| 3.4.1 O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO .....  | 22        |
| 3.5 O CENÁRIO ATUAL DAS ATIVIDADES DE PROJETO NO ÂMBITO DO MDL  | 24        |
| <b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA II - ASPECTOS LEGAIS, NORMATIVOS E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E CONSIDERAÇÕES SOBRE A GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS .....</b> | <b>27</b> |
| 4.1 DEFINIÇÕES .....  | 28        |
| 4.2 ASPECTOS LEGAIS.....  | 28        |
| 4.3 NORMALIZAÇÃO TÉCNICA.....   | 30        |
| 4.4 LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....  | 31        |
| 4.5 CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....   | 33        |
| 4.6 ASPECTOS LEGAIS PARA RSS.....   | 35        |
| 4.7 NORMALIZAÇÃO TÉCNICA PARA RSS .....   | 38        |
| 4.8 CLASSIFICAÇÃO DE RSS .....  | 39        |
| 4.9 OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU).....  | 41        |
| 4.9.1 OS ASPECTOS RELACIONADOS À GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....  | 41        |
| 4.9.2 OS ASPECTOS RELACIONADOS À GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE .....  | 43        |
| 4.9.3 A DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....   | 44        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.9.4 A GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO.....   | 46        |
| 4.10 A COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS .....  | 48        |
| 4.11 AS VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS .....  | 50        |
| 4.11.1 COMPOSIÇÃO.....   | 50        |
| 4.11.2 UMIDADE.....  | 50        |
| 4.11.3 DIMENSÃO DAS PARTÍCULAS.....  | 51        |
| 4.11.4 TEMPERATURA .....   | 51        |
| 4.11.5 pH.....   | 51        |
| 4.11.6 PROJETO DO ATERRO .....   | 52        |
| 4.11.7 OPERAÇÃO DO ATERRO.....   | 52        |
| 4.11.8 IDADE DO LIXO.....  | 52        |
| <b>5 AS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS<br/>SÓLIDOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE E AS CONSIDERAÇÕES PARA A<br/>INCINERAÇÃO.....</b> | <b>53</b> |
| 5.1 AS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO DE RSS .....   | 54        |
| 5.1.1 ESTERILIZAÇÃO.....   | 54        |
| 5.1.2 INCINERAÇÃO .....  | 55        |
| 5.2 OS CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DO TIPO DE TRATAMENTO.....   | 56        |
| 5.3 A COMPARAÇÃO ENTRE AS USINAS DE INCINERAÇÃO E OS ATERROS<br>SANITÁRIOS.....  | 57        |
| 5.4 A TECNOLOGIA DE INCINERAÇÃO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....   | 58        |
| <b>6 ESTUDO DE CASO.....</b>   | <b>61</b> |
| 6.1 A ÁREA OBSERVADA DURANTE A PESQUISA DE CAMPO .....   | 62        |
| 6.2 O MUNICÍPIO DO ATERRO SANITÁRIO .....  | 63        |
| 6.3 O ATERRO SANITÁRIO .....   | 63        |
| 6.3.1 A ESTRUTURA DIMENSIONADA PARA O APORTE DE RESÍDUO.....   | 63        |
| 6.3.2 A CAPACIDADE DE APORTE DE RESÍDUO E DE GERAÇÃO DE BIOGÁS .....   | 66        |
| 6.4 O PROJETO DE REAPROVEITAMENTO E QUEIMA DE BIOGÁS .....   | 67        |
| 6.5 A UNIDADE DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS INFECTANTES (UTRI) .....   | 68        |
| <b>7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DUAS TECNOLOGIAS PARA<br/>INCINERAÇÃO DE RSS EM ATERROS SANITÁRIOS.....</b>                           | <b>71</b> |
| 7.1 AS TECNOLOGIAS CONSULTADAS DE INCINERADORES PRÓPRIOS PARA<br>O TRATAMENTO DE RSS.....  | 72        |
| 7.1.1 PROCESSO DE INCINERAÇÃO 1 .....  | 72        |
| 7.1.2 PROCESSO DE INCINERAÇÃO 2 .....  | 75        |
| 7.1.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS DUAS TECNOLOGIAS DE INCINERAÇÃO.....  | 77        |
| <b>8 ANÁLISE E DISCUSSÃO SOBRE AS ALTERNATIVAS DE<br/>INVESTIMENTO PARA O TRATAMENTO DE RSS EM ATERROS<br/>SANITÁRIOS.....</b>       | <b>78</b> |
| 8.1 ANÁLISE COMPARATIVA DO VALOR PARA O INVESTIMENTO .....   | 79        |
| 8.2 DISCUSSÃO SOBRE OS CÁLCULOS REALIZADOS.....  | 85        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>9 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....  | <b>87</b>  |
| 9.1 CONCLUSÃO.....  | 87         |
| 9.2 RECOMENDAÇÕES .....   | 88         |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | <b>89</b>  |
| <b>ANEXOS</b> .....   | <b>102</b> |
| Anexo A – Métodos numéricos para o cálculo do inventário de metano .....  | 102        |
| Anexo B – O Plano de Monitoramento do combustor de biogás .....   | 107        |
| Anexo C – Redução das emissões de CH <sub>4</sub> de combustores de biogás .....  | 109        |
| Anexo D – Redução das emissões de CH <sub>4</sub> de geradores de eletricidade.....   | 110        |
| Anexo E – A estratégia e a periodicidade definida para monitoramento .....  | 111        |
| Anexo F – A metodologia de monitoramento contínuo para o combustor de metano proposta por empresa inserida no setor de análise de gases ..... | 112        |
| Anexo G – Eficiência de combustor de metano segundo o anexo 13 .....  | 114        |
| Anexo H – Eficiência de combustor de metano através de planilha de cálculo.....   | 119        |
| Anexo I – Gráfico comparativo de desvio entre as metodologias de cálculo da eficiência do combustor de metano .....                           | 120        |
| Anexo J – Espécies de árvores para reflorestamento do aterro sanitário .....  | 121        |
| Anexo K – Mensagem de catadora de lixo do Jardim Gramacho.....  | 122        |

# 1 INTRODUÇÃO

---

## 1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No período de 1789 a 1848, a Revolução Industrial e a Revolução Francesa promoveram grandes transformações na sociedade. Tais movimentos foram responsáveis por significativas mudanças nos costumes e no pensamento, destacaram-se pela abrangência e contribuíram para a construção do modelo de sociedade ainda vigente.

Do ponto de vista da formação ideológica (HOBSBAWM, 1996), no período conhecido como “Era das Revoluções”, que abrange de 1789 a 1848, a sociedade apresentava uma divisão irreconciliável entre duas correntes de pensamento. A primeira corrente é a dos que acreditavam no progresso e apoiavam os rumos que se delineavam para o futuro do mundo e a segunda é a dos que não aceitavam tais perspectivas de mudanças.

HOBSBAWM (1996), em sua obra “*A Era das Revoluções*”, definiu o mundo humano como sendo

*“... constituído de átomos individuais com certas paixões e necessidades, cada um procurando acima de tudo aumentar ao máximo suas satisfações e diminuir seus desprazeres, nisto igual a todos os outros, e naturalmente não reconhecendo limites ou direitos de interferência em suas pretensões”*  
(HOBSBAWM, 1996, p. 256).

TOFFLER (1995) apresentou a evolução mundial através de três ondas. A primeira onda está relacionada com a posse da terra e da agricultura, que conta com famílias numerosas para o trabalho na lavoura e conhecimento transmitido oralmente. A segunda foi o momento da Revolução Industrial, momento em que as famílias tornaram-se menores e surgiram as escolas para a alfabetização de agricultores e filhos de comerciantes para a operação das máquinas. A terceira onda está ocorrendo atualmente, que é conhecida como a Sociedade da Informação. A economia não depende mais de recursos físicos, mas sim de informações, serviços e tecnologias do conhecimento.

MALTHUS (1798), em sua obra “*Ensaio sobre a População*”, estabeleceu relação entre a questão da riqueza, a pobreza e o progresso, concluindo assim que a origem da miséria não é a má distribuição da riqueza, mas ao contrário, é o crescimento desordenado da população. O autor também afirmou que o crescimento populacional ocorre em progressão geométrica e que os meios de subsistência crescem apenas em progressão aritmética.

O crescimento populacional ocorrido após a Revolução Industrial foi visto por alguns como uma conquista do homem, que se adaptava melhor à vida no planeta, e por outros, como motivo de preocupação por significar grandes problemas futuros, como por exemplo, consumo dos recursos naturais ou dos meios de subsistência, poluição causada pelas indústrias, dentre outras conseqüências catastróficas para a manutenção da vida no planeta.

As ações do homem voltadas para o crescimento econômico e industrial provocam aumento nas emissões dos gases do efeito estufa (GEEs), causando mudanças climáticas devido à elevação da temperatura média global, que afeta a vida de todos os seres vivos.

As alterações climáticas levaram às discussões sobre as questões ambientais e às convenções sobre as mudanças climáticas, que deram origem ao Protocolo de Quioto. O protocolo estabeleceu metas de redução das emissões dos gases do efeito estufa para os países, que apresentam maior contribuição das emissões à atmosfera. Dessa forma, surgiu a possibilidade de investimento em projetos com metas para redução das emissões através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Segundo informações obtidas na página da internet do Ministério de Ciência e Tecnologia [www.mct.com.br](http://www.mct.com.br), obtido em 6 de março de 2008, que disponibiliza o cenário atual dos projetos MDL no mundo, constata-se que o Brasil conta com diversos projetos MDL, que visam à lucratividade com a negociação de créditos de carbono (CERs), que são oriundos da redução calculada das emissões de GEEs, para negociação entre os países contemplados no Protocolo de Quioto.

O aumento na geração de resíduos sólidos urbanos municipais tem representado um grande problema nas grandes cidades. A existência de área suficiente e adequada para a disposição final desses resíduos e a possibilidade de captação e obtenção de créditos de carbono a partir do biogás proveniente do lixo urbano, tem levado investidores a aplicar projetos MDL em aterros sanitários com foco na redução das emissões dos GEEs à atmosfera.

A partir do acordo estabelecido pelo Protocolo de Quioto, surgiram investimentos em projetos MDL com sistema de captação e queima de metano para obtenção de créditos de carbono em aterros sanitários. O aterro sanitário utilizado como referência utiliza combustor de biogás, que opera com taxa de conversão de metano em gás carbônico com eficiência de



99,99%, conforme dado apresentado em visita realizada à empresa. A reação de combustão é suficiente para representar a redução do impacto ambiental e a obtenção dos CERs, que constitui grande oportunidade para que novas tecnologias sejam implementadas na busca pelo desenvolvimento sustentável nos aterros sanitários.

O aumento na geração de Resíduos Sólidos de Serviço de Saúde (RSS) também representa um grande problema nas grandes cidades. A quantidade de RSS gerada no estado do Rio de Janeiro é estimada em aproximadamente 111,84 toneladas por dia (t/dia), sendo que apenas 4,33 t/dia são tratados adequadamente (ABRELPE, 2006). Esta informação comprova o descontrole do município para o gerenciamento desses resíduos.

O estudo comparativo da incineração de RSS com o equipamento de desinfecção térmica a vapor instalado na área de aterro sanitário do estado do Rio de Janeiro para tratamento dedicado aos resíduos infectantes, visa a oferecer conhecimento e embasamento teórico para que a tecnologia seja considerada como uma alternativa interessante e viável para a implementação e uso próprio para o tratamento de RSS.

A incineração de RSS está em acordo com o objetivo de desenvolvimento sustentável para os aterros sanitários. A questão da destinação dos RSS representa um problema devido à questão do seu manuseio e dos riscos à saúde pública, porém o processo de incineração reduz o seu volume, elimina as características infectantes desses resíduos e permite que o produto do incinerador seja encaminhado para disposição final na área do aterro.

## **1.2 ORGANIZAÇÃO DA REDAÇÃO**

O conteúdo desta pesquisa foi disposto conforme citado no capítulo II, onde está apresentada a metodologia para o desenvolvimento do estudo.

No capítulo III é apresentada a questão do efeito estufa, a correlação entre a temperatura média da Terra com o aumento das emissões dos GEEs, as mudanças climáticas e os impactos ao meio ambiente, os GEEs e seus respectivos potenciais sobre o aquecimento global, o total das emissões mundiais, segundo o IPCC, a abordagem com relação às emissões no futuro e suas principais fontes de geração, o histórico das convenções sobre as mudanças climáticas, o Protocolo de Quioto, uma visão geral sobre o que é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, a distribuição, através de porcentagem, dos principais países emissores de gás carbônico, e o cenário atual de projetos MDL no Brasil e no mundo.

No capítulo IV são apresentadas as leis, as normas técnicas, a questão do licenciamento ambiental e a classificação dos resíduos sólidos, considerando-se a aplicação

voltada para aterros sanitários com projetos MDL, é apresentada abordagem específica para a questão dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde (RSS) e dos resíduos sólidos, que inclui os aspectos relacionados ao seu gerenciamento, ao processo de decomposição e à geração de biogás, a composição e as variáveis que influenciam em sua produção.

O capítulo V apresenta abordagem voltada para as alternativas para o tratamento de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde (RSS), a comparação entre as tecnologias existentes para o tratamento, a comparação entre as usinas de incineração e os aterros sanitários e a tecnologia para incineração de resíduos sólidos urbanos.

O capítulo VI apresenta o estudo de caso com uma visão geral da área observada durante as visitas para a realização da pesquisa, a região das instalações, o aterro sanitário e o projeto MDL e o detalhamento da Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes (UTRI), que é destinada ao pré-tratamento dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde Infectantes.

O capítulo VII disponibiliza informações técnicas sobre dois incineradores de resíduos sólidos, com relação à tecnologia de incineração adotada para o tratamento de RSS. São apresentadas algumas observações com relação aos processos, visando à comparação com o processo de desinfecção térmica a vapor instalado para a UTRI.

No capítulo VIII é apresentada a análise econômica comparativa dos processos de incineração e de desinfecção térmica a vapor com relação ao valor do investimento necessário para a implementação desses processos para o tratamento de RSS e ao custo total para o tratamento por quilograma de resíduo tratado nos processos. A partir dos cálculos realizados foi disponibilizada a discussão sobre as considerações da planilha utilizada para a obtenção das variáveis que devem ser consideradas anteriormente à execução do projeto.

Para finalizar, o capítulo IX traz as conclusões sobre o trabalho desenvolvido, assim como as recomendações para os gestores em atuação na área e para os futuros estudos.

### **1.3 OBJETIVO DA PESQUISA**

A pesquisa consiste na comparação do processo de desinfecção térmica a vapor da Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes (UTRI), que foi instalada na área de um aterro sanitário do estado do Rio de Janeiro, com o processo de incineração, que é viável e requer menor valor para o investimento e para o custo de tratamento dos resíduos (RSS).

O objetivo secundário com a realização da pesquisa exploratória foi de avaliar a estrutura do aterro sanitário e do projeto de MDL, que inclui o estudo de alternativas para o tratamento de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde.

## **2 METODOLOGIA DE PESQUISA**

---

A pesquisa científica deste estudo foi classificada quanto ao seu objetivo, com a realização de pesquisa exploratória, descritiva e explicativa, quanto à sua forma de abordagem, sua natureza e aos procedimentos adotados.

O procedimento adotado para a pesquisa foi a realização de estudo bibliográfico a partir de um projeto de processo já existente, a delimitação para a definição dos limites para a pesquisa e o estudo exploratório, que contempla as visitas ao aterro sanitário e o acompanhamento da operação da Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes, que é o objeto principal do estudo para a comparação com o processo de incineração.

A busca do entendimento sobre os fatos, através da investigação, o avanço da tecnologia, os estudos de campo, a busca nas páginas da internet, o conhecimento adquirido através dos livros, artigos, dissertações e a participação em eventos relacionados ao tema possibilitaram alcançar os objetivos propostos.

## **2.1 INTRODUÇÃO TEÓRICA**

### *2.1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS*

Segundo FACHIN (2001), a literatura científica apresenta que com o passar dos anos, a humanidade acumulou uma série de informações que foram traduzidas como conhecimento. A necessidade da evolução do ser humano o levou a observar o meio ambiente, para facilitar suas atividades cotidianas e por meio da observação e experimentação, criou oportunidades de aprendizado e mitos que explicam a seqüência dos acontecimentos.

A evolução através do desenvolvimento da inteligência dos seres humanos é estabelecida através do medo, do misticismo e da ciência (GALLIANO, 1986).

O medo representa o mau entendimento dos humanos pré-históricos aos fenômenos da natureza, porém a evolução e a tentativa de explicação dos fenômenos partiram do pensamento mágico, do misticismo e das crenças e superstições para a busca por respostas através de caminhos que pudessem ser comprovados, nascendo a ciência metódica, que objetiva aproximação à lógica.

Segundo GALLIANO (1986), a evolução do conhecimento humano está correlacionada à sua característica de vivência em grupo. O saber dos indivíduos é compartilhado e contribui para o crescimento individual. Da mesma forma, a pesquisa corresponde a uma nova forma de conhecimento que amplia os caminhos e a instrumentação.

### *2.1.2 METODOLOGIA CIENTÍFICA*

GALLIANO (1986) definiu a metodologia científica como o método que permite respostas às dúvidas que devem ser buscadas através do rigor científico e apresentadas através das normas acadêmicas vigentes.

GIL (1996) definiu a metodologia científica como um conjunto de métodos que permitem realizar as atividades de forma estruturada.

LAKATOS e MARCONI (1991) definiram a metodologia científica como um conjunto de etapas ordenadamente dispostas a serem vencidas na investigação de um fenômeno ou de uma hipótese.

A metodologia científica corresponde a uma ferramenta indispensável ao desenvolvimento e à viabilização dos objetivos acadêmicos, que são realizados através de pesquisa comprobatória, que possibilita a evolução e disseminação do conhecimento humano.

É de importância fundamental na formação do profissional, pois estabelece os critérios acadêmicos necessários para a construção do conhecimento científico.

### *2.1.3 PESQUISA*

CERVO e BERVIAN (1983) definiram pesquisa como uma atividade que utiliza métodos científicos para solucionar os problemas encontrados. Segundo os pensadores, deve-se partir de uma dúvida ou problema para se buscar uma resposta através de um método científico, ou seja, problema, método científico e resposta são imprescindíveis para a solução.

DEMO (1996) ressalta o papel fundamental da pesquisa no processo de aprendizagem qualitativa das escolas e universidades, bem como a importância pedagógica na formação da capacidade intelectual do ser humano.

GIL (1996) apresenta a realidade como composta por ideologias, representações mentais, símbolos, crenças e valores, assim como os perfis comportamentais dos indivíduos construídos desde a sua infância, na determinação da concepção do mundo.

A humanidade acumula conhecimento através dos mais diversos meios de informação, porém torna-se necessário saber ler, ouvir, questionar e observar. Segundo DEMO (1996) a procura do saber deve ser uma das maiores preocupações da vida e o aprendizado é fundamental para o domínio da arte, da ciência ou de qualquer profissão. A pesquisa é a base para o crescimento humano em seu sentido amplo (GOLDENBERG, 1999).

A pesquisa deve ser realizada através de procedimento racional e sistemático para se obter respostas aos problemas propostos. Dessa forma, torna-se possível desvendar questionamentos que transformam a realidade e contribuem à evolução humana.

## **2.2 A PESQUISA REALIZADA**

A pesquisa científica deste estudo foi realizada conforme definido por SILVA e MENEZES (2001), que a classifica quanto ao seu objetivo, sua forma de abordagem, sua natureza e os procedimentos adotados pelo pesquisador.

O objetivo da pesquisa foi desenvolvido de acordo com o estabelecido por GIL (1996), que considera fundamental a realização de pesquisa exploratória, descritiva e explicativa.

A pesquisa exploratória foi realizada com atenção diferenciada tendo em vista que o objeto de estudo apresenta estudos científicos recentes, portanto, há dificuldade de encontrar aprofundamento teórico ao tema através de livros, artigos ou teses. Dessa forma, seguindo a

obra de GIL (1996), a pesquisa exploratória contempla revisão bibliográfica e, principalmente, pesquisa oitiva com os atores envolvidos no processo pesquisado, porém foram utilizados procedimentos e documentos oficiais disponibilizados em página oficial eletrônica para validação dos conceitos, avaliação do sistema de gestão e para definição da abordagem.

A abordagem da pesquisa foi qualitativa, através da observação de um detalhamento relacionado à empresa e do processo utilizado como referência para a compreensão dos fenômenos obtidos neste processo. Tal observação foi possível com o auxílio dos funcionários desta empresa, que serviram também como interlocutores em outras etapas da pesquisa. Realizou-se uma abordagem quantitativa através de pesquisa bibliográfica, coleta e análise de dados a partir das informações obtidas.

A pesquisa foi classificada como aplicada, dedicada a um projeto desenvolvido em município de pequeno porte com interesses privados e do próprio município, que deve ser preservado para não afetar os interesses locais, mantendo a oportunidade para a permanência de investidores e a manutenção da integridade da população envolvida. Dessa forma, com a realização da pesquisa, pretende-se quebrar paradigmas e contribuir para o desenvolvimento de novos processos, estratégias e tecnologias.

O procedimento adotado para a pesquisa foi o estudo bibliográfico a partir de um projeto de processo já existente, que foi estudado a partir de páginas da internet oficiais e gerais, artigos, teses, livros, legislação, normalizações, através de palestras relacionadas ao tema e a partir da experiência adquirida no contato com empresas que atuaram para a implementação do processo em questão. Além disso, foram realizadas diversas visitas para a obtenção do conhecimento prático do processo, que corresponde ao objeto da pesquisa.

### *2.2.1 A PESQUISA BIBLIOGRÁFICA*

A pesquisa foi fundamentada com base na bibliografia existente sobre os aterros sanitários, os projetos de MDL implementados, as questões sócio-ambientais correlacionadas, as legislações e normalizações específicas e as tecnologias vigentes, que inclui principalmente as utilizadas atualmente para o tratamento de resíduos sólidos de serviços de saúde. O material teórico encontrado foi fundamental para o estudo comparativo entre o processo de desinfecção térmica a vapor instalado na área de aterro sanitário do estado do Rio de Janeiro e a incineração para o tratamento desses resíduos.

A pesquisa através de páginas da internet contribuiu para o desenvolvimento de instrumental teórico necessário. O conteúdo observado mostrou-se abrangente e de grande valia para a constituição das bases teórico-metodológicas deste trabalho porque elucidou a questão das metodologias existentes relacionadas ao tema.

A pesquisa bibliográfica levou à constatação de que existem poucos trabalhos acadêmicos para questionamento das estratégias adotadas para instalação de projetos MDL e de tecnologia para o tratamento dos resíduos sólidos de serviços de saúde em aterros sanitários. Todos os envolvidos nesses projetos carecem de informações para a tomada de decisões, para a implementação de alternativas ambientalmente favoráveis.

A fundamentação teórica foi complementada com a participação em seminário sobre o aproveitamento energético de biogás para a geração de energia (CEEE, CREA-RJ, 2008), onde foi levantado questionamento sobre metodologias e alternativas para o reaproveitamento energético e as questões relacionadas aos projetos que já foram desenvolvidos no Brasil.

### *2.2.2 A DELIMITAÇÃO DO ESTUDO*

O estudo foi concebido a partir do conhecimento adquirido através da atuação em empresa prestadora de serviços para instalação de equipamentos, medição e monitoramento de corrente de biogás proveniente de projetos de MDL em aterros sanitários.

A pesquisa consistiu na comparação entre a tecnologia de incineração e de desinfecção térmica a vapor, que foi considerada pelos responsáveis pela instalação do processo em área do aterro sanitário do estado do Rio de Janeiro, como a tecnologia mais adequada para uma Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes.

A pesquisa aborda o aterro sanitário, o projeto de MDL como uma iniciativa limpa, a geração de biogás, o cenário atual das mudanças climáticas, as legislações e normalizações envolvidas e as alternativas para o tratamento de resíduos sólidos de serviços de saúde, com foco voltado para os processos de desinfecção térmica a vapor e de incineração.

### *2.2.3 O ESTUDO EXPLORATÓRIO*

O levantamento de dados foi realizado principalmente por meio de visitas locais com acompanhamento da operação de um aterro sanitário e principalmente da Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes localizados no estado do Rio de Janeiro, que é o objeto de estudo da pesquisa observado durante 7 dias. Além disso, foram consideradas entrevistas com

os profissionais em atuação no aterro sanitário observado e consultas bibliográficas específicas disponibilizadas nas páginas da internet <http://cdm.unfccc.int/index.html> e <http://www.mct.gov.br/>, que dispõem da documentação de todos os projetos de MDL desenvolvidos, aprovados e em andamento no mundo. As consultas às páginas da internet foram realizadas em janeiro de 2008.



### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA I - AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, O EFEITO ESTUFA E O PROTOCOLO DE QUIOTO**

---

O aquecimento global é tema de inúmeras discussões. A possibilidade de mudança no modo de vida da sociedade fomenta novos estudos que visam a amenizar seus efeitos.

O aumento da concentração dos Gases do Efeito Estufa na atmosfera promove o aumento na temperatura média global com o passar dos anos. Já foi comprovado que ocorre derretimento parcial das regiões polares, causando inundações e ameaças quanto à possibilidade de manter as condições climáticas favoráveis à existência de vida no futuro.

O histórico das convenções sobre as mudanças climáticas é apresentado desde a criação do *IPCC*, com a emissão de relatórios anuais sobre as mudanças climáticas até o surgimento do Protocolo de Quioto, que foi aprovado, validado e entrou em vigor no ano de 2005. Este histórico é apresentado para posicionamento com relação às considerações necessárias para o desenvolvimento dos projetos de créditos de carbono.

O Protocolo de Quioto é apresentado com descrição embasada em informações extraídas diretamente do documento oficial, que está disponibilizado na página da internet do Ministério de Ciência e Tecnologia. É apresentado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, o detalhamento com relação ao ciclo de obtenção de um projeto do MDL e o cenário das emissões de gás carbônico de cada país citado no anexo I desta convenção.

As atividades de projeto são apresentadas conforme disponibilizado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia. É realizado detalhamento sobre as atividades dos projetos em desenvolvimento no mundo, as atividades de projetos no Brasil, classificados por tipo de GEE e a situação atual dos projetos registrados no conselho executivo do MDL.

### 3.1 OS ASPECTOS RELACIONADOS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O efeito estufa é um fenômeno natural, que promove a estabilidade da temperatura na Terra, favorecendo a manutenção da vida no planeta.

A Figura 1 permite visualizar como ocorre a formação do efeito estufa. De acordo com a figura, a radiação solar emitida, ao atingir a camada dos gases do efeito estufa e as nuvens, é minimizada antes de atingir a superfície do planeta. Do total da radiação solar que atinge a superfície da Terra, a maior parte é absorvida e a menor refletida pela atmosfera. Os raios solares absorvidos na superfície do planeta são convertidos em calor e refletidos para a atmosfera na forma de raios infravermelhos. Estes raios são emitidos como ondas de calor e a fração absorvida pela camada formada pelos gases do efeito estufa é refletida de volta à superfície da Terra, formando um ciclo de absorção e reflexão de calor pelos gases, que são os responsáveis pela manutenção do equilíbrio térmico do planeta Terra.

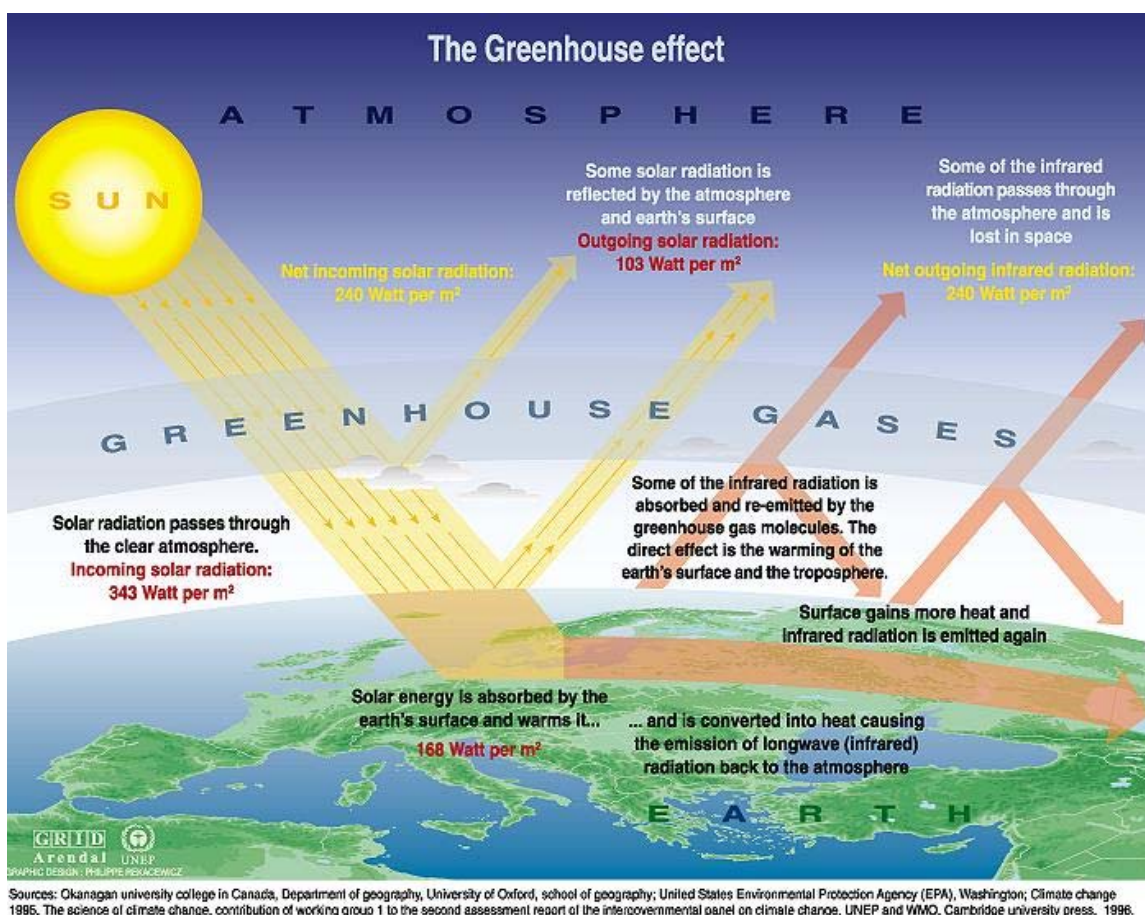


Figura 1 – O fenômeno do efeito estufa

Fonte: (UNFCCC, 2005) Disponível em: [http://old.thegreeninitiative.com/pt/gh\\_img\\_pt.html](http://old.thegreeninitiative.com/pt/gh_img_pt.html), acesso em: 12/2007

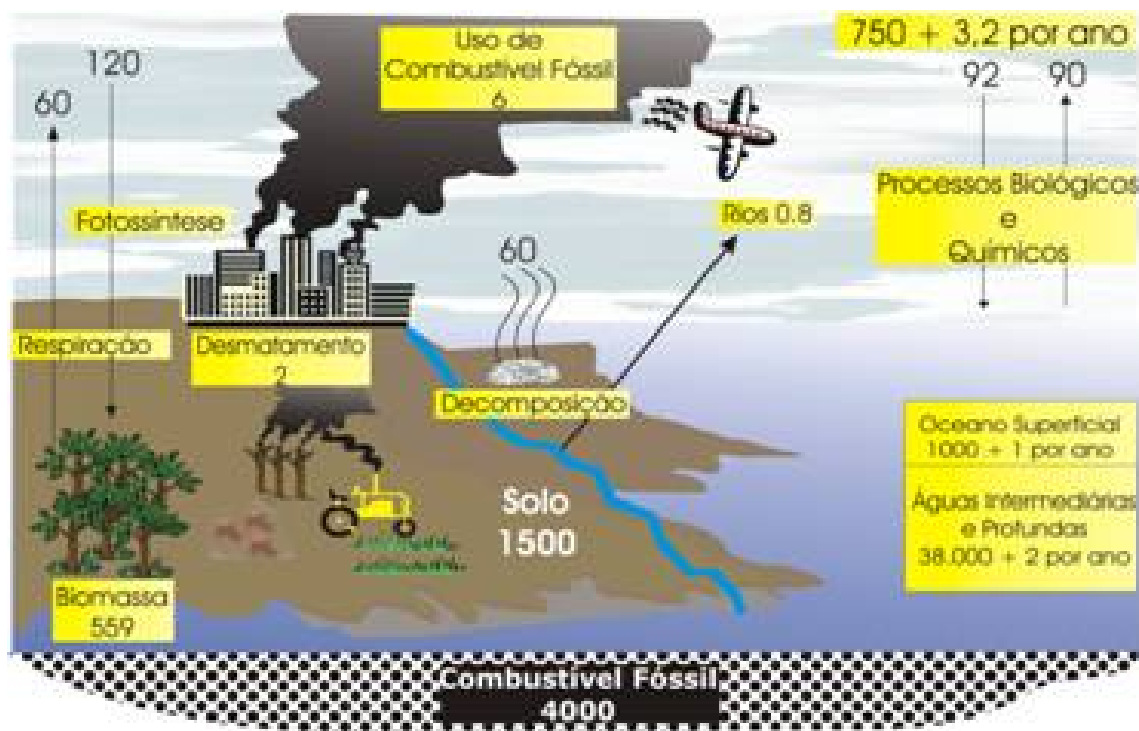
Os GEEs são produzidos naturalmente, porém o aumento das atividades industriais, da queima de combustíveis fósseis, da degradação de resíduos orgânicos, do desmatamento, dentre outras atividades realizadas pelo homem, afeta este equilíbrio, de forma que há aumento significativo das emissões destes gases à atmosfera.

O crescimento desordenado da população e o aumento da produtividade nas indústrias promovem o aumento das emissões dos GEEs, que são responsáveis pela absorção de calor e manutenção da temperatura da Terra aquecida, porém com o aumento progressivo da concentração desses gases na atmosfera, a capacidade de retenção de calor e a temperatura média global aumentam assustadoramente com o passar dos anos.

As discussões sobre as mudanças climáticas apresentam-se mais frequentes nos países que já atingiram um patamar de desenvolvimento que lhes permitem negociar politicamente sobre as questões globais. Os debates também englobam a preocupação com o cenário para a manutenção da vida no futuro.

As alterações do clima mundial poderão promover aumento do nível dos oceanos e conseqüentes erosões costeiras, aumento das ondas de calor que é representado pelo desequilíbrio térmico, maiores riscos de enchentes no inverno, que ocasionarão menos chuvas, porém mais intensas, e secas mais extremas no verão, aumentando a probabilidade de incêndios. Também serão maiores as perdas de produtividade na agricultura, dentre outras atividades que afetarão as gerações futuras (WWIUMA, 2008).

A Figura 2 ilustra o cenário atual dos possíveis impactos ambientais com a destruição dos principais estoques de carbono existentes e apresenta os valores de carbono em gigatoneladas por ano. A figura mostra que os estoques de carbono em reservatórios petrolíferos e oceanos são os mais significativos para a manutenção do equilíbrio global. A queima de combustíveis fósseis, por exemplo, promove a geração da energia necessária à indústria, porém transfere bilhões de toneladas de carbono para a atmosfera.



**Figura 2 – Os principais estoques de carbono no ambiente em giga-toneladas por ano**

Fonte: Artigo elaborado para o Instituto Internacional de Educação do Brasil (IIEB), durante o II Curso “Ciclo do Carbono” Disponível em: <http://www.imoveisvirtuais.com.br/sequestrodecarbono2.htm>, acesso em: 01/2008

Com o início da Revolução Industrial, a concentração atmosférica de dióxido de carbono e óxido nítrico aumentou 30% e 15%, respectivamente; a concentração de metano dobrou e estima-se, para os próximos 100 anos, que a temperatura média do planeta sofrerá aumento que poderá variar de 1,4 °C a 5,8 °C (USEPA, 2006).

O aquecimento global é tema de inúmeras discussões, a possibilidade de mudança no modo de vida da sociedade fomenta novos estudos que visam a amenizar seus efeitos. Já foi comprovado que ocorre derretimento parcial das regiões polares, causando o aumento do nível dos oceanos, inundações e ameaças relacionadas ao desaparecimento de países inteiros (MCT, 2008).

### 3.2 OS GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE)

A presença de vapor d'água, dióxido de carbono, metano e óxido nítrico na atmosfera, em níveis adequados, é fundamental para a formação e manutenção da camada dos gases que são responsáveis pela retenção de calor junto à superfície do planeta.

O dióxido de carbono, conhecido também como gás carbônico ou CO<sub>2</sub>, é um gás presente na natureza, que é produzido por microrganismos na fermentação, degradação de matéria orgânica e na respiração celular. O dióxido de carbono é liberado na atmosfera através

da combustão de compostos orgânicos diversos, tais como a queima de combustíveis fósseis e os resultantes das queimadas.

O metano ou  $\text{CH}_4$  é emitido na natureza principalmente por matéria orgânica em decomposição. As principais fontes de emissão de metano são: a indústria petroquímica, a criação de gado devido à fermentação entérica dos ruminantes, as bactérias presentes nos pântanos e arrozais, a queima de biomassa e combustíveis fósseis, a decomposição de resíduos orgânicos em aterros, o tratamento de esgoto e os dejetos de animais.

O óxido nitroso ou  $\text{N}_2\text{O}$  é emitido naturalmente pelos oceanos e florestas tropicais durante atividades agrícolas e industriais, como os da indústria de produção de ácido nítrico e do processo de combustão de resíduos sólidos e de resíduos fósseis.

O aumento das emissões gasosas, principalmente devido às atividades industriais, aumenta a concentração desses gases na atmosfera, aumenta a capacidade da camada protetora da superfície da Terra de reter calor e acrescenta diversos gases ao grupo dos GEEs, que não são produzidos naturalmente como, por exemplo, hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ). Os HFCs e os PFCs são considerados os GEEs com maior capacidade de retenção de calor e não estariam presentes na atmosfera, se não fosse pela responsabilidade do homem.

O termo Potencial de Aquecimento Global (PAG) foi desenvolvido para permitir a comparação entre as capacidades de retenção de calor dos diferentes gases do efeito estufa. O PAG é obtido a partir do calor retido pelo respectivo GEE dividido pela massa molar de  $\text{CO}_2$  para um período de tempo específico. Dessa forma, torna-se possível comparar os diferentes gases, quanto à capacidade de retenção de calor e à contribuição para o aquecimento global.

A Tabela 1 apresenta a fórmula química dos principais GEEs, o tempo de vida do respectivo gás na atmosfera e o valor do Potencial de Aquecimento Global correspondente, considerando o tempo específico de 100 anos, conforme estabelecido pelo IPCC (1996).

**Tabela 1 – O Potencial de Aquecimento Global (PAG) dos GEEs**

| Espécies                | Fórmula química                               | Tempo de vida (anos) | PAG    |
|-------------------------|---|----------------------|--------|
| Dióxido de Carbono      | CO <sub>2</sub>                               | Variável             | 1      |
| Metano                  | CH <sub>4</sub>                               | 12 ± 3               | 56     |
| Óxido Nitroso           | N <sub>2</sub> O                              | 120                  | 280    |
| Ozônio                  | O <sub>3</sub>                                | 0,1 - 0,3            | n.d.   |
| HFC-23                  | CHF <sub>3</sub>                              | 264                  | 9.100  |
| HFC-32                  | CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>                | 5,6                  | 2.100  |
| HFC-41                  | CH <sub>3</sub> F                             | 3,7                  | 490    |
| HFC-43-10mee            | C <sub>5</sub> H <sub>2</sub> F <sub>10</sub> | 17,1                 | 3.000  |
| HFC-125                 | C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>                | 32,6                 | 4.600  |
| HFC-134                 | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>  | 10,6                 | 2.900  |
| HFC-134 <sup>a</sup>    | CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>              | 14,6                 | 3.400  |
| HFC-152 <sup>a</sup>    | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>  | 1,5                  | 460    |
| HFC-143                 | C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>  | 3,8                  | 1.000  |
| HFC-143 <sup>a</sup>    | C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>  | 48,3                 | 5.000  |
| HFC-227ea               | C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub>                | 36,5                 | 4.300  |
| HFC-236fa               | C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub>  | 209                  | 5.100  |
| HFC-145ca               | C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> F <sub>5</sub>  | 6,6                  | 1.800  |
| Hexafluorido de Enxofre | SF <sub>6</sub>                               | 3200                 | 16.300 |
| Perfluorometano         | CF <sub>4</sub>                               | 50.000               | 4.400  |
| Perfluoroetano          | C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>                 | 10.000               | 6.200  |

Fonte: Informações extraídas de tabela disponível no Relatório do IPCC (1996)

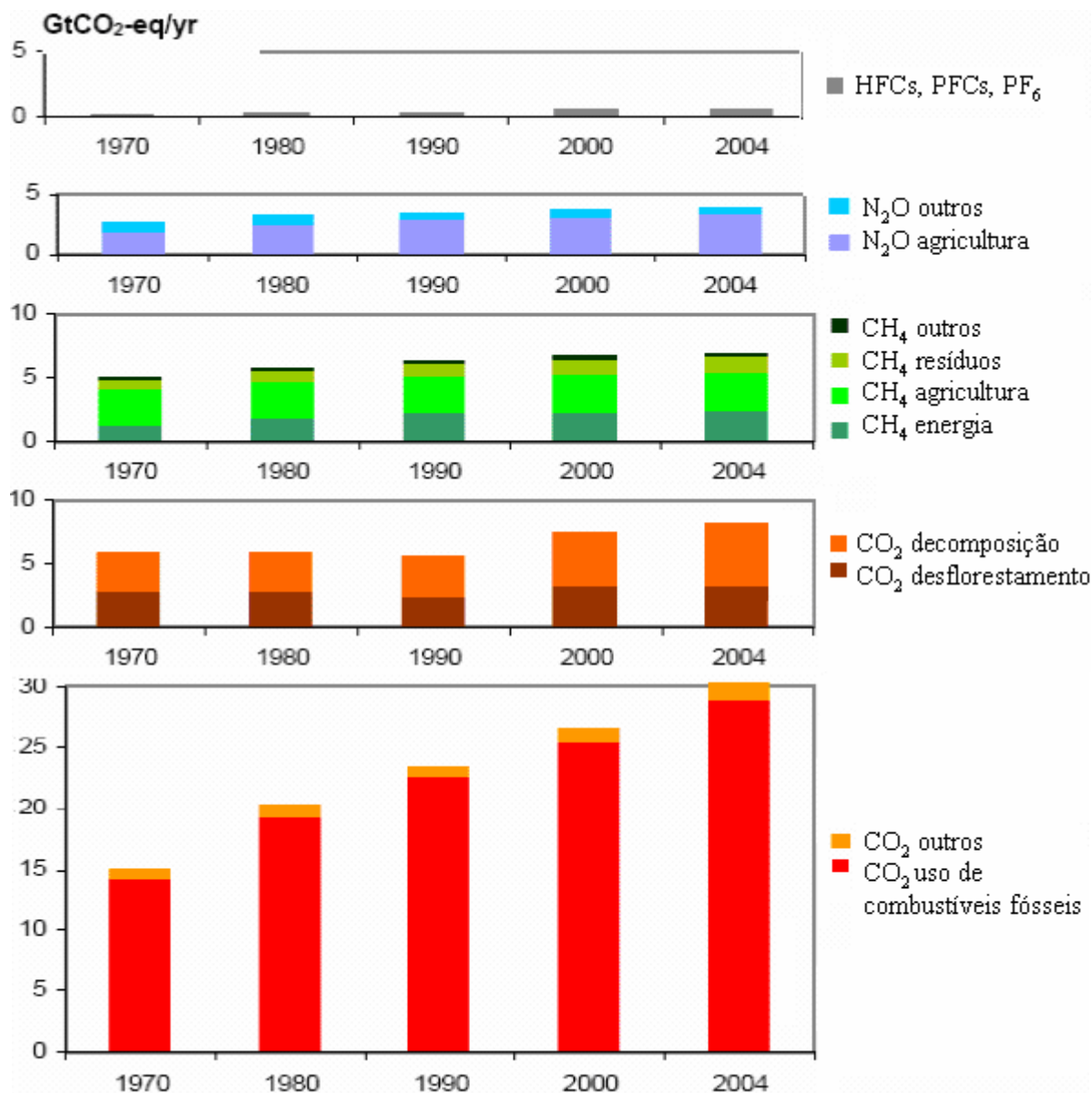
Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/>, acesso em: 12/2007

As emissões contínuas de GEEs na atmosfera são conseqüências de processos e alterações ocasionadas pelo homem, com impactos ambientais que podem se tornar irreversíveis e afetam a todos no mundo, já que estes gases se misturam uniformemente na atmosfera devido ao seu longo tempo de vida e, portanto, os impactos ambientais deles decorrentes não estão relacionados ao local de sua emissão (MCT, 2008).

A Figura 3 apresenta os gráficos de barras para cada um dos principais GEEs. Para todos os gráficos apresentados na figura, o eixo da ordenada corresponde à totalização em giga-tonelada de dióxido de carbono-equivalente (**GtCO<sub>2</sub>-eq**) e o eixo da abscissa corresponde ao cenário das emissões de GEEs no período de 1970 até 2004. As barras apresentadas para cada um dos anos foram desenvolvidas com base nas respectivas emissões durante o ano. Foi considerado o Potencial de Aquecimento Global (PAG) para cada GEE,

conforme disponibilizado pelo *IPCC* (1996) e, dessa forma, todos os gráficos foram padronizados para giga-tonelada equivalente de CO<sub>2</sub>, o que possibilitou comparar os impactos ambientais provocados por cada GEE. Os gráficos permitem visualizar o crescimento das emissões de cada GEE de acordo com os anos, e, dentro de um mesmo ano em específico, o comparativo entre suas fontes de geração. O gráfico referente ao N<sub>2</sub>O mostra que a principal fonte de geração do gás é a agricultura. O gráfico referente ao CH<sub>4</sub> mostra que, atualmente, a principal fonte de geração do gás também é a agricultura, seguido de processos que utilizam energia e de processos de decomposição de resíduos orgânicos. Os dois gráficos apresentados para o CO<sub>2</sub> constata a influência do homem no crescimento dessas emissões na atmosfera, principalmente devido ao aumento da queima de combustíveis fósseis, seguido da produção e uso de energia e das modificações no uso da terra. As emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O na atmosfera são crescentes no ano 2000, alcançaram índices surpreendentes e a estimativa para os próximos 100 anos (*IPCC*, ONU, 2007) é mais grave.

Os países, que apresentam o maior número de indústrias instaladas em seu território utilizam quantidade muito superior de carvão, óleo e gás, como fontes combustíveis para geração de energia. Países como a Índia e o Brasil também apresentam valores elevados de emissões na atmosfera, pois apresentam grande quantidade de atividades de desflorestamento ou desmatamento, que também geram emissões de GEEs, mas em quantidade muito inferior ao existente nas grandes potências mundiais e, portanto, os países desenvolvidos são os principais responsáveis pelo aquecimento global.



**Figura 3 – O crescimento das emissões dos GEEs**

Fonte: Relatório do IPCC / ONU correspondente ao quarto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Disponível em: <http://www.ecolatina.com.br/pdf/relatorio-IPCC-3.pdf>, acesso em: 01/2008

### 3.3 A EVOLUÇÃO DAS CONVENÇÕES DO PROTOCOLO DE QUIOTO

As convenções sobre as mudanças climáticas estão baseadas no princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada. A responsabilidade é comum porque os GEEs se misturam uniformemente na atmosfera e, dessa forma, torna-se impossível identificar um responsável e é diferenciada porque cada país possui uma parcela de contribuição para o aquecimento global, ou seja, cada país apresenta um nível de interferência antrópica (causada pela ação do homem ao meio ambiente) no sistema climático. Dessa forma, acirram-se as discussões acerca do problema.



Baseando-se no material que foi disponibilizado por CENAMO (2004) e consultado durante o mês de janeiro de 2008 na página da internet [http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/protocolo\\_quioto.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/protocolo_quioto.pdf), segue adiante um breve histórico sobre a evolução das convenções, que deu origem ao Protocolo de Quioto.

No ano de 1988, a *WMO* e o *PNUMA* criaram o *IPCC*, com o objetivo de gerar informações científicas, técnicas e sócio-econômicas em relatórios anuais, relacionados às mudanças climáticas globais.

No ano de 1990, o *IPCC* emitiu o primeiro relatório sobre as mudanças climáticas.

No ano de 1992, a *UNFCCC*, que é a *United Nations Framework Convention on Climate Change*, foi adotada em nove de maio e, durante a Conferência Internacional sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento Sustentável (Eco-92), o Brasil foi o primeiro país a assinar aprovando a Convenção.

No ano de 1994, a Convenção é ratificada pelo Brasil e entrou em vigor em 21 de março. Neste momento, verificou-se a necessidade de redução das emissões dos GEEs, a contribuição antrópica do homem para o efeito estufa, a necessidade dos países focarem em processos para o crescimento econômico sustentável, dentre outros estudos relacionados aos crescentes problemas ambientais.

Em 1995, o *IPCC* emitiu o segundo relatório sobre as mudanças climáticas e foi realizada a primeira COP, denominada COP-1, que é a primeira reunião da Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima, onde foi proposta a geração do Protocolo de Quioto.

Em 1996 foi realizada a COP-2, gerando as metas de redução nas emissões dos GEEs.

Em 1997 foi realizada a COP-3, que promoveu o prosseguimento das negociações anteriores e a adoção do Protocolo de Quioto, apresentando metas de redução dos GEEs para os países presentes no anexo I do documento, cujo nome foi definido dessa forma devido à Conferência das Partes, que foi realizada em Quioto, no Japão.

Em 1998 e 1999 foram realizadas as Conferências das Partes COP-4 e COP-5, com o objetivo de prosseguir com as discussões e definições com relação ao Protocolo de Quioto.

No ano de 2000 foi realizada a COP-6. A implementação foi suspensa, tendo em vista que os Estados Unidos e a União Européia não entraram em acordo com relação aos sumidouros e às atividades de mudança no uso da terra.

No ano de 2001 foram realizadas as Conferências das Partes COP-6 1/2, que não contam com os Estados Unidos por não terem validado o Protocolo de Quioto justificando que o custo para a redução das emissões seria muito elevado para a economia norte-americana

e COP-7, que definiu que os relatórios do *IPCC* continuariam sendo gerados periodicamente, além da emissão do terceiro relatório.

No ano de 2002 foi realizada a COP-8, que abordou o estabelecimento de metas para uso de fontes renováveis na matriz energética dos países.

No ano de 2003 foi realizada a COP-9, que abordou a regulamentação de sumidouros de carbono para a utilização da tecnologia em projetos segundo as premissas estabelecidas pelo Protocolo de Quioto e a Conferência Mundial sobre as Mudanças Climáticas, realizada para a validação do protocolo pela Rússia, que não ocorreu devido à insegurança do país. A Rússia adiou sua decisão para o ano seguinte.

No ano de 2004 ocorreu a adesão da Rússia ao Protocolo de Quioto, objetivando crescimento econômico, através de pacto de negociação com a União Européia. Em seguida, representantes de 141 países, impulsionados pela ratificação da Rússia ao protocolo, retomaram as negociações sobre as mudanças climáticas.

No dia 16 de fevereiro de 2005 entrou em vigor o Protocolo de Quioto.

### **3.4 O PROTOCOLO DE QUIOTO**

O Protocolo de Quioto é um tratado internacional com compromissos rígidos para a redução da emissão dos gases que provocam o efeito estufa, considerados, de acordo com a maioria das investigações científicas, como principal causa do aquecimento global.

O protocolo entrou em vigor após sua ratificação por 55 países, que participaram das convenções sobre as mudanças climáticas, incluindo os países desenvolvidos, com representatividade de 55% das emissões totais de dióxido de carbono em 1990. A meta de redução das emissões de gases de efeito estufa foi definida para pelo menos 5%, considerando o período entre os anos de 2008 a 2012, com relação aos valores das emissões calculadas para o ano de 1990, conforme disponibilizado no documento que foi consultado durante o mês de janeiro de 2008, através da página da internet <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/28739.html>.

A Tabela 2 considera as informações dos principais países contemplados no anexo I do Protocolo de Quioto, que disponibilizaram estas informações em 11 de dezembro de 1997.

**Tabela 2 – Os principais emissores de CO<sub>2</sub> do mundo**

| Parte  | Total de emissões de CO <sub>2</sub> em 1990 | Porcentagem |
|--|--|-------------|
| Estados Unidos da América                      | 4.957.022                                    | 36,1        |
| Federação Russa                                | 2.388.720                                    | 17,4        |
| Japão  | 1.173.360                                    | 8,5         |
| Alemanha                                       | 1.012.443                                    | 7,4         |
| Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte | 584.078                                      | 4,3         |
| Canadá   | 457.441                                      | 3,3         |
| Itália   | 428.941                                      | 3,1         |
| Polônia  | 414.930                                      | 3,0         |
| França   | 366.536                                      | 2,7         |
| Austrália                                      | 288.965                                      | 2,1         |
| Espanha  | 260.654                                      | 1,9         |
| Romênia  | 171.103                                      | 1,2         |
| República Checa                                | 169.514                                      | 1,2         |
| Países Baixos                                  | 167.600                                      | 1,2         |

Fonte: Adaptado do anexo I do Protocolo de Quioto (MCT, 1997)

Os países incluídos no anexo I do Protocolo de Quioto ficaram encarregados de implementar ou aprimorar projetos que estejam vinculados a, por exemplo, aumento de eficiência energética, proteção e aumento de sumidouros de GEEs, aplicação de formas sustentáveis para a agricultura, estudo e utilização de formas renováveis de energia, minimização e redução dos GEEs em processos industriais, redução das emissões de metano oriundas da degradação de resíduos sólidos, por meio de sua recuperação, reutilização ou combustão para reduzir as emissões à atmosfera, dentre outras aplicações, visando a estimular os países signatários para a cooperação mútua.

Os países incluídos no anexo I do Protocolo de Quioto, que apresentam emissões inferiores a sua quantidade atribuída para um período de compromisso, mediante solicitação da parte envolvida, são beneficiados com esta diferença acrescentada para o cumprimento dos compromissos subseqüentes. Além disso, podem transferir, através de negociação com qualquer país citado no anexo I, unidades de redução de emissões resultantes de projetos, podem implementar projetos através de parcerias e objetivos comuns e adquirir valores correspondentes às emissões reduzidas através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

### 3.4.1 O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo consiste em um mecanismo de flexibilização dedicado a países não incluídos no anexo I. Essa estratégia possui, sob a ótica dos países anfitriões, o objetivo de contribuir para o desenvolvimento sustentável através de incentivos ao investimento externo, da transferência de tecnologia e das matrizes energéticas limpas, viabilizando os projetos ambientalmente sustentáveis com benefícios sócio-econômicos imediatos.

O projeto MDL deve sujeitar-se à autoridade, à orientação e à supervisão de um conselho executivo para obtenção de certificação por entidades operacionais designadas, basear-se em participação voluntária aprovada por cada parte envolvida, apresentar benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança no clima e apresentar reduções de emissões adicionais as que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto, conforme citado no Protocolo de Quioto de 1997.

A implementação de um projeto MDL está subordinada a critérios específicos que visam a garantir o desenvolvimento sustentável e a real redução de emissões. Para garantir que um projeto MDL cause uma redução de emissões real e verificável, as reduções só são aceitas se forem adicionais ao que teria ocorrido na ausência da atividade do projeto.

A participação voluntária corresponde à ausência de obrigação dos países para desenvolvimento de projetos MDL. O Brasil, por exemplo, não possui metas de redução e é signatário do Protocolo de Quioto, o que demonstra por si só a sua voluntariedade.

Os benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo dos projetos são garantidos através da aplicação das metodologias aprovadas e do monitoramento pelo conselho executivo do MDL, que comprovam de forma efetiva os resultados do projeto.

Os projetos MDL podem ser caracterizados como projetos de redução de GEEs e projetos de seqüestro de carbono, também conhecidos como *LULUCF*, que é uma sigla em inglês que significa Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Florestas.

O MDL permite que projetos gerem Créditos de Reduções de Emissões (CERs) que podem ser negociados por países do anexo I para atingirem suas metas de redução de GEEs, porém há diversas etapas para implementação do projeto e para obtenção de certificação e aprovação para negociação dos CERs.

O ciclo de um projeto de MDL inicia-se com a elaboração do Documento de Concepção do Projeto (DCP), que deve apresentar a descrição da atividade de projeto, a linha de base, a metodologia adotada, o plano de monitoramento, a demonstração do critério de

adicionalidade, os limites do projeto, as emissões fugitivas, o período creditício, os participantes do projeto e a descrição dos impactos ambientais para pré-aprovação da Entidade Operacional Designada (EOD), conforme apresentado na página da internet [http://www.institutogenesis.org.br/internas/certificacao/certif\\_flo\\_mdل.asp](http://www.institutogenesis.org.br/internas/certificacao/certif_flo_mdل.asp), que foi consultada em março de 2008.

A etapa Validação consiste na avaliação do DCP por uma empresa certificadora, acreditada pelas Nações Unidas, e é um pré-requisito para o registro na *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. A EOD deve enviar seu relatório de validação, usando o “*Formulário do relatório de registro e validação da atividade de projeto no âmbito do MDL*”, para solicitar o registro de uma atividade de projeto proposta e atestará se ele está em conformidade com as regras e normas do conselho executivo do MDL.

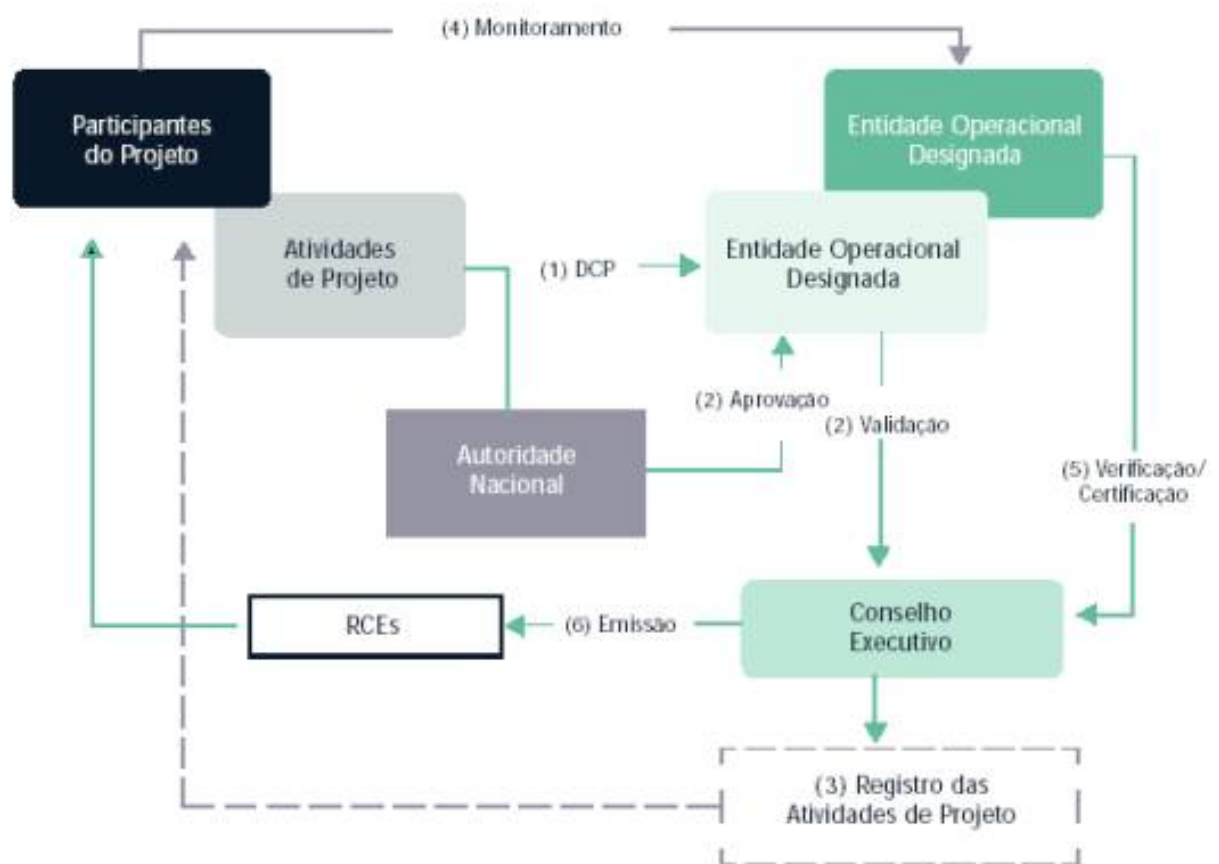
O projeto é analisado e aprovado pela autoridade nacional, caso esteja em acordo com as regras e normas do conselho executivo do MDL, com ênfase nos critérios de sustentabilidade da atividade, que constam no anexo III do DCP. A DNA Brasileira, que é representada pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), emite a carta de aprovação após a análise do projeto.

O projeto é submetido ao conselho executivo do MDL para registro pela *UNFCCC*. A EOD envia a solicitação de registro ao conselho executivo do MDL, na forma de um relatório de validação, anexa uma carta de aprovação da Autoridade Nacional, que apresenta participação do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e, de posse do registro, o projeto apresenta o pré-requisito necessário para verificação e para a certificação e emissão dos CERs.

A etapa Verificação / Certificação consiste em processo de auditoria periódica por EOD para verificação dos cálculos referentes à redução das emissões de GEEs apresentados no DCP, buscando-se comprovar se as reduções de emissões ocorreram conforme estabelecido no DCP.

A etapa final do projeto MDL consiste no momento que a EOD solicita ao conselho executivo do MDL a emissão dos certificados, que são os documentos de crédito (CERs).

A Figura 4 apresenta o ciclo típico de um projeto MDL, que inclui todas as etapas.



**Figura 4 – O ciclo típico de um projeto MDL**

Fonte: Desenvolvido pela Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2002) e disponibilizado pelo Instituto Gênesis. Disponível em: [http://www.institutogenesis.org.br/interinas/certificacao/certif\\_flo\\_mdl.asp](http://www.institutogenesis.org.br/interinas/certificacao/certif_flo_mdl.asp), acesso em: 12/2007

### 3.5 O CENÁRIO ATUAL DAS ATIVIDADES DE PROJETO NO ÂMBITO DO MDL

Os dados e gráficos das atividades de projeto no âmbito do MDL foram extraídos de documento gerado pelo MCT, através de compilação das informações provenientes de página da internet da *CQNUMC*, com os registros considerados até o dia 6 de março de 2008.

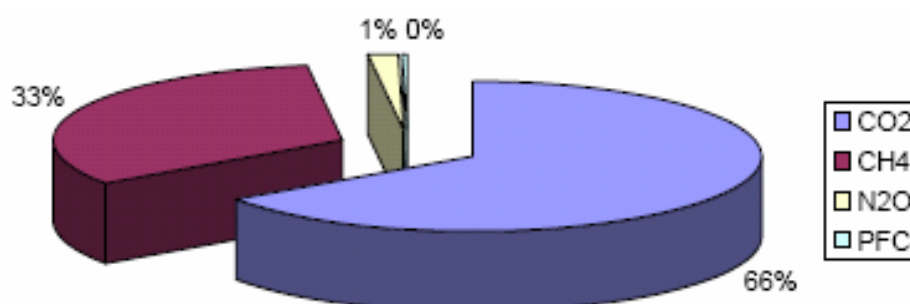
A atividade de projeto do MDL é considerada no momento em que o Documento de Concepção do Projeto é submetido para validação pela Entidade Operacional Designada. Após a aprovação, validação e registro, a atividade é considerada projeto MDL.

O total das atividades de projetos no mundo é de 3101 projetos, em qualquer etapa do ciclo de desenvolvimento de um projeto MDL. O Brasil apresenta-se em terceiro lugar com 9% do total de atividades de projetos, seguido pela Índia com 28% e a China com 34%.

O número de projetos registrados no conselho executivo do MDL é de 946. Desse total, 121 são projetos brasileiros. A China e a Índia apresentam 160 e 291 projetos registrados, respectivamente.

As atividades de projetos no âmbito do MDL desenvolvidas no Brasil, também podem ser classificadas de acordo com o tipo de gás de efeito estufa envolvido.

A Figura 5 permite traçar comparativo entre as aplicações de projetos do MDL de acordo com o GEE. O gás carbônico (CO<sub>2</sub>) é o mais relevante, seguido pelo metano (CH<sub>4</sub>) e pelo óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), devido a maior parte das atividades de projetos desenvolvidos no Brasil estar alocada no setor energético, o que justifica a predominância do CO<sub>2</sub> nas metas de reduções das emissões brasileiras.



**Figura 5 – O número de atividades de MDL no Brasil por gases de efeito estufa**

Fonte: Documento “Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo, disponibilizado pelo MCT em 24 de julho de 2007. Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0015/15992.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0015/15992.pdf), acesso em: 03/2008

A Tabela 3 mostra que o maior número de projetos brasileiros é desenvolvido na área de geração de energia elétrica e suinocultura, o que representam 77% do total de projetos. Os projetos que apresentam maior potencial de redução em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente são os que apresentam aplicação em aterro sanitário, geração de energia elétrica e de redução das emissões de N<sub>2</sub>O. Os projetos aplicados em aterros sanitários e os destinados às reduções das emissões de óxido nitroso representam grande porcentagem sobre o total da redução anual de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente, devido ao elevado PAG do CH<sub>4</sub> e do N<sub>2</sub>O.

**Tabela 3 – O número de atividades de projeto MDL no Brasil, por tipo de projeto**

| Projetos em Validação / Aprovação        | Número de projetos | Redução anual de emissão | Redução anual de emissão no 1º período de obtenção do crédito | Número de projetos |
|--|--------------------|--------------------------|---|--------------------|
| Geração elétrica                         | 169                | 17.793.843               | 127.253.822   | 62%                |
| Suinocultura                             | 41                 | 2.087.904                | 20.132.589  | 15%                |
| Aterro Sanitário                         | 28                 | 8.788.633                | 66.079.247  | 10%                |
| Indústria Manufatureira                  | 14                 | 1.932.508                | 14.853.396  | 5%                 |
| Eficiência energética                    | 9                  | 48.440                   | 406.496   | 3%                 |
| Manejo e Tratamento de resíduos (outros) | 7                  | 313.393                  | 2.468.185   | 3%                 |
| N <sub>2</sub> O                         | 4                  | 6.315.167                | 44.206.169  | 1%                 |
| Indústria química                        | 1                  | 17.137                   | 119.960   | 0%                 |
| Produção de metal                        | 1                  | 80.286                   | 802.862   | 0%                 |
| <b>Total</b>                             | <b>274</b>         | <b>37.377.311</b>        | <b>276.322.726</b>  | <b>100%</b>        |

Fonte: Documento “Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo, disponibilizado pelo MCT em 24 de julho de 2007. Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0015/15992.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0015/15992.pdf), acesso em: 03/2008



## **4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA II - ASPECTOS LEGAIS, NORMATIVOS E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E CONSIDERAÇÕES SOBRE A GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS**

---

Neste capítulo, os resíduos sólidos são definidos conforme descrito pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Os principais artigos da constituição federal relacionados ao tema são abordados e discutidos, assim como as leis federais e estaduais referentes às sanções penais e administrativas para a manutenção da integridade do meio ambiente.

São apresentadas as legislações estaduais e federais, as normalizações técnicas da ABNT e a classificação de resíduos para os Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde, que ainda apresentam problemas graves de gestão e são contemplados no estudo.

As normas técnicas e as resoluções relacionadas com a pesquisa são apresentadas permitindo a melhor visualização do cenário atual com relação aos aspectos ambientais e à existência de procedimentos e normas que sejam fundamentais para o gerenciamento e destinação dos resíduos de forma adequada.

São contemplados os resíduos sólidos urbanos municipais (RSU) e os resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS), com relação aos aspectos relacionados à sua destinação e ao gerenciamento pelo município onde apresenta-se instalado o aterro sanitário observado.

O capítulo prevê abordagem sobre a geração e as variáveis que influenciam na produção de biogás em aterros sanitários de resíduos sólidos (BORBA, 2006), a composição volumétrica dos gases presentes na corrente de biogás e as variáveis que são monitoradas para o gerenciamento do aterro sanitário.

O material pesquisado inclui, dentre uma série de artigos, teses, materiais acadêmicos recomendados por colegas de profissão e livros, dissertação de mestrado que disponibiliza a análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários (BORBA, 2006), a Pesquisa Nacional sobre o Saneamento Básico (IBGE, 2002), o manual de gerenciamento integrado municipal (IPT, 1995) e o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2006).

## 4.1 DEFINIÇÕES

A norma brasileira “NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação”, de 31 de maio de 2004, define resíduos sólidos como

*“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”* (NBR 10004, 2004, p. 1)

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são alguns produzidos pelas atividades desenvolvidas em áreas urbanas do município, abrangendo resíduos residenciais, comerciais, de estabelecimentos de saúde, industriais, da limpeza pública, da construção civil e da agricultura.

Os resíduos domésticos são diversificados e complexos. São baterias de celulares ou de veículos, cacos de vidro, seringas ou medicamentos, resíduos de materiais de limpeza contidos em embalagens que são descartadas, etc.

Os resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS) são mais conhecidos como lixos hospitalares.

## 4.2 ASPECTOS LEGAIS

A Constituição Federal, que foi promulgada em 1988, apresenta os artigos 23, incisos VI e IX, e 30, incisos I e II, conforme apresentado a seguir

*“Art. 23 - É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:*

*VI - proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;*

*IX - promover programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico;*

*Art. 30 - Compete aos Municípios:*

*I - legislar sobre assuntos de interesse local;*

*II - suplementar a legislação federal e a estadual no que couber;”*

(Constituição Federal, 1988)

A união, os estados e o Distrito Federal são responsáveis por legislar e fazer cumprir o estabelecido na constituição federal. O artigo 24, inciso VI, cita

*“Art. 24 - Compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre:*

*VI - florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição;”*

(Constituição Federal, 1988)

As iniciativas que podem gerar estrutura para a manutenção dos recursos ambientais são recentes e, portanto, não existem leis específicas de políticas de gestão de resíduos sólidos com objetivos e diretrizes claras. Dessa forma, surgem diversos instrumentos legais e normativos para o controle sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

A lei federal de crimes ambientais, número 9605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, além de outras providências prevê pena com reclusão para os responsáveis pelo impacto ambiental causado. No artigo 54, inciso V, é citado

*“Art. 54 - Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora:*

*V - ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos:*

*Pena – reclusão, de um a cinco anos”*

(Lei 9605, 1998, p.10)

O estado do Rio de Janeiro conta com a lei estadual, número 3467, de 14 de setembro de 2000, que dispõe sobre as sanções administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente.

A lei federal, número 6938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a política nacional de meio ambiente, prevê a necessidade de licenciamento ambiental e de sistemática para Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), para atividades modificadoras ou que afetem a qualidade ambiental. O artigo 10 está apresentado a seguir.

*“Art. 10 – A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva ou potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento por órgão estadual competente integrante do SISNAMA, sem prejuízo de outras licenças elegíveis.”*

(Lei 6938, 1981, p.7)

#### **4.3 NORMALIZAÇÃO TÉCNICA**

O aterro sanitário consiste em obra de engenharia projetada sob critérios técnicos, cuja finalidade é garantir a disposição dos resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente. É considerado uma das técnicas mais eficientes e seguras de destinação de resíduo.

Todo aterro sanitário é desenvolvido conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O aterro sanitário classe II, que trata-se do objeto de estudo dessa dissertação, é dedicado aos resíduos não-perigosos, divididos em II-A não-inertes e II-B inertes, conforme será discutido no item 5.5, e a norma a ser seguida é a NBR 8419, cujo código secundário é NB 843, e a data de publicação é 30 de abril de 1992.

A norma “NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos” estabelece que os projetos de aterros sanitários devem ser obrigatoriamente constituídos de memorial descritivo, memorial técnico, apresentação da estimativa de custos e do cronograma, plantas e desenhos técnicos. A norma descreve as diretrizes técnicas dos elementos essenciais dos projetos de aterros sanitários, que são: impermeabilização da base do aterro com argila compactada e com uma geomembrana de Polietileno de Alta Densidade

(PEAD); compactação do resíduo com equipamentos específicos; cobertura do resíduo compactado com argila para evitar a dispersão de odor e para evitar o aparecimento de ratos, baratas, urubus e insetos; controle da quantidade de resíduo depositado no aterro; coleta e tratamento do chorume; controle sobre a emissão de biogás para a atmosfera para evitar o aumento da pressão interna dos resíduos depositados; e monitoramento da qualidade das águas subterrâneas.

#### **4.4 LICENCIAMENTO AMBIENTAL**

Os aterros sanitários devem obter as licenças ambientais dos órgãos responsáveis, municipais, estaduais ou federais.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão nacional responsável por regular o licenciamento de aterros sanitários, baseado em resoluções CONAMA e nas licenças prévia, de instalação e de operação.

A resolução CONAMA, número 01, de 23 de janeiro de 1986, estabeleceu as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, visando à aprovação junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para o licenciamento das atividades.

A resolução CONAMA, número 308, de 21 de março de 2002, dispõe sobre o licenciamento ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte.

A resolução CONAMA, número 237, de 19 de dezembro de 1997, considerou a necessidade de incorporar os instrumentos de gestão ambiental no licenciamento ambiental, visando o desenvolvimento sustentável e a melhoria contínua. O artigo 4º da resolução diz o seguinte

*“Compete ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, órgão executor do SISNAMA, o licenciamento ambiental, a que se refere o artigo 10 da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, de empreendimentos e atividades com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional...”*

(CONAMA 237, 1997, p.2)

No artigo oitavo da resolução CONAMA 237 (1997) está previsto que o Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá a Licença Prévia (LP), a Licença de Instalação (LI) e a Licença de Operação (LO).

A LP é concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação. O requerimento desta licença pode gerar a necessidade de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e elaboração do respectivo Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA), que é o documento que apresenta, de forma objetiva, as conclusões da AIA. O RIMA deve ser escrito de forma clara, em linguagem adequada para o entendimento pela comunidade afetada e todos os demais envolvidos. A AIA é disponibilizada em audiência pública e as considerações feitas são registradas para avaliação e incorporação no parecer final do órgão de controle. A AIA e o RIMA deverão ser realizados por empresa contratada pelo empreendedor, que não é autorizado a realizar os estudos.

A LI autoriza a implementação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental. O requerimento desta licença é realizado após a execução do projeto executivo elaborado e após a aprovação da AIA e do RIMA. Com a concessão da Licença de Instalação pelo órgão competente, o empreendedor pode iniciar a execução da obra do aterro sanitário aprovado.

A LO autoriza a atividade do empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e as condicionantes determinadas para a operação. O requerimento dessa licença é realizado com o término da obra do aterro, que deve ser implantada de acordo com o previsto na Licença de Instalação. Após a entrega da Licença de Operação, o empreendedor pode iniciar a operação do aterro sanitário.

A Licença de Operação do aterro sanitário, que corresponde ao objeto de estudo deste trabalho, foi concedida pela Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA) e pela Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente (FEEMA) em 22 de setembro de 2005, de acordo com o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SLAP), instituído através do Decreto nº 1633, de 21 de dezembro de 1977. A LO é válida por 5 anos e disponibilizou trinta e um itens como condições de validade específicas para permitir a

operação do aterro sanitário, que pode ser inspecionado pela FEEMA sempre que for julgado necessário. Além disso, consta observação que cita

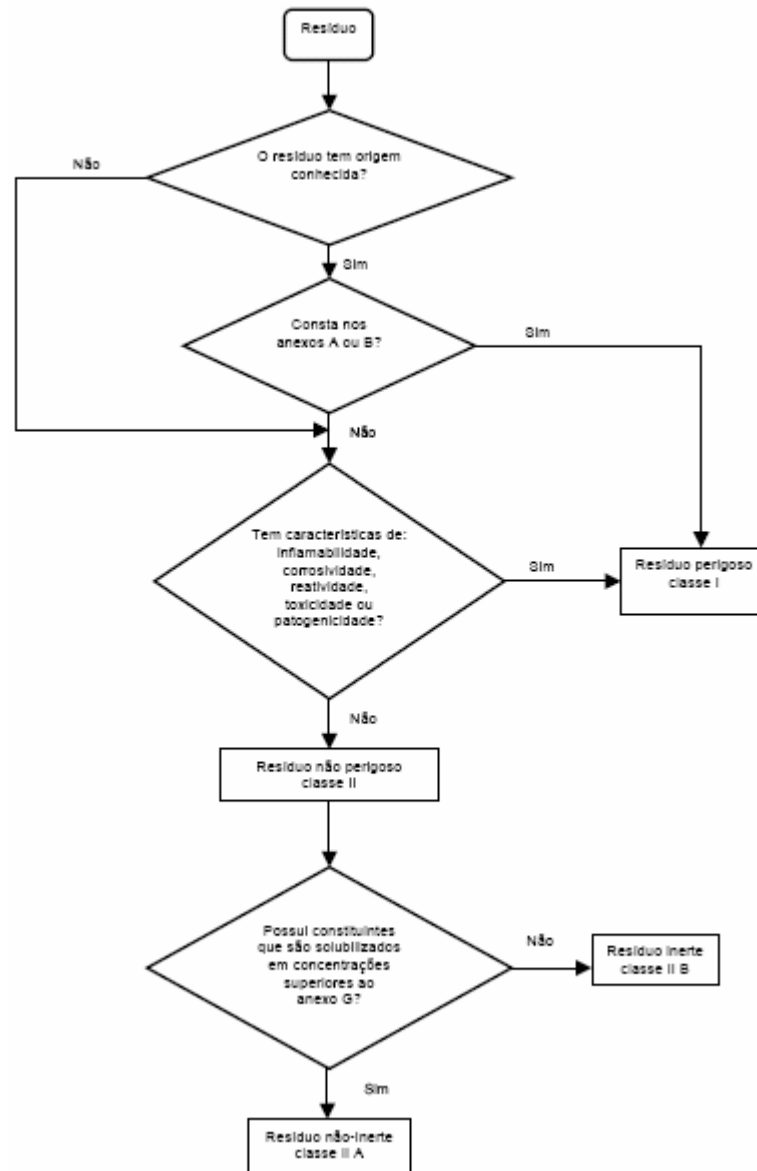
*“O não cumprimento das condições constantes dessa licença e das normas ambientais vigentes sujeita o infrator, pessoa física ou jurídica, às sanções previstas na Lei Estadual nº 3467, de 14.09.2000, e da Lei Federal nº 9605, de 12.02.1998, e poderá levar ao cancelamento da mesma.”*

(LO, 2005, p.2)

No âmbito do estado do Rio de Janeiro, o decreto-lei nº 1633 instituiu o SLAP, que tem por objetivo disciplinar a implantação e o funcionamento de qualquer equipamento ou atividade que forem considerados poluidores ou potencialmente poluidores, bem como qualquer equipamento e combate a poluição do meio ambiente e o decreto-lei nº 134 em 16 de junho de 1975, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

#### **4.5 CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

A norma NBR 10004 dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos, quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, excluindo-se os resíduos radioativos, que são competência da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Segundo a norma, os resíduos sólidos são classificados como perigosos ou classe I e não perigosos ou classe II. Os resíduos não perigosos são subdivididos em classe IIA, que são os não-inertes, e classe IIB, que são os inertes, conforme pode ser verificado na figura 6.



**Figura 6 – Classificação de resíduos sólidos**

Fonte: Norma Brasileira da ABNT, NBR 10004, válida desde 30 de novembro de 2004

Os resíduos sólidos perigosos são aqueles que têm origem conhecida e que estão previstos nos anexos A ou B da norma NBR 10004 ou que têm características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

A norma brasileira “*NBR 10007 – Amostragem de resíduos sólidos*”, de 31 de maio de 2004, é fundamental para o processo de classificação dos resíduos. A norma dispõe sobre a forma como se deve proceder para a amostragem de resíduos sólidos heterogêneos, que é o caso dos resíduos depositados nos aterros sanitários, para que estes sejam submetidos às análises necessárias para se identificar, conforme estabelecido na norma NBR 10004, se devem ser considerados perigosos ou não-perigosos.



A norma “*NBR 10005 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*” (2004) dispõe sobre os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando a diferenciar os resíduos perigosos e os não-perigosos.

Os resíduos sólidos não-perigosos são subdivididos em inertes e não-inertes.

Os resíduos sólidos não-perigosos inertes, que são identificados como classe II-B, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente. São obtidas amostras desses resíduos, conforme a norma NBR 10007, e estabelecido contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, para efetuar-se o teste de solubilização, conforme a norma “*NBR 10006 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*”, de 31 de maio de 2004. Caso não haja solubilização de seus constituintes em concentrações superiores aos padrões para a manutenção da potabilidade da água, conforme Anexo G da NBR 10004, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor, os resíduos podem ser considerados não-perigosos inertes classe II-B.

Os resíduos sólidos não-perigosos inertes, que são identificados como classe II-A, são os que não se enquadram nas outras classificações e apresentam características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

#### **4.6 ASPECTOS LEGAIS PARA RSS**

A abordagem apresentada no item 5.2 é relacionada com o previsto na constituição federal e as principais leis que envolvem os resíduos sólidos no Brasil, tanto federais quanto municipais. Dessa forma, os geradores de RSS são obrigados a estabelecer novos procedimentos para tratamento dedicado através de separação, manuseio, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, conforme previsto nas leis, normas e resoluções.

A questão dos resíduos de serviços de saúde envolve diversas discussões no mundo inteiro. No Brasil, conforme estabelecido na constituição federal, a união, os estados e o Distrito Federal devem fazer cumprir as leis, porém o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, que inclui os RSS, é de responsabilidade dos municípios e, além disso, a tendência é que ocorrerá a descentralização da execução da política ambiental para os estados e municípios, fazendo com que surjam novas legislações, o que, de qualquer forma, não irá assegurar o correto gerenciamento desses resíduos.

As resoluções federais atuais, da mesma forma que as anteriores, estabelecem que os geradores de RSS devem elaborar um Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de

Saúde (PGRSS), para discriminar as atividades a serem realizadas para o gerenciamento dos resíduos sólidos, que inclui a descrição das características e dos riscos nos estabelecimentos de saúde, os aspectos relacionados à geração, segregação, acondicionamento, identificação, coleta interna, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, proteção à saúde pública e ao meio ambiente, planejamento de recursos, capacitação através de treinamentos dos envolvidos no processo e utilização de ferramentas para controle e gestão, que podem ser indicadores para a viabilização da estratégia adotada no PGRSS.

O PGRSS tem como objetivo principal atender à resolução CONAMA, número 358, de 29 de abril de 2005, e à resolução ANVISA, RDC 306, de 7 de dezembro de 2004.

A resolução CONAMA 358/05 aplica-se

*“a todos os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos; importadores, distribuidores e produtores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de tatuagem, entre outros similares.”*

(CONAMA 358, 2005, p.1)

A resolução ANVISA RDC 306/04 dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, disponibiliza todas as normas e as orientações técnicas disponíveis nos órgãos estaduais, federais e na literatura. A resolução inclui, por exemplo, a lista das principais substâncias utilizadas em serviços de saúde que reagem com Polietileno de Alta Densidade (PEAD) utilizado para frascos de armazenamento de RSS e como manta de impermeabilização do solo em aterros sanitários. O artigo 1º da resolução determina o seguinte.

*“Aprovar o Regulamento Técnico para o Gerenciamento de Serviços de Saúde, em Anexo a esta Resolução, a ser observado em todo o território nacional, na área pública e privada”*

(ANVISA 306, 2004, p.1)

A regulamentação do estado do Rio de Janeiro, número 2060, de 28 de janeiro de 1993, que dispõe sobre a coleta de lixo hospitalar, laboratorial e farmacêutico, estabelece o seguinte parágrafo único.

*“Fica proibida a incineração do lixo hospitalar, sem antes ser esterilizado a fim de evitar o lançamento de substâncias tóxicas na atmosfera.”*

(Lei 2060, 1993, p.1)

A regulamentação do estado do Rio de Janeiro, número 2061, de 28 de janeiro de 1993, proíbe o despejo de RSS em vazadouros de lixo e estabelece o seguinte.

*“Determina que toda e qualquer espécie de resíduos, decorrentes de aplicação em clientes da área médica e odontológica, sejam incinerados.”*

(Lei 2061, 1993, p.1)

A regulamentação do estado do Rio de Janeiro, número 3316, de 09 de dezembro de 1999, autoriza o poder executivo a implantar sistema de tratamento de RSS. A lei complementa com o seguinte.

*“Art. 9 - A tecnologia a ser utilizada, para efeitos desta Lei, deverá ser a esterilização a vapor, conforme recomenda a resolução 05/93 do CONAMA no art. 11, pois trata-se de sistema mais moderno e atual, de fácil controle quanto aos resíduos finais e não emite efluentes gasosos que necessitem de tratamento por filtros.”*

(Lei 3316, 1999, p.2)

A regulamentação do estado do Rio de Janeiro, número 4191, de 30 de dezembro de 2003, dispõe sobre a política estadual de resíduos sólidos, proíbe a queima ao ar livre ou em

instalações, caldeiras ou fornos não-licenciados pelo órgão estadual responsável pelo licenciamento ambiental para essa finalidade e estabelece o seguinte para RSS.

*“Art. 5º - Os resíduos sólidos provenientes de serviços de saúde portadores de agentes patogênicos deverão ser adequadamente acondicionados, conduzidos em transporte especial, e deverão ter tratamento e destinação final adequados, atendendo às normas aplicáveis da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, e às condições estabelecidas pelo órgão estadual responsável pelo licenciamento ambiental, respeitadas as demais normas legais vigentes.”*

(Lei 4191, 2003, p.2)

#### **4.7 NORMALIZAÇÃO TÉCNICA PARA RSS**

O gerenciamento de RSS deve seguir o estabelecido nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A norma *“NBR 7500 - Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos”* (2007) estabelece a simbologia e o seu dimensionamento para produtos perigosos, o uso de rótulos de risco, painéis de segurança, rótulos especiais, símbolos de risco e manuseio, bem como a identificação da unidade de transporte e o emprego de rótulos nas embalagens de produtos perigosos e não-perigosos.

As normas *“NBR 12807 – Terminologia de resíduos de serviços de saúde”*, *“NBR 12809 – Manuseio de resíduos de serviços de saúde”* e *“NBR 12810 – Coleta de resíduos de serviços de saúde”*, que entraram em vigor em 1993, estabeleceram a definição para os termos técnicos empregados, a fixação de procedimentos exigíveis para garantir condições de higiene e segurança no processamento interno de resíduos infectantes e a fixação de procedimentos exigíveis para a coleta dos RSS, respectivamente.

A norma *“NBR 13853 – Coletores para resíduos de serviços de saúde perfurantes ou cortantes - Requisitos e métodos de ensaio”* (1997) fixa as características de coletores destinados ao descarte de RSS perfurantes ou cortantes, tipo A.4, conforme a NBR 12808, e não se aplica aos coletores destinados ao descarte exclusivo de agulhas.

A norma *“NBR 14619 – Transporte terrestre de produtos perigosos - Incompatibilidade química”* (2005) estabelece os critérios de incompatibilidade química a serem considerados no transporte terrestre de produtos perigosos.

A norma “*NBR 14652 – Coletor-transportador rodoviário de resíduos de serviços de saúde - Requisitos de construção e inspeção - Resíduos do grupo A*” (2001) estabelece os requisitos mínimos de construção e inspeção de coletores-transportadores rodoviários de RSS do grupo A.

A norma “*NBR 15051 – Laboratório clínico - Gerenciamento de resíduos*” (2004) abrange a geração, a segregação, o acondicionamento, o tratamento preliminar, o tratamento, o transporte e a apresentação para a coleta pública dos resíduos gerados em laboratório clínico, bem como a orientação sobre os procedimentos a serem adotados pelo pessoal do laboratório.

#### **4.8 CLASSIFICAÇÃO DE RSS**

A classificação destinada aos resíduos gerados em Estabelecimento Assistencial de Saúde (EAS) deve ser considerada conforme estabelecido na resolução CONAMA 358/05 e na Resolução RDC 306/04, onde os RSS apresentam-se divididos em cinco grupos de acordo com suas características. Ambas as normas dispõem de classificação idêntica, conforme estabelecido através de unificação das leis federais para favorecer o gerenciamento de RSS.

O GRUPO A corresponde aos resíduos com possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção. O grupo é subdividido em A1, A2, A3, A4 e A5. Os resíduos são classificados nestes subgrupos de acordo com o diferente grau de risco de infecção. Os resíduos contemplados no grupo são, por exemplo, culturas e estoques de microrganismos, descarte de vacinas de microrganismos vivos ou atenuados, bolsas transfusionais contendo sangue, carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais submetidos a processos de experimentação com inoculação de microrganismos, peças anatômicas do ser humano, filtros de ar e gases aspirados de área contaminada e órgãos, tecidos e fluidos orgânicos. São resíduos potencialmente infectantes.

O GRUPO B corresponde aos resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade tais como resíduos desinfetantes, efluentes de processadores de imagem, efluentes dos equipamentos automatizados utilizados em análises clínicas, produtos hormonais e antimicrobianos, dentre uma série de outros resíduos perigosos, conforme classificação da NBR 10004 da ABNT. São resíduos químicos.

O GRUPO C contempla quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista, tais como materiais resultantes de laboratórios de pesquisa e de ensino na área de saúde, laboratórios de análises clínicas e serviços de medicina nuclear e radioterapia que contenham radionuclídeos em quantidade superior aos limites de eliminação. São resíduos radioativos.

O GRUPO D representa os resíduos que não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares, tais como: papel de uso sanitário e fralda, absorventes higiênicos, sobras de alimentos e do preparo de alimentos, resíduos provenientes das áreas administrativas, resíduos de varrição, flores, podas e jardins e resíduos de gesso provenientes de EAS. São resíduos comuns.

O GRUPO E contempla os materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como lâminas de barbear, agulhas, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, tubos capilares, micropipetas, lâminas, espátulas e quaisquer utensílios de vidro de laboratório. São resíduos perfurocortantes.

A Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) classifica os resíduos químicos gerados em estabelecimentos de saúde em três grupos: resíduos químicos perigosos, resíduos farmacêuticos e resíduos radioativos.

No Brasil, os resíduos químicos perigosos e os resíduos farmacêuticos pertencem ao GRUPO B e os resíduos radioativos pertencem ao GRUPO C.

## **4.9 OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)**

### *4.9.1 OS ASPECTOS RELACIONADOS À GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS*

A rápida urbanização que o mundo tem assistido nas últimas décadas tem causado grande geração de resíduos sólidos devido ao aumento da produtividade e do consumo. Esta mudança brusca na estrutura mundial resulta no surgimento de inúmeros vazadouros a céu aberto. A reação de degradação destes resíduos libera grande quantidade de gases causadores do efeito estufa, onde se destaca o metano com quantidade superior a 50% das emissões.

Na União Européia, a geração de lixo aumentou em quase 10% entre 1990 e 1995 e espera-se que aumente ainda mais até 2010 (EEA, 1998). O volume de lixo nos países ricos é elevado, mas a produção de lixo nos países pobres tem aumentado significativamente.

O IBGE divulgou em 2002, os resultados da Pesquisa Nacional sobre o Saneamento Básico (PNSB), que foi realizada no ano de 2000, e permite visualizar o cenário dos resíduos sólidos no Brasil para o período em específico.

A estimativa da geração de resíduos sólidos de origem domiciliar e comercial no Brasil corresponde a aproximadamente 153 953 toneladas por dia, sendo que a geração média per capita corresponde a 0,91 quilogramas por habitantes por dia (kg/hab/dia), conforme estabelecido pela ABRELPE em 2006. Segundo informações coletadas da PNSB (2000), a quantidade varia de 0,79 a 1,96 kg/hab/dia. A grande variação ocorre devido à existência de resíduos não-domiciliares, que são, principalmente, resultados das atividades industriais ou meios de produção para atender à necessidade da população.

Atualmente, a disposição de resíduos sólidos no Brasil é realizada em lixões, aterros controlados e aterros sanitários.

Conforme definido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) no ano de 1995, os lixões apresentam forma inadequada para a disposição final de resíduos sólidos municipais, por apresentar grande risco para a população local, já que o descarte do material é realizado diretamente sobre o solo, sem a preocupação com o meio ambiente. Os lixões trazem conseqüências como, por exemplo, a poluição do solo, através de contaminação de lençóis freáticos, e a poluição do ar, através das emissões dos gases da degradação da matéria orgânica. O risco apresenta-se eminente para a saúde pública.

Os aterros controlados apresentam método de engenharia para confinamento dos resíduos sólidos através de camada de cobertura inerte, que é aplicada a cada ciclo ou jornada de trabalho, evitando a exposição do lixo ao ar ambiente (IPT, 1995).

Os aterros sanitários correspondem à técnica de preparação do ambiente, através de procedimento específico de engenharia, para a disposição final dos resíduos sólidos, de forma que não cause danos ao meio ambiente ou à segurança pública. Os resíduos são confinados na menor área possível, são reduzidos ao menor volume permissível e são cobertos com camada de terra ao término de cada jornada de trabalho ou em intervalos menores, se necessário, conforme estabelecido em norma específica abordada.

Conforme pesquisa divulgada pela PNSB (2000), conclui-se que pelas porcentagens da destinação final dos resíduos sólidos urbanos, relativos ao número de municípios, o Brasil ainda conta com grande quantidade de lixões. O cenário de destinação de resíduos para o ano 2000 foi de 69% em lixões, 13% em aterros controlados, 17% em aterros sanitários, 0,6% em área alagadas, 0,3% têm aterros especiais, 2,8% têm programa de reciclagem, 0,4% provêm compostagem e 0,2% incineração.

A PNSB (2000) divulgou que os serviços de limpeza urbana empregam 317.977 pessoas no Brasil, contam com 24.340 catadores que atuam nos lixões e que representa um grande estímulo à produção de equipamentos, como caminhões, pás carregadeiras, tratores, veículos de tração animal e outras ferramentas para uso geral.

Uma das questões mais críticas do sistema de gestão de resíduos urbanos, que se apresenta sob a responsabilidade do poder público municipal, corresponde à catação de recicláveis nos aterros e lixões, que conta com pessoas de todas as idades que se submetem à condição de insalubridade e risco elevado, em busca pela sobrevivência, certamente devido à falta de oportunidade ou à ausência da qualificação mínima necessária para se inserirem do mercado de trabalho. O anexo K é uma mensagem de uma catadora de lixo de Jardim Gramacho, que é uma pessoa que reflete sobre a necessidade de se evitar desperdício devido encontrar resíduos que ainda apresentam serventia e são descartados.

A inexistência ou inadequação de destinação final dos Resíduos Sólidos Urbanos pode ser explicada por vários fatores, tais como falta de capacitação técnico-administrativa, baixa conscientização da população quanto aos problemas ambientais e falta de estrutura organizacional das instituições públicas.

A busca por alternativas tecnológicas para disposição final sustentável, que é aquela que atenta às condições peculiares dos municípios de pequeno porte e que atua de forma integrada às demais etapas da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU) busca o manejo ambientalmente adequado de resíduos sólidos urbanos, a capacitação das equipes responsáveis pelo projeto, gestão adequada para os períodos de operação, monitoramento e



encerramento do aterro, a geração de emprego e renda, custos adequados à realidade dos municípios e o envolvimento de políticos e instituições e da população local.

O poder público municipal apresenta apoio do ponto de vista econômico, por programas federais e estaduais. A população mostra-se cada vez mais consciente das questões ambientais e de suas implicações na saúde pública. Os órgãos de controle ambiental estaduais e o Ministério Público apresentam o tema como prioridade de governo.

#### *4.9.2 OS ASPECTOS RELACIONADOS À GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE*

O gerenciamento dos Resíduos dos Serviços de Saúde é fundamental para a proteção da saúde humana e da qualidade ambiental, para a preservação dos recursos naturais e atua como incentivo na busca pela produção mais limpa.

No Brasil, as discussões sobre o gerenciamento de RSS iniciaram-se na década de 90, o que mostra o atraso na evolução com relação aos países desenvolvidos, que aplicavam, por exemplo, processo de incineração para o tratamento de RSS no século XIX.

Com a publicação da Resolução ANVISA RDC 306 (2004) surgiu a necessidade de elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) e, conseqüentemente, a elaboração de um manual para o seu desenvolvimento, favorecendo medidas políticas que fundamentem realizações para o efetivo gerenciamento desses resíduos. Além disso, vale ressaltar que a classificação dos RSS é fundamental para o gerenciamento devido reduzir a quantidade de resíduos infectantes no total gerado nos estabelecimentos de saúde, minimizando os riscos durante o manuseio, os custos para o tratamento e a dificuldade para a implementação do PGRSS.

No Brasil, a média de resíduos gerados nos estabelecimentos de assistência hospitalar é de 2,38 quilogramas por leito por dia (kg/leito/dia), conforme apresentado pela ABRELPE (2006), porém a quantidade individual gerada varia bruscamente de acordo com o estabelecimento analisado, já que é função da complexidade do estabelecimento, da conscientização dos funcionários, dentre uma série de considerações que devem estar presentes no PGRSS.

No estado do Rio de Janeiro, estima-se que o total gerado de RSS é de aproximadamente 111,84 t/dia e que apenas 4,33 t/dia são tratados (ABRELPE, 2006), portanto, aproximadamente 96,13 % dos RSS não são tratados adequadamente e certamente apresentam-se dispostos em áreas como, por exemplo, lixões urbanos, oferecendo um grande

risco à saúde da população. Além disso, a Secretaria do Estado do Rio de Janeiro (2006) divulgou que existem 342 hospitais instalados na cidade e que apenas 5,84% apresentam Licença de Operação fornecida pelo órgão estadual para qualquer unidade auxiliar ou produtiva, mostrando um enorme descontrole, devido à estratégia utilizada no gerenciamento do RSS pelo município, que não está adequada.

Atualmente, verifica-se que há grande oportunidade para a implementação de sistemas para gerenciamento de RSS no estado do Rio de Janeiro através de estratégia para contar com aterros sanitários, que podem disponibilizar equipe de gestão especializada para realizar treinamentos dedicados às equipes de estabelecimentos de saúde e fornecer suporte para a correta separação, manuseio e armazenamento dos RSS, a responsabilidade sobre o transporte e o tratamento, que será realizado em unidade instalada no local do aterro à disposição final.

A necessidade de cumprimento das leis, resoluções e normalizações técnicas existentes impulsionam a atuação com melhoria da estratégia adotada para o gerenciamento de RSS, porém devem-se intensificar as auditorias e fiscalizações para verificação e inspeção de estabelecimentos de saúde, que são os responsáveis pelos resíduos gerados, além da necessidade de conscientização com relação aos riscos à saúde humana dos profissionais envolvidos e da população.

Através de informações de profissionais do aterro sanitário pesquisado e conforme verificado em lixão do estado do Rio de Janeiro, os estabelecimentos de saúde contratam empresas para a destinação final dos RSS, que muitas vezes acabam sendo direcionados inadequadamente aos lixões. Através de consulta a uma empresa responsável pela destinação final de RSS, constatou-se que o preço cobrado para um estabelecimento de saúde com 50 leitos é equivalente a 0,29 reais por quilograma de resíduos, que é um valor menor que o custo para o tratamento adequado de RSS nas tecnologias existentes, portanto, devem ser tomadas as devidas providências para evitar estas práticas.

#### *4.9.3 A DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS*

O princípio da decomposição de resíduos sólidos depositados em aterro pode ser considerado o mesmo que ocorre nos reatores biológicos, sendo as entradas principais o resíduo e a água e as saídas os gases e o chorume.

Primeiramente ocorre a decomposição aeróbia, em função do contato inicial da matéria orgânica com o oxigênio presente no ar atmosférico, e posteriormente a decomposição

anaeróbia, após a redução do oxigênio presente no resíduo, que é coberto pela camada de terra, que favorece o meio reacional.

A decomposição da matéria orgânica complexa, segundo apresentado por LOBO (2003) na Figura 7, inicia-se pela reação de hidrólise do sólido orgânico em presença de bactérias fermentativas, que são responsáveis pela formação de polímeros mais simples, que são proteínas, carboidratos e lipídios. As novas estruturas formadas são hidrolisadas na presença das bactérias presentes no meio e geram açúcares, aminoácidos, ácidos graxos de alto peso molecular e álcoois. Os açúcares e aminoácidos são transformados em ácidos voláteis, que são produtos intermediários, ou são fermentados produzindo ácido acético, sendo que para ambos ocorre formação de amônia. Os ácidos graxos e os álcoois são decompostos através de reação de acidogênese e formam produtos intermediários. Os intermediários, através de reação de acetogênese, formam 52% de acetato e 24% de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ . As reações metanogênese reductiva, que ocorre no meio que contém  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ , e metanogênese acetoclástica, que ocorre no meio que contém acetato, conduzem à formação dos produtos  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , sendo que 72% é oriundo da reação de metanogênese acetoclástica e 28% da reação de metanogênese reductiva.

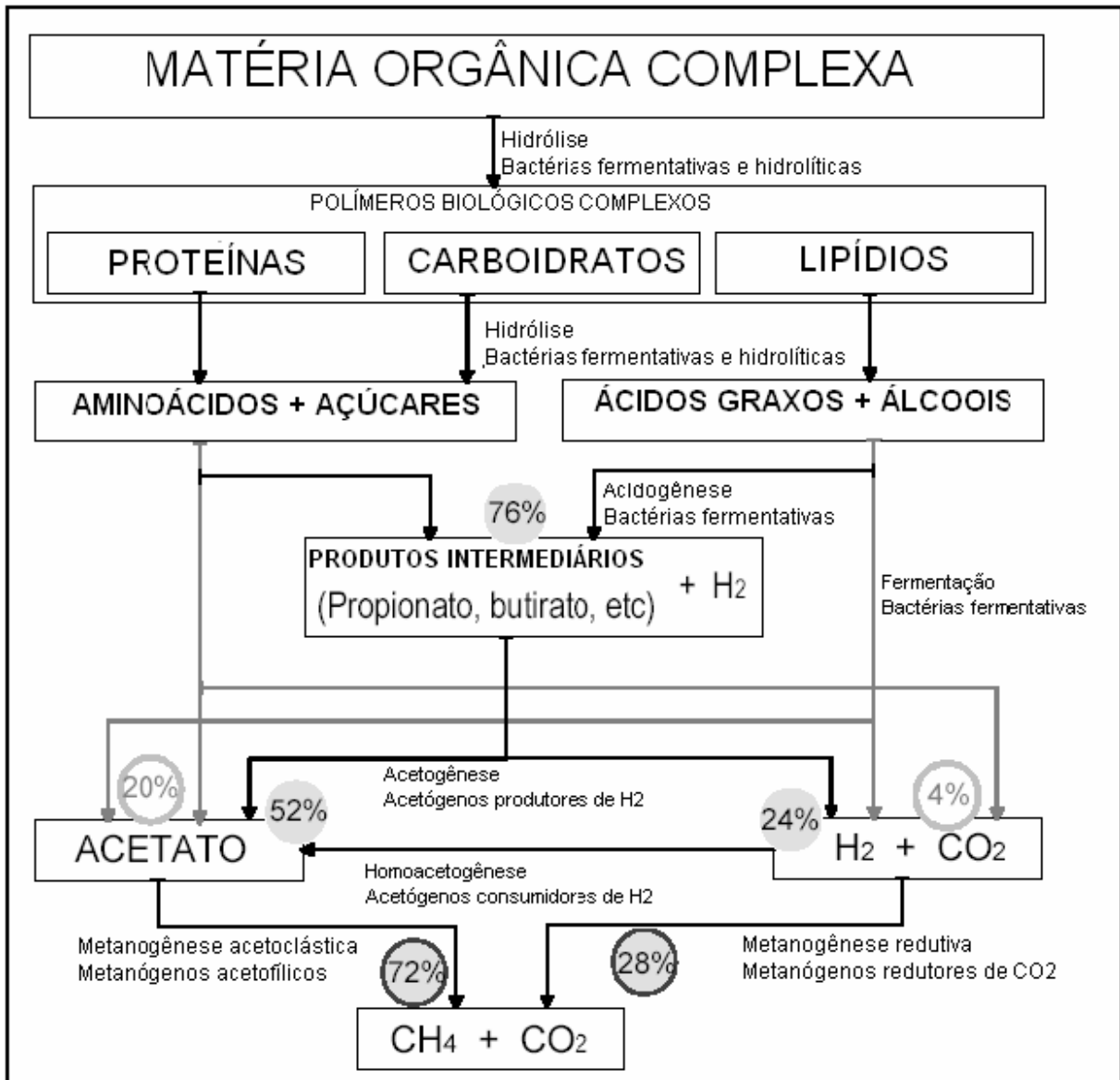


Figura 7 – Fluxograma das reações de degradação anaeróbica de polímeros

Fonte: APUD LOBO (2003)

#### 4.9.4 A GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO

A geração de biogás em aterros pode ser apresentada, conforme citado por TCHOBANOGLIOUS *et. al.* (1993), que apresenta esquema com cinco etapas, ou quatro, caso a segunda seja considerada uma etapa de transição. As fases da produção de biogás são apresentadas na Figura 8.

A fase I é o ajuste inicial. Os resíduos sólidos depositados no aterro apresentam fração biodegradável, que é decomposta através de reação aeróbia. A camada de cobertura do resíduo, o lodo ativado das estações de tratamento, quando utilizados nos aterros, e a recirculação do chorume são as principais fontes das bactérias necessárias à degradação

aeróbia e à anaeróbia. Inicialmente, ocorre a degradação aeróbia, que ocorre por alguns dias, até o consumo do oxigênio presente.

A fase II é a transição. Os níveis de oxigênio decrescem e inicia-se a reação anaeróbia, que pode ser confirmada através de ensaio de determinação do potencial de redução e oxidação do resíduo. Nesta etapa, o nitrato e o sulfato atuam como receptores de elétrons e são convertidos em gás nitrogênio e gás sulfídrico. Com a queda do potencial, os microrganismos, que são os responsáveis pelo processo de formação de metano e gás carbônico, iniciam a conversão do material orgânico em ácidos e outros componentes intermediários. Neste momento, pode-se analisar o pH do chorume, que apresenta valor inferior, devido à presença de ácidos orgânicos e ao grande aumento na concentração de CO<sub>2</sub>.

A fase III é a ácida. As reações são iniciadas na fase de transição, mas a grande presença de ácidos orgânicos e hidrogênio promovem o aumento da velocidade da reação de acidogênese, que ocorre por meio da conversão dos compostos da primeira etapa em ácidos de cadeia menor como, por exemplo, a formação de ácido acético. O principal produto desta etapa é o CO<sub>2</sub>. Os microrganismos envolvidos nesta fase são citados como não metanogênicos, que correspondem às bactérias anaeróbias e facultativas. A grande formação de ácidos, que se solubilizam no chorume, promovem o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e aumento da condutividade do chorume, que passa a registrar valores de pH entre 4 e 5, também devido a presença de grande quantidade de CO<sub>2</sub> no aterro. A redução do pH do chorume e a recirculação do mesmo para aumentar a degradação dos resíduos promovem a solubilização de compostos inorgânicos como, por exemplo, os metais pesados. Nesta etapa, inicia-se a produção de metano.

A fase IV é a metanogênica. Nesta fase, a presença predominante de microrganismos anaeróbicos promove a conversão do ácido acético e hidrogênio em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. A taxa de formação dos ácidos diminui bruscamente e ocorre a crescente formação de metano. Os valores de DBO, DQO e condutividade do chorume diminuem com a formação de metano, consequentemente, o pH aumenta bruscamente até atingir a faixa de 6,8 a 8, e a concentração dos metais pesados, dentre outros componentes inorgânicos dissolvidos, diminui.

A fase V é a maturação. Nesta fase, grande parte do material já foi degradado em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, conforme apresentado na fase IV. A presença de umidade e de pequena quantidade de materiais biodegradáveis faz com que o processo de geração de biogás prossiga, porém de forma lenta e decrescente, já que a maioria dos nutrientes disponíveis foram consumidos e os substratos que restam são de degradação lenta. De acordo com a forma de selagem do aterro,

podem ser encontrados traços de nitrogênio e oxigênio no biogás, o que pode ser verificado na Figura 8.

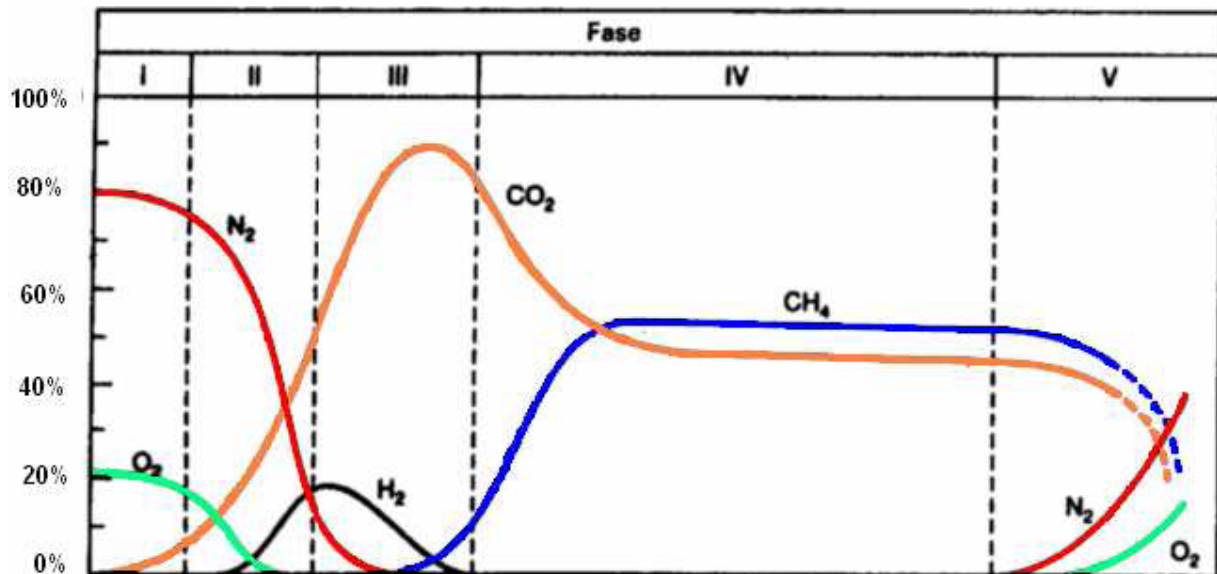


Figura 8 – Fases de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos

Fonte: (TCHOBANOGLOUS et. al., 1993)

O cálculo do inventário de metano no biogás proveniente dos aterros sanitários pode ser realizado conforme apresentado no anexo A, que disponibiliza os métodos numéricos estabelecidos pelo IPCC (1996), USEPA (1998) e Banco Mundial (2003).

#### 4.10 A COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

O biogás gerado em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos é composto por vários gases, sendo o gás metano (CH<sub>4</sub>) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) seus principais constituintes. A Tabela 4 apresenta a composição de biogás gerado de resíduos sólidos urbanos em decomposição nos aterros sanitários.

**Tabela 4 – Composição de biogás de aterros sanitários**

| Composição                  | Fórmula Química           | Porcentagem (Base seca)<br>% |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Metano                      | CH <sub>4</sub>           | 45 - 60                      |
| Dióxido de carbono          | CO <sub>2</sub>           | 40 - 60                      |
| Nitrogênio                  | N <sub>2</sub>            | 2 - 5                        |
| Oxigênio                    | O <sub>2</sub>            | 0,1 - 1,0                    |
| Enxofre e mercaptanas       | S, H <sub>2</sub> S, etc. | 0 - 1,0                      |
| Amônia                      | NH <sub>3</sub>           | 0,1 - 1,0                    |
| Hidrogênio                  | H <sub>2</sub>            | 0 - 0,2                      |
| Monóxido de carbono         | CO                        | 0 - 0,2                      |
| Gases em menor concentração | -                         | 0,01 - 0,6                   |

Fonte: Extraído do livro “Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues” (TCHOBANOGLOUS, THEISEN, VINIL, 1993)

Segundo TABACARAN (1982) e GUNNERSON e STUCKEY (1986), BIRGEMER e CRUTZEN (1987), a pequena diferença existente entre a concentração de gás metano e dióxido de carbono encontrada no biogás se deve à dissolução de parte do CO<sub>2</sub> no chorume, que é a massa líquida gerada da decomposição.

Segundo REAL (2005), que realizou análises da composição do biogás do Lixão de Paracambi, localizado no estado do Rio de Janeiro, os valores de metano variam de 64% a 72% e o dióxido de carbono apresenta valor inferior a 10%.

Segundo BRITO FILHO (2005), que realizou análises da composição do biogás de aterro sanitário do estado do Rio de Janeiro, os valores de metano variam de 44% a 76% e de dióxido de carbono de 8% a 15%.

O tempo de duração de cada fase do processo de geração de biogás depende da preparação do aterro e de sua operação, da porcentagem de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos e da forma como são depositados, da idade do lixo, da presença de umidade nos resíduos, da compactação utilizada e do tamanho das partículas, da temperatura e do pH do chorume. Pode-se estimar que a velocidade de degradação atinge níveis máximos com 2 anos de operação e decresce durante os 25 anos seguintes, porém a deposição diária de novos resíduos dificulta a definição do tempo de cada etapa de geração de biogás.

## 4.11 AS VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

### 4.11.1 COMPOSIÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos depositados nos aterros são de origem residencial e comercial. Dessa forma, correspondem basicamente a resíduos orgânicos biodegradáveis, porém também são gerados resíduos inertes, ou seja, resíduos que não se decompõem.

A composição dos resíduos sólidos varia de acordo com o consumo característico da população instalada no município da coleta. De acordo com a época do ano e às variações sazonais pode-se considerar que há pequena variação na composição do lixo, já que os produtos disponíveis ao consumo da população também variam de acordo com o período.

A produção dos gases varia de acordo com a composição do resíduo. A matéria orgânica em degradação é o substrato, que é consumido pelos microrganismos. Portanto, se há maior quantidade de materiais biodegradáveis, a produção de biogás será superior.

De acordo com as informações obtidas em aterro sanitário do estado do Rio de Janeiro, a composição do resíduo é a principal variável, que influencia na taxa de produção de biogás, mas não há controle sobre sua seletividade para a disposição final nos aterros. Todo resíduo urbano municipal gerado é destinado sem controle prévio aos respectivos aterros.

### 4.11.2 UMIDADE

A umidade é a variável mais significativa no processo de degradação de resíduos para a geração de biogás (QIAN *et al.*, 2001).

A umidade considerada para os resíduos sólidos depositados nos aterros sanitários é proveniente da umidade natural dos resíduos, da forma como é instalada a camada impermeabilizante do solo, do tipo de cobertura utilizada, do índice de pluviosidade da região e da utilização de recirculação para o chorume.

A presença de grande quantidade de água nos resíduos sólidos é justificada, principalmente, pela incidência de chuvas intensas em determinados períodos do ano, o que aumenta a disponibilidade de oxigênio para o favorecimento das reações aeróbias e facultativas. A presença de água em quantidade elevada promove o aumento da temperatura e, portanto, a desestabilização dos microrganismos responsáveis pela degradação anaeróbia. Dessa forma, verifica-se redução na capacidade de produção de biogás (JUNQUEIRA, 2000).



#### 4.11.3 DIMENSÃO DAS PARTÍCULAS

Conforme pode ser verificado na literatura, a dimensão das partículas sólidas presentes em meios reacionais corresponde a fator determinante para o controle sobre a velocidade das reações químicas e bioquímicas.

A disposição de resíduos sólidos, que apresentam menor área superficial, favorece a atuação dos microrganismos aeróbios e anaeróbios, aumentando a velocidade das reações para a degradação bioquímica à formação de biogás. Dessa forma, pode-se verificar etapas de trituração em processos de compostagem de resíduos.

#### 4.11.4 TEMPERATURA

Segundo estudo desenvolvido por MC BEAN *et al.* (1995), a faixa ótima de temperatura para a geração de biogás é de 30 a 40 °C, sendo que para temperaturas inferiores a 15 °C, ocorrem limitações para a atividade metanogênica.

Os microrganismos presentes nas reações de degradação dos resíduos apresentam grande sensibilidade às variações bruscas de temperatura, já que não controlam sua temperatura corporal (MONTEIRO *et al.*, 2006).

As variações da temperatura, internamente à massa dos resíduos, ocorrem mais intensamente na região mais elevada dos aterros, devido às mudanças da temperatura ambiente. Segundo QIAN *et al.* (2002) os resíduos que estão a 15 metros de profundidade não sofrem interferências relacionadas às alterações na temperatura ambiente. Já JUCÁ e MACIELL (1999), que desenvolveram estudo sobre o Aterro de Muribeca, localizado em Recife, afirmaram que a temperatura ambiental interfere somente até 2,5 metros.

#### 4.11.5 pH

Conforme informações de profissionais que atuam no aterro sanitário em estudo, o pH da massa dos resíduos é levemente ácido e se aproxima da neutralidade com o início da atividade metanogênica.

O pH ótimo para a produção de biogás é próximo do pH neutro. CHRISTENSEN *et al.* (1989) e PEREIRA (2000) relataram que o pH ótimo apresenta-se entre 6 e 8, QIAN *et al.* (2002) relataram que apresenta-se entre 6,7 e 7,5 e MONTEIRO *et al.* (2006) relatou a faixa de 6,5 a 7,6.

#### *4.11.6 PROJETO DO ATERRO*

Os projetos de aterros sanitários desenvolvidos segundo o MDL visam o aumento da geração de metano, que está presente no biogás gerado da degradação da matéria orgânica em decomposição, de forma a obter-se captação maximizada do metano gerado para a obtenção dos respectivos créditos de carbono.

A impermeabilização do solo, a estratégia para a cobertura do resíduo, o controle sobre a produção de chorume e a forma como é feita a sua recirculação e drenagem, dentre outras atividades realizadas durante a implementação de projetos de aterros, são imprescindíveis para estabelecerem-se as condições ideais para o posterior controle sobre as variáveis do projeto.

#### *4.11.7 OPERAÇÃO DO ATERRO*

As principais variáveis envolvidas durante a operação dos aterros sanitários são disposição e compactação dos resíduos e utilização da recirculação de chorume.

A compactação dos resíduos deve ser realizada de forma que reduza a quantidade de oxigênio presente no meio e favoreça, portanto, a produção e captação de metano. A compactação elevada dos resíduos pode ocasionar a retenção do biogás e conseqüências, como por exemplo, a dificuldade para a sua captação.

A recirculação do chorume pode ser utilizada no momento em que seja verificado que a umidade residual apresenta-se baixa.

#### *4.11.8 IDADE DO LIXO*

A disposição dos resíduos sólidos nos aterros sanitários é realizada constantemente. O processo de decomposição segue as cinco fases apresentadas no item IV.9.4 desta pesquisa, que ocorrem de forma diferenciada em cada ponto do aterro, já que depende do período em que os resíduos são produzidos.

Os resíduos mais recentes tendem a gerar mais metano que os resíduos antigos, já que estes últimos já passaram pelas fases da decomposição.

## 5 AS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE E AS CONSIDERAÇÕES PARA A INCINERAÇÃO

---

Neste capítulo são apresentadas as alternativas mais utilizadas para o tratamento de RSS, que considera a esterilização através da desinfecção térmica ou autoclavagem, descontaminação química, ionização e higienização por microondas, que são adequados para resíduos infectantes, e a incineração, que pode ser utilizada para tratamento de resíduos infectantes (grupo A) e resíduos químicos (grupo B). São utilizados como referência dois documentos desenvolvidos na América Central, que foram disponibilizados nas páginas da internet [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual\\_RSS\\_Parte3.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual_RSS_Parte3.pdf), referente ao “*GUÍA de capacitación: gestión y manejo de desechos sólidos hospitalarios*” (1996), e [http://www.mspas.gob.sv/regulacion/pdf/guia/guia\\_desechos\\_solidos\\_d\\_final\\_celdas\\_segurid.pdf](http://www.mspas.gob.sv/regulacion/pdf/guia/guia_desechos_solidos_d_final_celdas_segurid.pdf), referente ao “*Guía para la gestión de los desechos sólidos con disposición final em celdas de seguridad*” (2007), conforme consultas realizadas em maio de 2008.

São abordados os critérios para a escolha do tratamento mais adequado, de acordo com o objetivo do projeto e da característica dos resíduos e, além disso, é apresentada tabela com estudo comparativo entre os diferentes métodos de tratamento e a possibilidade de aplicação de acordo com a classificação do resíduo.

Os projetos de aterros sanitários e de usinas de incineração são comparados do ponto de vista da tecnologia e aplicação, onde estão citados os aspectos relacionados às vantagens e desvantagens para a aplicação em países desenvolvidos e em desenvolvimento.

A incineração é abordada com foco para o tratamento de resíduos sólidos municipais, com o objetivo de disponibilizar informações conhecidas com relação à aplicação desta tecnologia devido à experiência em projetos externamente e no Brasil.

## 5.1 AS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO DE RSS

### 5.1.1 ESTERILIZAÇÃO

O objetivo da esterilização é eliminar qualquer microrganismo presente no meio, que pode ser obtida através de tratamento físico por injeção de calor e radiações ionizantes ou tratamento químico, com a utilização de componentes como o formaldeído ou o glutaldeído.

A esterilização deve ser monitorada com amostragens visando a análise da população de microrganismos de acordo com o tempo de processo. Além disso, torna-se fundamental a redução do volume, a granulometria adequada para a homogeneização e para o rompimento das barreiras no contato do meio reacional com os RSS.

A esterilização de resíduos pode ser realizada através de desinfecção térmica ou autoclavagem, descontaminação química, ionização e higienização por microondas.

O processo de desinfecção térmica consiste em submeter os RSS à temperatura superior à 100 °C, ambiente confinado, com um tempo pré-estabelecido. Normalmente, utiliza-se a temperatura de 121 °C e o tempo médio superior a 60 minutos. A capacidade dos sistemas de desinfecção térmica normalmente é baixa. São processos próprios para tratamento de resíduos infectantes (Grupo A). As vantagens principais são alta eficiência e a facilidade para operação e as desvantagens principais são a não redução do volume dos resíduos e a inadequação para tratamento de resíduos anatômicos.

A descontaminação química consiste na utilização de solução de hipoclorito de sódio, gás óxido de etileno e solução aquosa de formol, que se decompõe em vapor e deve atuar por aproximadamente 45 minutos, para o tratamento de resíduos líquidos e para a descontaminação de superfícies. A principal vantagem é o baixo custo e as principais desvantagens são a não redução do volume, a ineficácia contra alguns patogênicos resistentes e a necessidade de superfícies expostas ao reagente utilizado. Trata-se de um processo que não é utilizado para o tratamento de RSS devido ser ineficiente, por exemplo, para o tratamento de regiões como o interior de seringas presentes nesses resíduos.

O tratamento por ionização é utilizado, principalmente, para a desinfecção de alimentos. O método consiste em exposição a radiações ionizantes para a destruição de agentes patológicos, porém ainda apresenta-se em discussão quanto a sua aplicação para o tratamento de resíduos. A trituração é recomendada e as vantagens são alta eficiência, baixa contaminação mínima e custo inferior ao da descontaminação química, mas requer mão-de-

obra capacitada para a operacionalização, representa manutenção complicada e perigo quanto à exposição e destinação da fonte de irradiação ao término da vida útil do equipamento.

A higienização por microondas é utilizada como um pré-tratamento de resíduos biológicos e normalmente aplicado aos laboratórios em pequena escala. O tratamento de RSS pode ser realizado através de trituração e umidificação prévia dos resíduos para posterior transporte por meio de parafuso de Arquimedes, que é equipado com emissores de ondas de alta frequência a uma temperatura entre 95 °C e 105 °C. Trata-se de um processo com aplicação crescente no Brasil, principalmente nos estados do Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo, e é uma grande oportunidade para o desenvolvimento de estudos para sustentar a aplicação desta tecnologia para o tratamento dos RSS no Brasil.

Dentre as alternativas para tratamento por esterilização no Brasil, a autoclavagem é a mais utilizada em escala industrial para o tratamento de resíduos infectantes (Grupo A).

### 5.1.2 INCINERAÇÃO

O Decreto-Lei, número 239, de 9 de setembro de 1997, define a instalação de incineração como

*“qualquer equipamento técnico afecto ao tratamento de resíduos por via térmica, com ou sem recuperação do calor produzido por combustão, incluindo o local de implantação e o conjunto da instalação, nomeadamente o incinerador, seus sistemas de alimentação por resíduos, por combustíveis ou pelo ar, os aparelhos e dispositivos de controle das operações de incineração, de registro e de vigilância contínua das condições de incineração”* (DL 239/97, 1997, art. 3º)

A incineração é adequada ao tratamento de resíduos altamente infectantes (Grupo A) e de resíduos químicos (Grupo B), que incluem resíduos farmacêuticos e orgânicos, exceto os resíduos radioativos e os recipientes pressurizados, com as vantagens de redução de volume dos resíduos em 80 a 95%, o que reduz a necessidade de demanda de área à disposição final, de destruição dos resíduos patogênicos e da possibilidade de tratamento de resíduos anatômicos. As desvantagens estabelecidas em [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual\\_RSS\\_Parte3.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual_RSS_Parte3.pdf) são valor de investimento duas a três vezes superior aos outros processos, alto consumo de combustível, necessidade de

constante manutenção e risco de emissões tóxicas na atmosfera, conforme consulta à referida página da internet em maio de 2008.

Os incineradores mais modernos contam com duas câmaras de combustão para o aumento da eficiência do processo, em que, na segunda câmara, a temperatura chega a até 1100 °C e não pode ser inferior a 800 °C, buscando-se a eliminação de componentes químicos nocivos, como os furanos e as dioxinas, e a inativação biológica. As novas tecnologias contemplam, após a etapa de combustão, torres de lavagem, ciclones, filtros, dentre outras aplicações, buscando-se evitar as emissões tóxicas na atmosfera.

A capacidade dos incineradores é definida em função da quantidade de resíduo que se pretende tratar, tendo em vista que objetiva-se a operação contínua para se evitar mudanças bruscas de temperatura para o aumento da vida útil dos refratários utilizados nas câmaras de combustão. A vida útil é de 10 a 15 anos e a manutenção de 20 a 30 dias por ano.

O tratamento de RSS pode ser realizado em incineradores dedicados aos RSS, em fornos rotativos adequados para resíduos perigosos, sólidos ou pastosos e usinas de incineração com sistema de tratamento dos gases emitidos do processo.

Atualmente, também são utilizados combustores elétricos, que permitem atingir a temperatura em torno de 2700 °C, e a tecnologia da tocha de plasma, que atinge a temperatura para o tratamento de resíduos de 1600 a 4000 °C e é adequada para a eliminação de moléculas tóxicas e para a vitrificação de metais pesados.

## **5.2 OS CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DO TIPO DE TRATAMENTO**

A seleção do método a ser utilizado para o tratamento adequado dos RSS deve considerar a questão do impacto ambiental, dos custos da instalação e manutenção das alternativas existentes, da capacidade ou periodicidade necessária para funcionamento, que é de acordo com a quantidade de resíduo disponível para tratamento, e dos riscos oferecidos para a operacionalização. Além disso, deve-se realizar o estudo da região para avaliação dos benefícios com um possível investimento para a prestação de serviços para empresas geradoras de RSS e das soluções existentes, que devem ser avaliadas de acordo com a classificação do resíduo, e das dificuldades para a implementação.

O responsável pelo projeto deve elaborar um documento com o estudo das alternativas viáveis com as respectivas avaliações técnicas e econômicas, que inclui os custos de manutenção, operação, instalação, amortização do equipamento, o valor disponível para o investimento, as propriedades físico-químicas dos resíduos a serem tratados e a

compatibilidade da alternativa proposta com as legislações, normalizações e a possibilidade de obtenção de licenciamento ambiental para liberação ao funcionamento.

A Tabela 5 disponibiliza as informações que permitem comparar, de forma geral, processos de tratamento de RSS diferentes. Vale ressaltar que a redução do volume para autoclave e microondas pode ser considerada alta com a utilização da trituração prévia dos resíduos para o tratamento, que a capacitação pessoal para operação de autoclave não foi considerada crítica, que a eficiência da desinfecção é alta para incineradores de tecnologia avançada e recomenda-se que o custo de investimento e de operação sejam avaliados criteriosamente para a implementação de quaisquer das tecnologias.

**Tabela 5 – Comparação entre as características de processos de tratamento dos RSS**

| Processo           | Redução do volume | Eficiência da desinfecção | Impacto ambiental | Capacitação pessoal | Capacidade de tratamento | Custo de investimento | Custo de operação |
|--------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|
| Autoclave          | baixa             | alta                      | baixa             | média               | média-baixa              | média                 | média             |
| Tratamento Químico | baixa             | incompleta                | média             | média               | média-alta               | média                 | média             |
| Irradiação         | baixa             | baixa                     | média             | alta                | pequena                  | alta                  | alta              |
| Microondas         | baixa             | alta                      | baixa             | alta                | pequena                  | alta                  | alta              |
| Incineração        | alta              | alta                      | baixa             | alta                | sem limites              | alta                  | alta              |

Fonte: “GUÍA de capacitación: gestión y manejo de desechos sólidos hospitalarios (1996)”  
Disponível em: Programa Regional de Desechos Sólidos Hospitalários

Nas grandes cidades brasileiras há diversos empreendimentos oriundos da iniciativa privada dedicados ao tratamento de RSS. Nessas regiões verifica-se a existência de legislação efetiva e fiscalização atuante. Dessa forma, pode-se constatar que existem diversas instalações adequadas para o tratamento de RSS em virtude da participação efetiva dos órgãos fiscalizadores. Dentre os processos implementados, as tecnologias autoclave e incineração são as mais utilizadas e verifica-se a implementação crescente da tecnologia microondas.

### **5.3 A COMPARAÇÃO ENTRE AS USINAS DE INCINERAÇÃO E OS ATERROS SANITÁRIOS**

As características gerais da incineração aplicada aos resíduos sólidos municipais são abordadas em “*Municipal Solid Waste Incineration: Requirements for a Successful Project*” (RAND, HAUKOHL, MARXEN, 2000) e a seguir estão apresentadas as principais

considerações para a sua implementação através de comparação com funcionamento dos aterros sanitários.

As técnicas de incineração de resíduos sólidos municipais para recuperação de energia são tratadas como os mais eficientes métodos, devido à ausência das emissões de metano que ocorrem nos aterros sanitários. O Projeto Usina Verde, que foi aprovado em 14 de outubro de 2006, dispõe de processo de incineração com recuperação de energia e tratamento dos gases emitidos, conforme apresentado pelo CENTRO CLIMA (2005).

A aplicação da técnica ao tratamento dos resíduos sólidos municipais, que inclui a possibilidade de tratamento dos RSS, requer investimento elevado e é muito utilizada principalmente nos países desenvolvidos, que implementam usinas de incineração com grande capacidade e com unidades de tratamento dos gases da combustão. As usinas são implantadas próximo de áreas urbanas por não afetarem as comunidades vizinhas e apresentam indiscutível economia ambiental, podendo ser utilizadas como fontes de energia para abastecimento local.

Os países em desenvolvimento apresentam dificuldades para implementação de usinas de incineração em larga escala devido ao elevado custo de investimento e à baixa demanda de mão-de-obra especializada. Dessa forma, até mesmo a implementação de incineradores como unidades centralizadas para o tratamento de RSS também deve ser avaliada cuidadosamente, considerando-se a necessidade de compensação dos custos com o investimento, com a manutenção periódica, mão-de-obra necessária, a quantidade de resíduos infectantes e químicos disponíveis ao tratamento e, principalmente, o estudo dos estabelecimentos de saúde próximos, que representam as empresas contratantes para a prestação de serviços.

As usinas de incineração e os aterros sanitários, aplicados nos países em desenvolvimento, deveriam necessariamente estabelecer etapa anterior de reciclagem, que utilizaria a mão-de-obra dos catadores de lixo dos lixões, para a seleção dos materiais valiosos, de forma que haja oportunidade de emprego em ambiente mais seguro e a implementação de reciclagem e reutilização, que não é utilizada adequadamente nos processos implementados nos países em desenvolvimento.

#### **5.4 A TECNOLOGIA DE INCINERAÇÃO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

O processo de incineração dispõe de alimentação de combustíveis fósseis, que pode ser o gás natural para manutenção da temperatura mínima ou o biogás, caso seja utilizada estratégia de instalação de incinerador em local onde há geração e captação de gás, água e

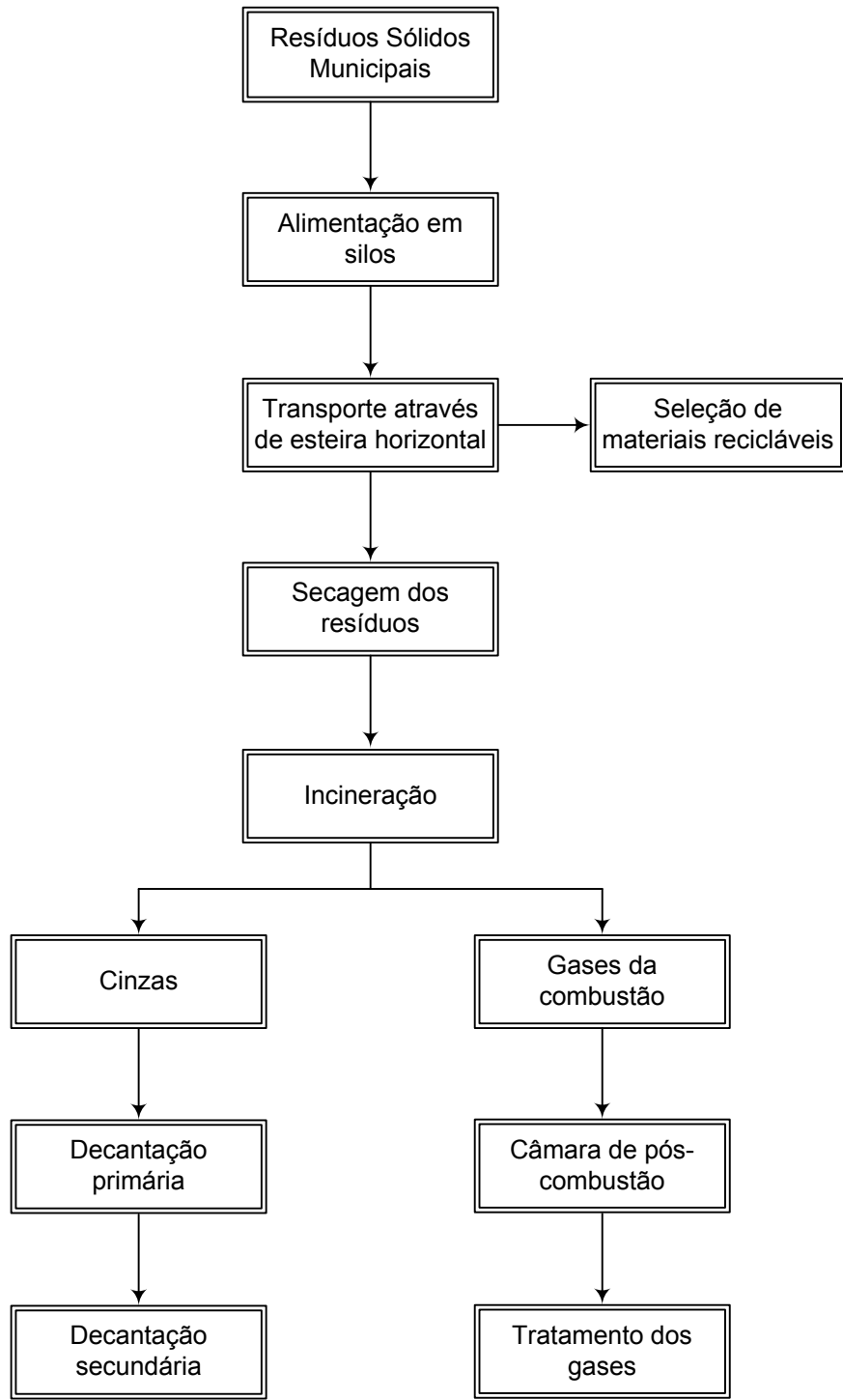


energia elétrica para a combustão e carbonato de cálcio e hidróxido de sódio para utilização e para a remoção dos gases ácidos do sistema de tratamento das emissões. A energia de alimentação do incinerador pode ser a gerada do próprio processo. Os produtos são os resíduos sólidos residuais, água, as emissões atmosféricas e a energia recuperada.

As emissões da combustão devem ser consideradas poluentes, que não são eliminadas totalmente na etapa de tratamento, e contemplam particulados, dioxinas, metais pesados, gases ácidos, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis e dióxido de carbono, que é produto da combustão de matérias orgânicas.

Os resíduos sólidos residuais são as cinzas da combustão e os resíduos presentes na água utilizada para etapa de tratamento das emissões. Ambos são destinados para disposição final em aterro sanitário.

A Figura 9 disponibiliza ilustração de fluxograma de projeto de usina de incineração, conforme adotado, por exemplo, para o projeto Usina Verde (2006), que estabeleceu catadores para a coleta de vidros, polímeros e metais na esteira transportadora de resíduos para separação, compressão e venda, incineração com utilização de GLP como combustível adicional para a manutenção da temperatura mínima de 850 °C, sistema de combustão e tratamento com pressão negativa para evitar a perda de gases sem tratamento na atmosfera, dois sistemas de decantação para a separação das cinzas da corrente de água a ser reutilizada no processo, de onde se extraem os sólidos insolúveis e os sais dissolvidos, e o tratamento dos gases em três etapas, que são aspersão de água de lavagem, direcionamento da corrente gasosa por tubo com cortinas de água e secagem para descarte na atmosfera.



**Figura 9 – Fluxograma geral de processo de incineração de resíduos**

## 6 ESTUDO DE CASO

---

Neste capítulo são apresentados os aspectos relacionados a um aterro sanitário localizado no estado do Rio de Janeiro, com foco voltado para uma Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes (UTRI) por desinfecção térmica a vapor instalada na área do aterro.

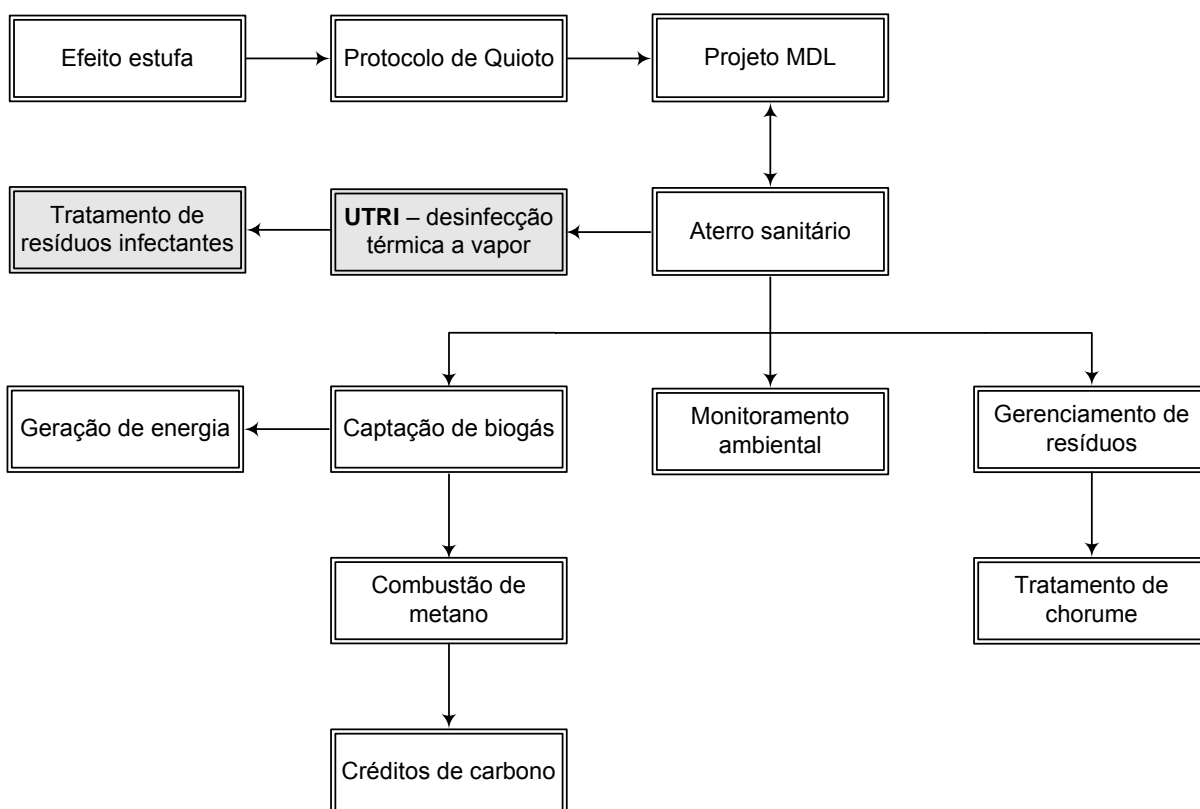
Foi apresentada abordagem sobre a região, a população, o clima, as questões relacionadas à infra-estrutura e a forma como é realizada a coleta dos resíduos sólidos urbanos, que são destinados ao aterro sanitário.

É apresentado um maior detalhamento das questões relacionadas à área e à forma como foi implementado o sistema de drenagem dos líquidos e gases gerados com as chuvas para o aterro sanitário. Além disso, são observados e detalhados os aspectos significativos do processo de decomposição dos resíduos e de impermeabilização do solo. Também foi verificada a média diária para a disposição dos resíduos e a geração teórica de biogás, que inclui variáveis retiradas de documentos específicos do projeto MDL.

A Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes (UTRI) foi apresentada conforme observado durante o acompanhamento da operação do processo e de acordo com os documentos de projeto disponibilizados pelos profissionais que atuam na área.

## 6.1 A ÁREA OBSERVADA DURANTE A PESQUISA DE CAMPO

A Figura 10 apresentada a seguir facilita a compreensão do cenário observado durante as visitas realizadas na área onde se apresenta instalada a Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes (UTRI), que é o processo de desinfecção térmica a vapor questionado e utilizado como referência da pesquisa para a análise comparativa com os processos de incineração.



**Figura 10 – Área considerada para a fundamentação da pesquisa**

Fonte: desenvolvido de acordo com o observado durante a pesquisa de campo

A UTRI apresenta-se instalada para tratamento de resíduos infectantes na área de aterro sanitário, que dispõe de sistema de captação, queima e aproveitamento energético do biogás, projeto de MDL estabelecido conforme o Protocolo de Quioto, aporte de resíduos não-perigosos do município local, monitoramento e controle ambiental da área, dentre outras oportunidades lucrativas com investimentos que colaboram para a preservação ambiental.

## **6.2 O MUNICÍPIO DO ATERRO SANITÁRIO**

As informações sobre o município, onde se apresenta instalado o aterro sanitário considerado para a pesquisa, foram obtidas através de consulta à página da internet da prefeitura local.

O município do estado do Rio de Janeiro, onde se apresenta localizado o projeto MDL, tem área territorial de 524,04 km<sup>2</sup> com mais de um terço ocupado por florestas de mata atlântica, 67% de área de proteção ambiental, 300 km de rodovias e população estimada em 830.902 pessoas, com alta densidade demográfica de 1.637,7 hab/km<sup>2</sup>.

O clima é tropical úmido com chuvas mais intensas entre os meses novembro e fevereiro, com temperatura média anual em torno de 25,8°C. A taxa de evapotranspiração média anual é de 703 mm e a umidade relativa do ar é de 70%.

O município apresenta diversos problemas relacionados à infra-estrutura urbana, principalmente no que diz respeito ao saneamento básico, que contempla a rede de esgoto, o abastecimento de água e a drenagem.

No município em questão, a coleta de resíduos domiciliares é realizada 3 vezes por semana, exceto na área central da cidade, que é realizada diariamente. A cobertura da coleta é de 85% e o direcionamento dos resíduos é total para a área do aterro sanitário, onde apresenta-se instalado o projeto MDL.

## **6.3 O ATERRO SANITÁRIO**

### *6.3.1 A ESTRUTURA DIMENSIONADA PARA O APORTE DE RESÍDUO*

A área total do aterro sanitário em estudo é de 120 hectares, subdividido em quatro áreas para disposição de resíduos, apresenta declividade de 2%, cota inferior de 24 metros e superior de 36,5 metros. A previsão de saturação da área do aterro é para ocupação de resíduos com cota de até 65 metros.

A disposição dos resíduos é realizada em células com dimensões aproximadas de 5 metros de altura por 45 metros de comprimento, que são cobertas diariamente por camada de cobertura de 30 cm de espessura.

A impermeabilização de fundo é realizada utilizando-se camada de solo compactada para redução da permeabilidade com espessura mínima de 1 metro, revestimento de

geomembrana de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) de 1,5 mm de espessura e mais uma camada de solo com 30 cm de espessura, para evitar contaminação do solo e dos lençóis freáticos com a disposição dos resíduos sólidos.

O sistema de drenagem de fundo do aterro sanitário é composto por drenagem principal e drenagem secundária, para o encaminhamento do chorume até os Poços de Inspeção, local onde é realizada a medição da vazão e a coleta de amostra para o monitoramento contínuo do líquido que percola os resíduos depositados no aterro.

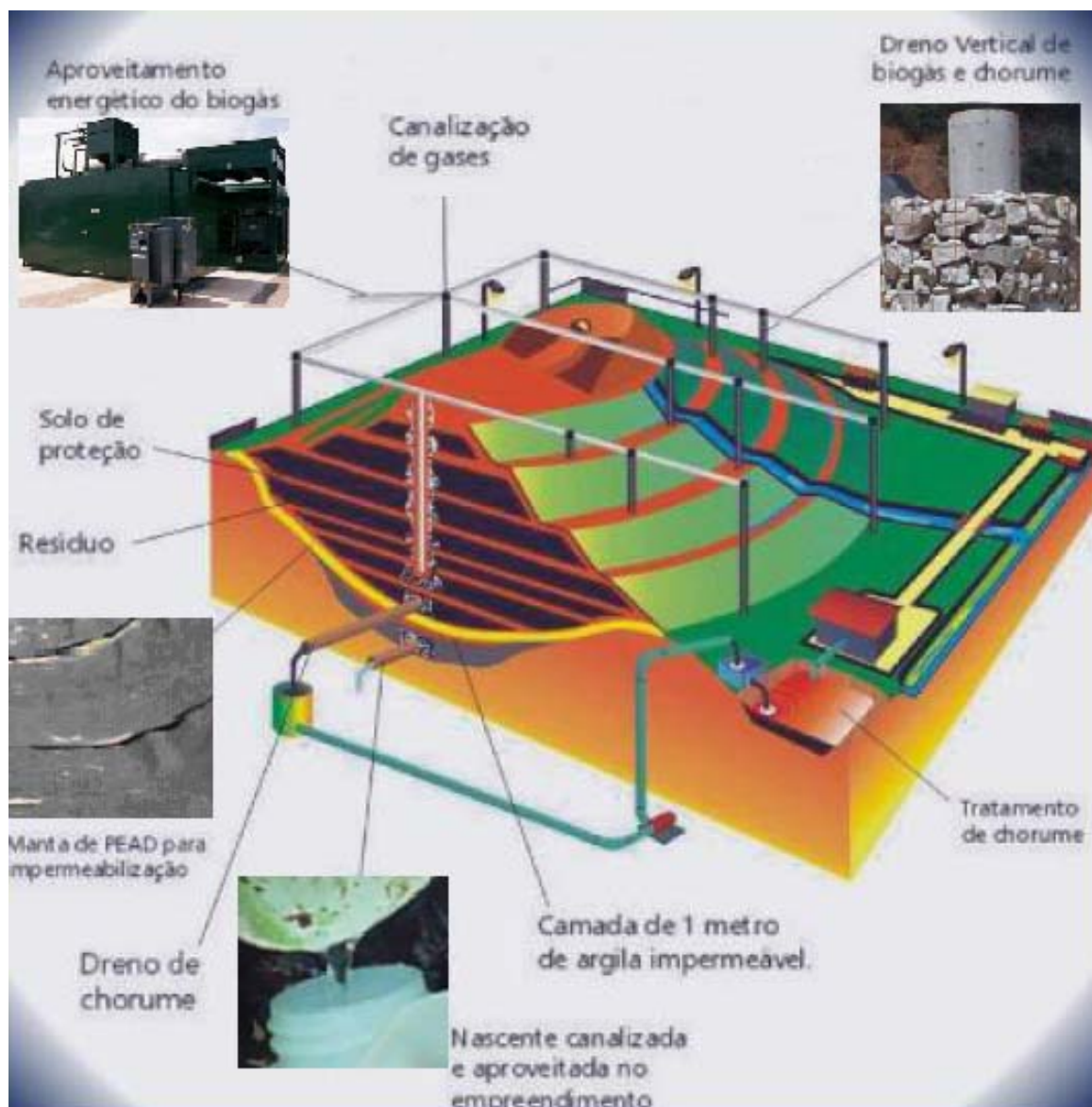
A drenagem secundária apresenta drenos laterais espaçados em até 50 metros entre si, que conduzem o chorume para o sistema de drenagem principal, que é formado por tubos de drenagem com diâmetro de 0,40 metros, e revestido por uma manta geotextil para evitar a entrada de resíduos finos e causar entupimento do sistema.

O sistema de drenagem vertical do aterro sanitário é utilizado para destinar o chorume gerado para o sistema de drenagem de fundo e, principalmente, para direcionar os gases formados para a atmosfera. São utilizados tubos de concreto com diâmetro de 0,40 metros, que são perfurados e envolvidos por anéis de rachão com diâmetro de 0,50 metros, dispõem de tela e britas, e são aumentados de acordo com a disposição dos resíduos sólidos.

O sistema de drenagem horizontal do aterro sanitário é instalado em todas as camadas dos resíduos depositados nas células e tem a função de conduzir o chorume e os gases gerados aos drenos verticais, que são interligados aos drenos de fundo, através de utilização de retroescavadeiras após a conclusão da ocupação da respectiva célula.

O controle sobre a umidade dos resíduos para favorecer a decomposição e a geração de biogás é realizada através da pulverização da água extraída de lençol freático. O aterro sanitário não utiliza o processo de recirculação de chorume. Todo o chorume produzido é encaminhado para o evaporador ou direcionado para estação de tratamento adequada.

A Figura 11 permite uma visão geral do projeto do aterro sanitário observado durante a pesquisa. É possível identificar o sistema de drenagem utilizado, a amostragem de água para monitoramento da qualidade, a manta de PEAD, as camadas dos resíduos e o respectivo solo de proteção entre as células, o poço de chorume para tratamento e o sistema montado para captação e canalização dos gases, que é utilizado à geração de energia e direcionado para o combustor de metano.



**Figura 11 – Adaptado de corte esquemático do aterro sanitário**

Fonte: disponibilizado por profissionais do aterro sanitário, local onde apresenta-se instalada a UTRI

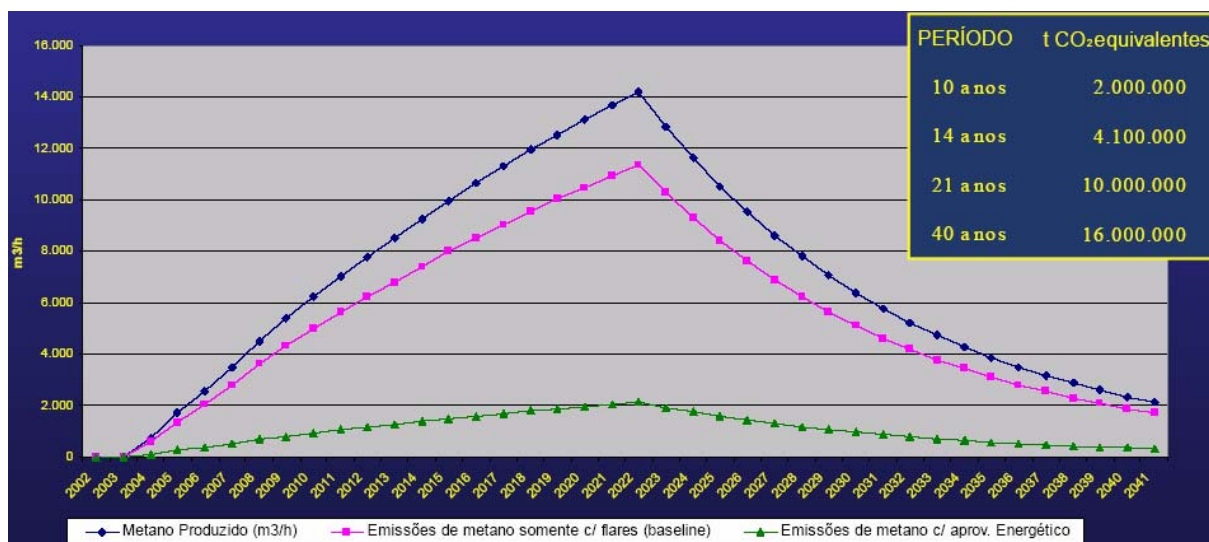
O aterro sanitário prevê a instalação de unidade recicladora para tratamento dos resíduos sólidos domiciliares coletados no município antes da disposição no aterro sanitário. O processo utilizará alimentador vibratório, separador magnético, sistema de peneiramento e equipamentos como retroescavadeira e pá carregadeira de pneus e dois caminhões basculantes, para tratamento dos resíduos mais grosseiros anteriormente à deposição no aterro. A fração dos resíduos correspondentes a entulho é desprezível, porém é separada e utilizada internamente para acesso às praças de descarga.

### 6.3.2 A CAPACIDADE DE APORTE DE RESÍDUO E DE GERAÇÃO DE BIOGÁS

No ano de 2003 iniciou-se a fase de operação do aterro sanitário, que é o local onde foi instalado o projeto MDL referência. No ano de 2004, iniciou-se a captação de biogás com previsão para término em 2022 e estabeleceu-se o valor de eficiência para a captação de 85% (BANCO MUNDIAL, 2004) sobre o biogás gerado.

No ano de 2003, a média para a disposição de resíduos no aterro sanitário, foi de aproximadamente, 1000 toneladas por dia, e para 2007, segundo informações obtidas através de visita técnica à empresa pode ser considerado o mesmo valor, que é o valor de referência para completar a área disponível do aterro para o aporte de resíduo, levando-se em consideração o valor médio diário para o período de 2003 até 2022.

A Figura 12 apresenta o gráfico da previsão de geração de metano, em toneladas de gás carbônico equivalente, para 10, 14, 21 e 40 anos, a partir de 2003. A curva azul representa o valor teórico total calculado para a vazão volumétrica de metano gerado no aterro sanitário, em função do aporte de resíduo. As curvas rosa e verde representam a previsão das emissões de metano que serão direcionadas para combustor de metano e gerador de eletricidade, respectivamente.



**Figura 12 – Geração de metano durante a vida útil do aterro**

Fonte: disponibilizado por profissionais do aterro sanitário, que corresponde ao objeto de estudo



## 6.4 O PROJETO DE REAPROVEITAMENTO E QUEIMA DE BIOGÁS

O aterro sanitário dispõe de um sistema de coleta de biogás ativo, ou seja, conta com exaustores e compressores para o direcionamento do biogás ao combustor de metano e ao gerador de eletricidade, o que é muito utilizado em projetos de aproveitamento energético de biogás e, neste caso, para favorecer a captação dos gases para a combustão e para a geração de eletricidade com o objetivo de obter créditos de carbono, correspondentes à estratégia vinculada ao projeto MDL instalado na área do aterro.

O biogás também é utilizado como combustível do equipamento responsável pela evaporação de chorume, conforme previsto pela USEPA (1998). A eficiência de evaporação é de 95%. Os vapores exaustos deste processo são misturados aos gases da combustão do biogás em combustor para favorecer a oxidação dos compostos orgânicos presentes e os materiais precipitados, que correspondem a 5%, são descartados no aterro sanitário.

O projeto MDL dispõe de combustor de metano, que mantém a temperatura em torno de 900°C e promove a reação de combustão completa do metano, conforme a reação  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ . Durante o processo de combustão do biogás, cada molécula de metano é convertida em uma molécula de gás carbônico, portanto, o impacto ambiental é minimizado.

A experiência adquirida com atuação em empresa que atua no segmento de análise de gases e durante a pesquisa contribuiu para acrescentar algumas informações, que estão disponíveis como anexos desta pesquisa sobre o processo de combustão de metano e de geração de eletricidade do projeto de MDL observado. O anexo B dispõe sobre o Plano de Monitoramento (2002) desenvolvido pelo Banco Mundial, que é responsável pela estratégia de monitoramento para o combustor de metano e para o gerador de energia elétrica; os anexos C e D apresentam o cálculo da redução das emissões de metano em combustores de metano e geradores de eletricidade; o anexo E disponibiliza a estratégia e a periodicidade definida para o monitoramento do combustor de metano; o anexo F apresenta uma metodologia para monitoramento contínuo desenvolvida por empresa inserida no setor de análise de gases; o anexo G apresenta a estrutura de cálculo da eficiência do combustor de metano conforme o anexo 13 do Protocolo de Quioto; o anexo H apresenta a estrutura de cálculo da eficiência do combustor de metano conforme planilha de cálculo desenvolvida; o anexo I apresenta o gráfico que permite comparar os valores calculados para a eficiência do combustor de metano conforme definido no Protocolo de Quioto e em planilha de cálculo desenvolvida.

O aterro sanitário observado durante a pesquisa conta com laboratório para análise dos resíduos e monitoramento da água, viveiro de plantas operado por ex-catadores do lixão, que

mantém espécies da mata atlântica da região, conforme apresentado no anexo J, para reflorestamento da área do aterro ao término da vida útil, trabalha com educação ambiental, alfabetização de adultos e cursos para capacitação técnica da comunidade da região.

## **6.5 A UNIDADE DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS INFECTANTES (UTRI)**

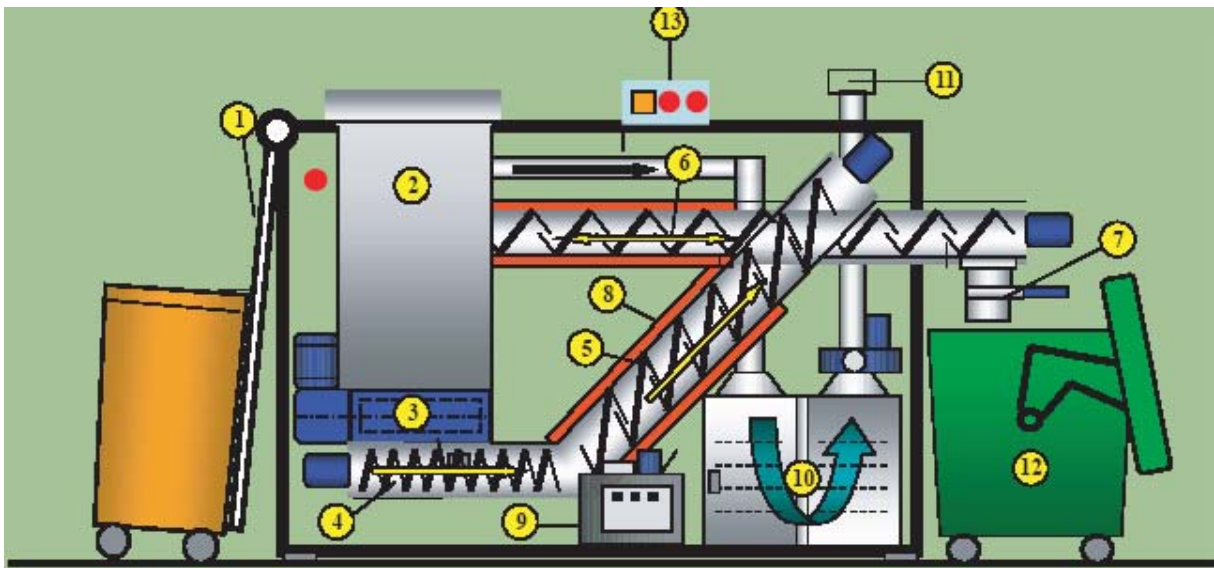
O processo de esterilização por desinfecção térmica a vapor, instalado no aterro sanitário em estudo é controlado e monitorado por controlador lógico programável e sistema supervisão. Este sistema realiza o monitoramento da temperatura e do tempo, dos indicadores de segurança e permite a emissão de relatório com a eficiência do processo. O processo é documentado e todas as variáveis de controle são armazenadas em computador.

Em caso de falha ou de não-conformidade dos parâmetros de controle do equipamento durante o seu funcionamento, o esterilizador interrompe o processo automaticamente de forma que o resíduo “não-tratado” não seja liberado ao meio ambiente. Além disso, por questões de segurança, é previsto um processo automático de auto-desinfecção térmica antes de qualquer exposição dos responsáveis às áreas “impuras” do equipamento.

A etapa de alimentação do equipamento é realizada com fluxo de ar com pressão interna negativa para evitar a contaminação do meio externo com o carregamento de resíduos, que é realizado semi-automaticamente com a utilização de recipientes apropriados, disponibilizados aos estabelecimentos de saúde, que são fixados diretamente no equipamento. Após a alimentação, o equipamento é lacrado e inicia-se a etapa de trituração e peneiramento para o transporte dos resíduos através de rosca sem fim, que apresenta sistema para manutenção da temperatura através de óleo quente e disponibiliza pontos de inserção de vapor aos resíduos. A temperatura e o tempo de exposição são as variáveis a serem ajustadas de acordo com as regulamentações locais dedicadas ao tratamento de resíduos infectantes.

O processo gera um efluente líquido, que é encaminhado para o evaporador de chorume, e um resíduo sólido inerte, que é direcionado para disposição no aterro sanitário.

A Figura 13 disponibiliza a ilustração do processo utilizado para o tratamento de resíduos por desinfecção térmica a vapor utilizada na área do aterro sanitário, que foi observado durante a realização da pesquisa.



**Figura 13 – O processo de desinfecção térmica do aterro sanitário**

Fonte: disponível na página da internet do fabricante do equipamento

A seqüência numérica 1 a 13, que está apresentada no desenho da Figura 12, corresponde às etapas para o tratamento no equipamento, conforme apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6 – Detalhamento do processo de desinfecção térmica a vapor**

| Etapa | Equipamentos que compõem o processo utilizado para o tratamento |
|-------|---|
| 1     | Recipiente de armazenamento de resíduos infectantes             |
| 2     | Funil de alimentação  |
| 3     | Trituração e peneiramento                                       |
| 4     | Rosca transportadora sem fim                                    |
| 5     | Rosca sem fim de tratamento                                     |
| 6     | Rosca sem fim de descarga                                       |
| 7     | Válvula de descarga   |
| 8     | Aquecimento elétrico aplicado à rosca sem fim                   |
| 9     | Gerador de vapor  |
| 10    | Filtração do ar gerado no processo                              |
| 11    | Descarga do ar de processo tratado                              |
| 12    | Recipiente de armazenamento de resíduos tratados                |
| 13    | Painel de controle elétrico                                     |

Fonte: informações obtidas por meio de pesquisa na área observada

A capacidade nominal do equipamento é de 200 kg/h, está operando durante dois turnos diários de funcionamento, conta com dois funcionários dedicados por turno, consome

5,5 L/h de água potável, 38 kWh de eletricidade e reduz o volume dos resíduos tratados em até 80%, devido à etapa de trituração dos resíduos anteriormente à desinfecção por vapor.

O processo de desinfecção térmica a vapor instalado na área do aterro sanitário foi observado durante o período de uma semana. Foi constatado que a equipe de operadores não possui o conhecimento necessário para operação e que ocorrem paradas constantes que afetam a eficiência do tratamento dos resíduos infectantes (Grupo A). A desativação microbiológica dos resíduos tratados não é total e os mesmos são encaminhados para célula construída na área do aterro sanitário com dedicação exclusiva para os resíduos desse processo. Essas questões podem estar relacionadas com a mão-de-obra, que não foi treinada adequadamente, com possíveis limitações do processo e devido às características dos resíduos.

A etapa de trituração para o aumento da superfície de contato dos resíduos com o vapor é fundamental para a desativação microbiológica dos resíduos infectantes, porém a operação com interrupções constantes afeta a eficiência do processo devido ao tempo e à temperatura que foram pré-estabelecidos para operação contínua de cada ciclo de tratamento.

## **7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DUAS TECNOLOGIAS PARA INCINERAÇÃO DE RSS EM ATERROS SANITÁRIOS**

---

Neste capítulo são apresentadas duas alternativas de incineradores que podem ser dedicados aos RSS, conforme desenvolvido pela ENGE - APLIC MONTAGENS INDUSTRIAIS LTDA e pela LUFTECH SOLUÇÕES AMBIENTAIS. Ambas as empresas foram consultadas em 25 de julho de 2008.

É apresentado o detalhamento de dois processos de incineração, que inclui a tecnologia e o estudo do investimento necessário para a sua implementação, buscando-se evidenciar a oportunidade com a consideração da estratégia para o tratamento de resíduos sólidos de serviços de saúde em aterros sanitários de municípios de pequeno porte no Brasil.

São disponibilizadas considerações sobre os dois processos com as características essenciais para a avaliação sobre a escolha da tecnologia mais adequada de acordo com a aplicação. Os fabricantes consultados dispõem de tecnologia particular para a reação de combustão dos resíduos e para o tratamento dos gases emitidos do processo.

## **7.1 AS TECNOLOGIAS CONSULTADAS DE INCINERADORES PRÓPRIOS PARA O TRATAMENTO DE RSS**

Os processos de incineração adotados para o estudo são desenvolvidos em acordo com os órgãos e normalizações vigentes e adequados para o tratamento de resíduos institucionais, patológicos e hospitalares. Tanto os resíduos infectantes, como os patológicos e os químicos, que são gerados em hospitais municipais, podem ser direcionados ao tratamento em ambos os equipamentos apresentados a seguir.

### *7.1.1 PROCESSO DE INCINERAÇÃO 1*

A primeira unidade de tratamento considerada é composta por forno incinerador, lavador de gases, chaminé de exaustão e instrumentos para monitoração dos gases. A empresa que comercializa esta alternativa no Brasil é a ENGE - APLIC MONTAGENS INDUSTRIAIS LTDA e foi consultada em 25 de julho de 2008. A proposta comercial encaminhada para incinerador de RSS não apresenta o detalhamento necessário para a compreensão da tecnologia. Muito pouco foi abordado com relação à tecnologia adotada para tratamento dos gases emitidos do processo.

O forno incinerador é do tipo pirolítico com câmaras múltiplas cilíndricas e horizontais com capacidade para 200 quilogramas por hora de resíduos (kg/h). A construção é realizada através de corpos cilíndricos horizontais superpostos, fabricados com a utilização de chapas de aço carbono calandradas, soldadas, com implementação de material refratário internamente à parede e suportadas com estrutura de apoio e passadiços.

O revestimento refratário é desenvolvido em tijolos, concretos refratários e tijolos isolantes para evitar a temperatura elevada na parede externa das tubulações de processo.

A abertura do forno somente pode ser realizada através de acionamento em painel de controle, caso a temperatura não esteja elevada e, necessariamente, com o tempo entre as duas cargas concluído, para assegurar a manutenção da segurança durante a operação.

O forno dispõe de plataforma de carga com 3,4 metros de comprimento, que é abastecida com os resíduos. Após a alimentação são acionados os dois queimadores da primeira câmara de combustão para o processamento da queima e o exaustor, que é responsável pelo controle do fluxo de ar.

O equipamento possui três câmaras. A primeira é responsável pela combustão dos resíduos à temperatura entre 800 °C e 850 °C, a segunda dispõe de um queimador externo para

a manutenção da temperatura entre 900 °C e 1000 °C e entrada de excesso de ar atmosférico para a oxidação dos gases e a terceira câmara, que é extensão da segunda, é responsável pela requeima dos gases submetendo o fluxo gasoso ao tempo de residência de 2 segundos, temperatura de processo entre 800 °C e 900 °C, buscando-se a oxidação completa.

O forno é dotado de um sistema aspersor de água para umedecer os resíduos de forma que plásticos e outros resíduos não queimem rapidamente. Segundo o fornecedor, o limite padrão de admissão de plásticos nos RSS deve permanecer na faixa de 10% a 12% para evitar a formação de gases densos, de forma que favorece a residência para oxidação.

Os queimadores propostos para as câmaras primárias e secundárias são do tipo ventilador incorporado com motor para o controle no fluxo de ar para a exaustão, programador eletrônico, ignição automática, reguladora de pressão do biogás do aterro sanitário, que foi considerado em substituição ao GLP, e válvulas de segurança para bloqueio na alimentação do combustível, caso haja ausência de chama ocasionada por algum problema no equipamento. O consumo médio informado para os queimadores é de 275 mil quilocalorias por hora e a redução do volume dos resíduos é garantida em torno de 95%.

O painel de comando do equipamento dispõe de botões de comando, lâmpadas de sinalização e os indicadores e controladores de temperatura. A câmara primária conta com 2 controladores de temperatura para o controle sobre o ajuste da variável e a saída dos gases do forno com um indicador para monitoração.

O lavador de gases é composto por corpo rígido metálico com revestimento refratário, bombas de recirculação do líquido utilizado para lavagem dos gases, tubulação de alimentação, válvulas para distribuição através de 40 ejetores, caixas de separação e decantação, que garantem a baixa emissão de particulados, e caixa de alimentação. A faixa de operação à vazão dos gases é de 2400 a 2600 metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h) com a pressão de trabalho de 2 atmosferas e a capacidade de vazão do líquido é de 6000 litros por hora (L/h). Além disso, a chaminé dispõe de conexões, que foram instaladas para permitir a coleta dos gases para monitoração.

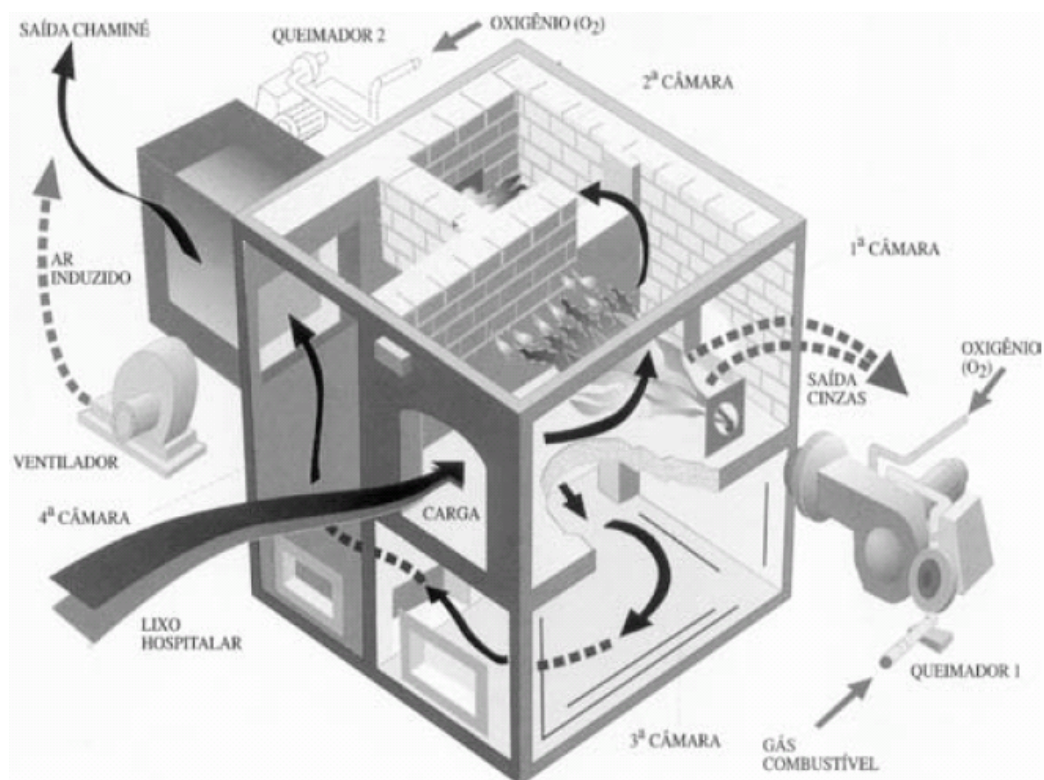
A lama ou o lodo eventualmente gerados do processo podem ser retirados através de portas de limpeza e reincinerados ou depositados diretamente em qualquer local do aterro sanitário. O equipamento não gera resíduos líquidos. A água é constantemente renovada para reposição da fração evaporada. O equipamento dispõe de recipiente para armazenamento e alimentação para a renovação de água e de sistema de tratamento para a água de recirculação, com medição e ajuste do pH.

O peso aproximado do equipamento é de 18 toneladas e a chaminé dispõe de 10,8 metros de comprimento e 2,8 metros de largura e de altura.

O equipamento dispõe de ventilador de ar induzido instalado na base da chaminé de exaustão para gerar pressão negativa na região interna do equipamento e pára-raios, conforme normas específicas, de forma que assegura a sua operacionalização.

O monitoramento dos gases na saída da chaminé é feito através das medições de oxigênio ( $O_2$ ), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) com a utilização de equipamento portátil, fornece a eficiência da combustão através da razão entre os gases CO e  $CO_2$  e realiza registro das medições. A chaminé também dispõe de medição de pressão, temperatura e opacidade com saídas elétricas de alarme, caso as emissões atmosféricas estejam acima do estabelecido para a preservação do meio ambiente.

A Figura 14 disponibiliza foto ilustrativa da tecnologia ou processo de incineração 1, mas não engloba as etapas de lavagem e de monitoramento dos gases gerados. Além disso, a figura apresenta entrada para gás combustível, que neste caso trata-se de alimentação de biogás proveniente do aterro sanitário, e oxigênio para alimentação paralela à combustão dos resíduos, que pode ser substituído por ar ambiente. Neste caso, são representadas quatro câmaras de combustão e dois queimadores.



**Figura 14 – Forno incinerador pirolítico de câmaras múltiplas cilíndricas horizontais**

Fonte: disponibilizado pelo fabricante da tecnologia de incineração 1



### 7.1.2 PROCESSO DE INCINERAÇÃO 2

A segunda unidade de tratamento considerada é composta por reator de multi-câmaras com tubulação metálica com revestimento refratário para direcionamento dos gases ao lavador e instrumentos para monitoração dos gases na exaustão. A empresa que comercializa esta alternativa no Brasil é a LUFTECH SOLUÇÕES AMBIENTAIS e foi consultada em 25 de julho de 2008. A proposta comercial encaminhada para incinerador de RSS não apresenta o detalhamento necessário para a compreensão da tecnologia. A empresa apresenta maior ênfase para o sistema de tratamento dos gases emitidos do processo, com maior detalhamento com relação ao sistema de gaseificação e combustão combinadas.

O reator de gaseificação é metálico do tipo câmaras múltiplas com capacidade para 200 kg/h de resíduos, com alimentação semi-automática por bateladas e acionamento pneumático. Neste reator o resíduo passa do estado sólido para gasoso à temperatura de 650 °C. O reator é dotado de quatro câmaras de combustão com sensores à indicação de temperatura, sendo que a última, que corresponde ao ciclone combustor, conta com indicador e controlador para garantir a oxidação completa dos gases. As temperaturas das quatro câmaras é sucessivamente crescente, variando de 650 °C a 1200 °C. A redução do volume dos resíduos na incineração é garantida em torno de 98%.

O equipamento apresenta exaustor para o controle do fluxo do ar necessário aos processos de combustão, estrutura metálica revestida internamente com refratário de concreto isolante e compressor industrial com reservatório de capacidade de 175 litros para o fornecimento de ar para o processo de tratamento dos gases.

O lavador de gases conta com dois cilindros concêntricos para a passagem dos gases da combustão com resfriamento através de ar forçado para a redução da temperatura inicial da corrente gasosa, sistema de exaustão interligado à chaminé para o ar quente oriundo da troca térmica, ciclone para a precipitação das partículas sólidas no gás da queima, dois lavadores do tipo venturi, coluna separadora hidrodinâmica e tanque decantador.

O primeiro lavador venturi tem a função de colidir as partículas submicrométricas remanescentes do fluxo de gases e neutralizar os componentes ácidos dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e gás clorídrico (HCl), através de pulverização contínua de solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH) à entrada do equipamento e o segundo de pulverizar água para a formação do polímero final do gás efluente. A solução de NaOH é preparada em vaso com capacidade para 100 litros, fabricado em polipropileno com haste de aço inoxidável para a

homogeneização da solução, e a pulverização é realizada por bomba dosadora com cabeçote em polipropileno e diafragma em viton.

A coluna separadora hidrodinâmica tem a função de liberar os gases purificados à atmosfera e decantar a solução alcalina através do contato com uma grade quebradora de gotas instalada na chaminé e o tanque decantador de reter os sedimentos resultantes do tratamento e as partículas abatidas.

A água utilizada no processo é alimentada através de três bombas centrífugas a partir de tanque com realimentação constante, que complementa o volume de água consumida e realiza a medição e o ajuste do pH.

O monitoramento dos gases na saída da chaminé é feito através das medições de oxigênio (O<sub>2</sub>) e monóxido de carbono (CO) com a utilização de equipamento fixado diretamente do duto de exaustão através de sonda revestida com óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) para proteção do sensor às influências do ambiente para o aumento de sua vida útil. O acesso ao sistema de medição e a coleta de amostragem dos gases é realizado através de escada e plataforma de trabalho, que atende às normas vigentes.

A Figura 15 disponibiliza foto ilustrativa de tecnologia ou processo de incineração 2 instalado em cliente no Brasil, que engloba o sistema completo.



**Figura 15 – Exemplo de incinerador instalado pelo fabricante consultado**

Fonte: disponibilizado pelo fabricante da tecnologia de incineração 2

### *7.1.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS DUAS TECNOLOGIAS DE INCINERAÇÃO*

A primeira proposta considera o princípio de combustão pirolítico, que é questionado quando à sua flexibilidade para o tratamento de resíduos heterogêneos, que são aqueles que apresentam grande variação no poder calorífico ou de combustão. Para os resíduos sólidos municipais urbanos, que são bastante heterogêneos, esta informação deve ser considerada para a escolha da tecnologia mais adequada. Teoricamente, a variação nas características dos resíduos é minimizada com o controle através da adição de biogás, que pode ser utilizado como combustível auxiliar e para a manutenção da temperatura do processo de combustão.

A segunda proposta considera o reator de auto-combustão, que não necessita de GLP ou biogás como combustível auxiliar, e lavador de gases com maior detalhamento dos equipamentos considerados para o tratamento. Neste caso, são utilizados 4 a 5 litros de querosene, que é injetado por bomba para o início de cada batelada de combustão, que pode ser substituído pela utilização do biogás já que é produzido no aterro sanitário. A corrente gasosa aquecida, que sai do ciclone, que é a etapa final de oxidação dos gases pode ser utilizado para gerar energia térmica ou elétrica com capacidade para 516 mil quilocalorias por hora (kcal/h) ou 600 quilowatts-hora (kWh). Esta proposta apresenta maior detalhamento com relação ao tratamento dos gases emitidos do incinerador e informação valiosa com relação à possibilidade de reaproveitamento da energia gerada do processo.

O principal questionamento que deve ser realizado aos fabricantes de incineradores de resíduos é com relação ao sistema de tratamento dos gases exaustos da combustão. Ambas as tecnologias não apresentam o detalhamento aprofundado do sistema de tratamento considerado. Torna-se necessário avaliar as alternativas para incineração para que não seja implementado um processo que afete a população vizinha. O excesso de particulados e de emissões de gases tóxicos é evidente nas proximidades das usinas de incineração.

## **8 ANÁLISE E DISCUSSÃO SOBRE AS ALTERNATIVAS DE INVESTIMENTO PARA O TRATAMENTO DE RSS EM ATERROS SANITÁRIOS**

---

Neste capítulo é apresentado o estudo sobre as alternativas para o investimento nos processos incineração e esterilização por desinfecção térmica a vapor, a partir de informações obtidas dos fabricantes dos equipamentos, que são conhecidos e respeitados pelas suas aplicações e instalações em clientes no Brasil e no mundo.

Foram obtidas cotações dos fabricantes da Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes (UTRI), conforme tecnologia considerada o objeto de estudo da pesquisa, e de dois processos de incineração.

As informações disponibilizadas a seguir são principalmente para os profissionais que atuam neste mercado, visando a facilitar a definição da tecnologia mais interessante do ponto de vista do investimento necessário para o tratamento de RSS.

## 8.1 ANÁLISE COMPARATIVA DO VALOR PARA O INVESTIMENTO

O processo de desinfecção térmica a vapor desenvolvido pela GLOBETECH ENVIRONMENTAL INC, que foi implementado na área do aterro sanitário observado durante a pesquisa, foi avaliado por meio de comparação com os incineradores desenvolvidos pela ENGE - APLIC MONTAGENS INDUSTRIAIS LTDA e pela LUFTECH SOLUÇÕES AMBIENTAIS. Os fabricantes dos equipamentos foram consultados e disponibilizaram o valor dos equipamentos, tornando viável a avaliação comparativa dos investimentos. A consulta para a obtenção do valor dos equipamentos foi realizada em julho de 2008.

Para o processo de desinfecção térmica a vapor, que dispõe de tecnologia internacional, considerou-se a taxa de câmbio disponibilizada na página da internet [www.oglobo.com.br](http://www.oglobo.com.br) em 30 de julho de 2008, e os impostos cabíveis, que são Imposto de Importação (II), Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS).

As alternativas para o tratamento de RSS foram comparadas do ponto de vista do investimento necessário para a compra do equipamento e considerando-se as variáveis e os custos adicionais que devem ser previstos para a implementação do projeto. Dessa forma, a partir do valor para a aquisição do equipamento, foram calculados frete, seguros e taxas, despesas estimadas com estrutura, fundação, obras civis, montagem e pré-operação, despesas com a equipe de projeto, contingências e despesas durante a obra, consumo de energia elétrica e água, estimativas com manutenção e mão-de-obra e capital de giro. Com a consideração de todas essas variáveis foi calculado o valor total do investimento, os custos fixos, os custos variáveis e o custo total para o tratamento de RSS nas três tecnologias. Todas as variáveis foram obtidas a partir de planilha de cálculo, que permite comparar investimentos em projetos de processos industriais, conforme disponibilizado em aula para os alunos de graduação em Engenharia Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. A Tabela 7 corresponde à planilha de cálculo com os ajustes para comparação das três tecnologias paralelamente. As informações gerais de cada processo e o detalhamento com as fórmulas consideradas para o cálculo das variáveis da planilha apresentam-se disponíveis a seguir.

O valor do equipamento foi obtido através de cotação com os respectivos fabricantes.

A variável “Despesa estimada com frete” foi obtida de acordo com a experiência de trabalho para compra e importação de equipamentos de engenharia. Os processos de incineração 1 e 2 dispõem de grande dificuldade para o transporte devido ao peso, volume e

às atividades para deslocamento. O processo de desinfecção térmica a vapor é importado, porém apresenta menor peso e maior facilidade para o seu deslocamento.

As variáveis “Despesa estimada com fundações e estrutura” e “Despesa estimada com obras civis” foram obtidas considerando-se 12 % e 28 % do valor do equipamento, respectivamente.

A variável “Montagem industrial” foi obtida considerando-se 65 % do valor do equipamento.

A variável “Peças e sobressalentes” foi obtida considerando-se 5 % do valor do equipamento.

A variável “Custo físico” foi obtida somando-se o valor do equipamento, a despesa estimada com frete, a despesa estimada com fundações e estrutura, a despesa estimada com obras civis, a despesa estimada com a montagem industrial e a despesa com peças e sobressalentes.

A variável “Custo de pré-operação para 1 mês” foi obtida somando-se a mão-de-obra a ser consumida para a realização das atividades e os custos variáveis durante o período.

A variável “Despesa com estudos e definições de projeto” foi obtida somando-se 13 % do valor do equipamento, que é utilizado às definições de projeto, à pesquisa e ao diligenciamento, com 10 % do custo físico, que é correspondente à engenharia de detalhamento.

A variável “Administração, gerenciamento e supervisionamento” foi obtida considerando-se 5 % do valor do ISBL, que significa dentro do limite da bateria ou do processo ou “*Inside Battery Limit*” e é obtido através do somatório do custo físico, com o custo de pré-operação para 1 mês, com as despesas com estudos e definições de projeto e com a administração, gerenciamento e supervisionamento.

A variável “OSBL”, que significa fora do limite da bateria ou do processo ou “*Outside Battery Limit*”, foi obtida considerando-se 35 % do valor do ISBL.

A variável “Despesa com contingências” foi obtida considerando-se 30 % do somatório do ISBL com o OSBL.

A variável “Investimento fixo” foi obtida somando-se o ISBL, com o OSBL e as despesas com as contingências.

A variável “Despesa durante a obra” foi obtida considerando-se 10% do investimento fixo.

A variável “Capital de giro” foi obtida considerando-se 15 % do investimento fixo.

A variável “Valor total do investimento” foi obtida somando-se o investimento fixo, com as despesas durante a obra e o capital de giro necessário.

A variável “Custo total de energia” foi obtida através da equação a seguir. O consumo de energia disponibilizado pelo fabricante do processo de incineração 1 (ENGE - APLIC MONTAGENS INDUSTRIAIS LTDA) é de 319,8 kWh. Foi considerado o mesmo valor para a tecnologia de incineração 2 (LUFTECH SOLUÇÕES AMBIENTAIS). O consumo do processo de desinfecção térmica a vapor é de 38 kWh.

$$\text{Custo total de energia} = [(\text{consumo elétrico do equipamento} / (\text{capacidade nominal} * \text{horas diárias de trabalho})) * \text{valor unitário para energia elétrica}] \quad (1)$$

Em que:

Custo total de energia = custo em reais por quilograma de resíduos (R\$ / kg resíduos)

Consumo elétrico do equipamento = valor em quilowatts-horas de consumo (kWh)

Capacidade nominal = quantidade de resíduos tratados por hora (kg / h)

Horas diárias de trabalho = quantidade de horas trabalhadas por dia (h)

Valor unitário para energia elétrica = custo em reais para 1 kWh (R\$ / kWh)

A variável “Custo total de água” foi obtida através da equação a seguir. O consumo de água do processo de desinfecção térmica a vapor é de 5,5 litros por hora (L / h), conforme obtido em visita ao objeto de estudo da pesquisa. Para os processos de incineração foi considerado o mesmo valor, já que a água utilizada no processo é reutilizada e o consumo é o mínimo necessário para a reposição.

$$\text{Custo total de água} = (\text{consumo de água do equipamento} * 0,001 * \text{valor unitário para água}) / (\text{capacidade nominal} * \text{horas diárias de trabalho}) \quad (2)$$

Em que:

Custo total de água = custo em reais por quilograma de resíduos (R\$ / kg resíduos)

Consumo de água do equipamento = valor em litros por hora de consumo (L / h)

Valor unitário para água = custo em reais por metros cúbicos (R\$ / m<sup>3</sup>)

Capacidade nominal = quantidade de resíduos tratados por hora (kg / h)

Horas diárias de trabalho = quantidade de horas para dois turnos de trabalho (h)

O “Custo total de mão-de-obra” é considerado igual ao “Custo total de administração”, que foram obtidos através da equação a seguir.

$$\text{Custo total de mão-de-obra} / \text{Custo total de administração} = (\text{mão-de-obra por turno} * \text{custo da mão-de-obra para operação} * \text{turnos diários de operação}) / \text{quantidade de resíduos tratados no mês} \quad (3)$$

Em que:

Custo total de mão-de-obra = Custo total de administração = custo em reais por quilograma de resíduos (R\$ / kg resíduos)

Mão-de-obra por turno = quantidade disponível

Custo da mão-de-obra para operação (R\$)

Turnos diários de operação = quantidade de turnos pré-fixados para operação

Quantidade de resíduos tratados por mês = capacidade nominal (kg / h) \* horas diárias de trabalho (h) \* número de dias úteis do mês

A variável “Despesas com Manutenção” foi obtida através da equação a seguir.

$$\text{Despesas com Manutenção} = (3\% * \text{valor do equipamento}) / (\text{quantidade de resíduos tratados por dia} * \text{dias trabalhados por ano}) \quad (4)$$

Em que:

Despesas com Manutenção = custo em reais por quilograma de resíduos (R\$ / kg resíduos)

Dias trabalhados por ano = 330 dias

A variável “Despesas com seguros e taxas” foi obtida através da equação a seguir.

$$\text{Despesas com seguros e taxas} = (1\% * \text{valor total do investimento}) / (\text{quantidade de resíduos tratados por dia} * \text{dias trabalhados por ano}) \quad (5)$$

Em que:

Despesas com seguros e taxas = custo em reais por quilograma de resíduos (R\$ / kg resíduos)



A variável “Depreciação para 10 anos” foi obtida através da equação a seguir.

$$\text{Depreciação para 10 anos} = (10\% * \text{valor total do investimento}) / ((\text{quantidade de resíduos tratados por dia} * \text{dias trabalhados por ano})) * 10 \quad (6)$$

Em que:

Depreciação para 10 anos = custo em reais por quilograma de resíduos (R\$ / kg resíduos)

A variável “Custo total para o tratamento” foi obtida através da equação a seguir.

$$\text{Custo total para o tratamento} = \text{custos variáveis} + \text{custos fixos} \quad (7)$$

Em que:

Custo total para o tratamento = custo em reais por quilograma de resíduos (R\$ / kg resíduos)

**Tabela 7 – Estudo econômico das alternativas para o investimento**

| Informações gerais                            | Tecnologia de incineração 1 | Tecnologia de incineração 2 | Desinfecção térmica |
|---|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Capacidade nominal, kg/h                      | 200                         | 200                         | 200                 |
| Tecnologia adotada                            | Pirólise                    | Reator                      | Autoclave           |
| Capacidade para redução do volume             | 95,00%                      | 98,00%                      | 80,00%              |
| Turnos diários de operação                    | 2                           | 2                           | 2                   |
| Horas diárias de trabalho                     | 16                          | 16                          | 16                  |
| Dias trabalhados por ano                      | 330                         | 330                         | 330                 |
| Quantidade de resíduos tratados por dia, kg   | 3200                        | 3200                        | 3200                |
| Quantidade de resíduos tratados por mês, kg   | 70400                       | 70400                       | 70400               |
| Mão-de-obra por turno                         | 2                           | 2                           | 2                   |
| Custo da mão-de-obra para operação            | R\$ 1.200,00                | R\$ 1.200,00                | R\$ 1.200,00        |
| Consumo elétrico, kWh                         | 319,8                       | 319,8                       | 38,0                |
| Valor unitário para energia elétrica, R\$/kWh | 0,47588                     | 0,47588                     | 0,47588             |
| Consumo de água, L/h                          | 5,5                         | 5,5                         | 5,5                 |
| Valor unitário para água, R\$/m <sup>3</sup>  | 1,407                       | 1,407                       | 1,407               |

**Tabela 7 - Estudo econômico das alternativas para o investimento**

| Informações gerais                                    | Tecnologia de incineração 1 | Tecnologia de incineração 2 | Desinfecção térmica |
|---|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| <b>Estudo do Investimento</b>                         |                             |                             |                     |
| Valor do equipamento                                  | R\$ 480.000,00              | R\$ 655.000,00              | R\$ 1.277.738,12    |
| Despesas estimadas com frete                          | R\$ 20.000,00               | R\$ 20.000,00               | R\$ 9.379,80        |
| Despesas estimadas com fundações e estrutura          | R\$ 57.600,00               | R\$ 78.600,00               | R\$ 153.328,57      |
| Despesas estimadas com obras civis                    | R\$ 134.400,00              | R\$ 183.400,00              | R\$ 357.766,67      |
| Montagem industrial                                   | R\$ 312.000,00              | R\$ 425.750,00              | R\$ 830.529,78      |
| Despesas com peças e sobressalentes                   | R\$ 24.000,00               | R\$ 32.750,00               | R\$ 63.886,91       |
| Custo físico  | R\$ 1.028.000,00            | R\$ 1.395.500,00            | R\$ 2.692.629,85    |
| Custo de pré-operação para 1 mês                      | R\$ 75.354,91               | R\$ 75.354,91               | R\$ 75.220,81       |
| Despesas com estudos e definições de projeto          | R\$ 165.200,00              | R\$ 224.700,00              | R\$ 435.368,94      |
| Administração, gerenciamento e supervisionamento      | R\$ 70.475,27               | R\$ 94.197,50               | R\$ 177.956,64      |
| ISBL  | R\$ 1.409.505,46            | R\$ 1.883.949,90            | R\$ 3.559.132,89    |
| OSBL  | R\$ 493.326,91              | R\$ 659.382,47              | R\$ 1.245.696,51    |
| Despesas com contingências                            | R\$ 570.849,71              | R\$ 762.999,71              | R\$ 1.441.448,82    |
| Investimento fixo                                     | R\$ 2.473.682,08            | R\$ 3.306.332,08            | R\$ 6.246.278,22    |
| Despesas durante a obra                               | R\$ 247.368,21              | R\$ 330.633,21              | R\$ 624.627,82      |
| Capital de giro                                       | R\$ 371.052,31              | R\$ 495.949,81              | R\$ 936.941,73      |
| Valor total do investimento                           | R\$ 3.092.102,59            | R\$ 4.132.915,09            | R\$ 7.807.847,78    |
| <b>Custos variáveis</b>                               |                             |                             |                     |
| Custo total de energia, R\$/kg de resíduo             | R\$ 0,05                    | R\$ 0,05                    | R\$ 0,01            |
| Custo total de água, R\$/kg resíduo                   | R\$ 0,01                    | R\$ 0,01                    | R\$ 0,01            |
| <b>Custos fixos</b>                                   |                             |                             |                     |
| Custo total de mão-de-obra                            | R\$ 0,07                    | R\$ 0,07                    | R\$ 0,07            |
| Custo total de administração, R\$/kg resíduo          | R\$ 0,07                    | R\$ 0,07                    | R\$ 0,07            |
| Despesas com manutenção, R\$/kg resíduo               | R\$ 0,01                    | R\$ 0,02                    | R\$ 0,04            |
| Despesas com seguros e taxas, R\$/kg resíduo          | R\$ 0,03                    | R\$ 0,04                    | R\$ 0,07            |
| Depreciação para 10 anos, R\$/kg resíduo              | R\$ 0,03                    | R\$ 0,04                    | R\$ 0,07            |
| <b>Custo total para o tratamento, R\$/ kg resíduo</b> | <b>R\$ 0,27</b>             | <b>R\$ 0,29</b>             | <b>R\$ 0,34</b>     |

Fonte: construída a partir de planilha de cálculo, que permite comparar investimentos em diferentes processos industriais, conforme disponibilizado em aula para os alunos de graduação em Engenharia Química da UERJ

## 8.2 DISCUSSÃO SOBRE OS CÁLCULOS REALIZADOS

A mão-de-obra considerada foi de dois técnicos por turno (“Mão-de-obra por turno”) para atuação em dois turnos diários de trabalho. Esta estimativa apresenta-se em acordo com o que é praticado para a Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes, que é o objeto de estudo da pesquisa. O custo estimado da mão-de-obra para operação foi de 1200 reais por técnico (“Custo da mão-de-obra para operação”), que foi o valor fixado para as três tecnologias. Dessa forma, considerou-se que não há necessidade de incluir mão-de-obra diferenciada de acordo com a tecnologia utilizada para o tratamento de RSS.

As “Despesas estimadas com frete” foram calculadas de acordo com as dimensões dos equipamentos, o peso, o grau de dificuldade para o transporte e o local de origem do fabricante, considerando que o equipamento seria encaminhado para o Rio de Janeiro.

As “Despesas estimadas com obras civis” foram calculadas considerando-se 28% do valor do equipamento, mas poderia ser estimado um valor fixo conforme particularidades de cada processo. Dessa forma, o valor do custo para a construção civil para a instalação dos equipamentos pode ser prevista por meio de verificação de preço com empresas que atuam para a prestação desse serviço. O valor real do investimento com obras civis para cada uma das tecnologias certamente não apresentaria grandes variações.

A “Montagem industrial” foi calculada considerando-se 65% do valor do equipamento e poderia ser estimado um valor de 20%, considerando que a instalação seria responsabilidade da equipe do projeto, que os ajustes para início de operação seriam responsabilidade do fabricante e que o grau de dificuldade para a instalação dos processos seria muito inferior ao considerado na planilha utilizada para a realização dos cálculos. Dessa forma, o custo para a montagem industrial permaneceria proporcional ao valor do equipamento, independente da tecnologia adotada, ou seja, não afetaria para a análise comparativa.

As “Despesas com estudos e definições de projeto” foram estimadas com o mesmo custo para a três tecnologias, considerando que o tempo necessário e que a equipe para esta realização deve apresentar a qualificação e os especialistas com competências similares. Decidiu-se por manter a estratégia considerada na planilha original utilizada para o estudo comparativo e o custo foi verificado por meio de consulta direta aos fornecedores.

A Tabela 7 permitiu comparar a tecnologia de incineração, que dispõe de duas alternativas consultadas para a análise, com a tecnologia de desinfecção térmica a vapor, que corresponde à Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes instalada na área de aterro sanitário do estado do Rio de Janeiro, e apresentou os custos fixos e variáveis para o

tratamento de um quilograma de resíduo. Considerou-se a capacidade nominal para o tratamento de 200 quilogramas por hora para as três tecnologias e o custo total para o tratamento, que foi calculado para um quilograma de RSS.

O custo para o tratamento de RSS, que considerou os fabricantes de incineradores consultados, é inferior ao custo calculado para a tecnologia de desinfecção térmica a vapor. Dessa forma, verificou-se que o valor total de investimento e o custo total para o tratamento de um quilograma de RSS foram inferiores para as tecnologias de incineração.

Conforme mencionado no item IV.9.2 constatou-se que o preço cobrado por uma empresa, que é responsável pela destinação final de RSS no Rio de Janeiro, para um estabelecimento de saúde com 50 leitos é equivalente a 0,29 reais por quilograma de RSS, que é um valor baixo que inviabiliza a utilização das tecnologias de tratamento abordadas na pesquisa, conforme custo total para o tratamento apresentado na Tabela 7. Para o tratamento adequado, além do custo para operação dos processos abordados, que apresenta-se na Tabela 7, deve-se considerar o custo para acondicionamento e transporte dos resíduos do estabelecimento de saúde até o local onde apresenta-se o processo para tratamento dos RSS.

## 9 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

---

### 9.1 CONCLUSÃO

A iniciativa existente na região pesquisada deve ser considerada como exemplo para a sustentabilidade sócio-ambiental de municípios de pequeno porte. O estudo apresenta a questão do gerenciamento, das legislações, das alternativas para o tratamento de RSS e grande abrangência sobre o aterro sanitário e o projeto de MDL, desde a contextualização apresentada na introdução até a análise comparativa da incineração com a desinfecção térmica a vapor apresentada no capítulo VIII.

O Brasil conta com diversos empreendimentos oriundos de empresa privada com capacidade para o tratamento de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde. Verificou-se que o processo de desinfecção térmica é muito utilizado nas regiões sul, sudeste e centro-oeste, que o processo de incineração é utilizado em todas as regiões brasileiras, principalmente, sudeste e nordeste, e a implementação crescente da tecnologia de desinfecção térmica com a utilização de emissores de microondas na região sudeste. Nessas áreas, a existência de fiscalização atuante leva à maior oferta de serviços para o tratamento de RSS.

O estudo comparativo dos processos desinfecção térmica a vapor da Unidade de Tratamento de Resíduos Infectantes e incineração foi fundamental para constatar que a tecnologia de incineração é mais interessante do ponto de vista do valor necessário para o investimento e do custo total para o tratamento de RSS.

A proposta de incineração é adequada para o tratamento dos resíduos hospitalares infectantes, químicos e anatômicos, ou seja, é mais flexível que a tecnologia de desinfecção térmica a vapor, que trata somente resíduos sólidos infectantes, porém causa maior impacto ao meio ambiente devido ao aumento significativo na emissão de gases tóxicos, que não têm sido tratados adequadamente nos processos em operação. Apesar de não haver impedimento legal para a consideração da incineração, a sua implementação deve ser avaliada após o estudo detalhado da composição dos resíduos a serem tratados para o dimensionamento adequado da unidade para tratamento dos gases emitidos para a atmosfera.

No estado do Rio de Janeiro, algumas empresas contratadas pelos estabelecimentos de saúde cobram preços demasiadamente baixos, pois se sabe que encaminham os RSS para os lixões, conforme pôde ser verificado no lixão de Jardim Gramacho. Este reprovável procedimento, não está em acordo com a legislação e inviabiliza a implementação de qualquer

iniciativa para o tratamento de RSS. A omissão por parte dos órgãos fiscalizadores em fazer cumprir o previsto, possibilita que os estabelecimentos de saúde destinem de forma irresponsável os RSS e causem danos ao meio ambiente e à saúde pública.

Considerando a abordagem do estudo realizado, é fundamental ressaltar a importância de um gerenciamento adequado dos RSS. A adoção de tal postura por parte dos municípios transformar-se-á no ponto de partida necessário para a conscientização coletiva quanto ao destino correto deste tipo de resíduo e quanto aos problemas causados pelo ato de ignorá-los. A falta de políticas públicas, a ausência dos órgãos fiscalizadores para fazer cumprir o previsto nas legislações, normalizações e resoluções, a ausência de conscientização dos profissionais da saúde, a falta de recursos, dentre outras questões, causam problemas sérios quanto à responsabilidade dos estabelecimentos geradores de RSS no que se refere à segregação, ao acondicionamento, ao transporte e ao destino final desses resíduos.

## **9.2 RECOMENDAÇÕES**

1. A realização de pesquisa voltada para o processo de desinfecção térmica por emissão de microondas pode ser interessante para comparação com as estratégias de tratamento de RSS adotadas atualmente, principalmente, para verificar as vantagens e desvantagens da tecnologia e da desinfecção térmica a vapor.
2. A pesquisa pode ser utilizada para a comparação de incineradores de RSS com os incineradores de resíduos urbanos em operação no Brasil.
3. Uma possibilidade de pesquisa seria o estudo da destinação dos RSS, que não são tratados adequadamente e que correspondem a, segundo dados da ABRELPE (2006), 96,13 % do total gerado, que é o equivalente a 107,51 toneladas por dia.
4. Os órgãos fiscalizadores devem evitar que os estabelecimentos de saúde operem sem que as respectivas licenças de operação estejam aprovadas e exigir que o Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) tenha sido implementado conforme o previsto nas legislações. Atualmente, apenas 5,84% dos estabelecimentos de saúde operam com a licença de operação (ABRELPE, 2006).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Urbana Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE - **Panorama de resíduos sólidos no Brasil**. X p. São Paulo, SP, 2006. Disponível em: < <http://www.scribd.com/doc/2363213/Panorama-dos-Residuos-Solidos-no-Brasil-2006-ABRELPE-2007>>. Acesso em: 01/2008.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, **Resolução RDC 306**, de 07 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde. Diário Oficial da União, 10 dez., Seção 1. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=13554&word>> Acesso em: 05/2008.

*United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC, Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas - CCNUCC, **Annex 13: Tool to determine project emissions from flaring gases containing methane**, EB 28, Meeting Report, CDM – Executive Board. Disponível em: <[http://cdm.unfccc.int/EB/028/eb28\\_repan13.pdf](http://cdm.unfccc.int/EB/028/eb28_repan13.pdf)>

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - **NBR 12807: Resíduos de Serviços de Saúde: Terminologia**, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 12808: Resíduos de Serviços de Saúde: Classificação**, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 12809: Manuseio de Resíduos de Serviços de Saúde: Procedimento**, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 12810: Coleta de Resíduos de Serviços de Saúde: Procedimentos**, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 7500: Símbolos de riscos e manuseio para o transporte e armazenagem de materiais: Simbologia**, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR. 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: Procedimento**, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR. 10.004: Resíduos sólidos - Classificação**, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR. 10.005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR. 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR. 10.007: Amostragem de resíduos sólidos**, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR. 13.896: Aterro de resíduos não-perigosos – Critérios para projetos, implantação e operação: Procedimento**, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR. 13.853: Coletores para resíduos de serviços de saúde perfurantes ou cortantes - Requisitos e métodos de ensaio**, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR. 14.619: Transporte Terrestre de Produtos Perigosos - Incompatibilidade Química**, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR. 14.652: Coletor - transportador rodoviário de resíduos sólidos de serviços de saúde**, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR. 15.051: Laboratório Clínico – Gerenciamento de Resíduos**, 2004.

BIRGEMER, H.G., CRUTZEN, P.J. **The production of methane from solid wastes**, Journal of geophysical research, v. 92, n° D2, pp 2181-2187, 1987.

BRASIL, Constituição. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado, 1988. Disponível em:



<[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm)>. Acesso em: 05/2008

BRASIL (País), **Lei nº. 6.938**, de 31 de agosto de 1981 - **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Lei nº. 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998 - **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9605.htm)> Acesso em: 02/2008.

BRASIL, Ministério do Trabalho, **NR 09 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais, Portaria SSST n.º 25, de 29 de dezembro de 1994**, (*DOU de 30/12/94 – Seção 1*) Disponível em: <[http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_09.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_09.pdf)> Acesso em: 02/2008.

BRASIL, Ministério do Trabalho, **NR 32 - Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde, Portaria MTE n.º 485, de 11 de Novembro de 2005** (*DOU de 16/11/05 – Seção 1*) Disponível em: <[http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_32.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_32.pdf)> Acesso em: 02/2008.

BRITO FILHO, Luís Fernandes de. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**, 2005, 222 p. Dissertação (Mestrado de M. Sc), Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Disponível em: <[http://www.getres.ufrj.br/pdf/FILHO\\_LFB\\_05\\_t\\_M\\_int.pdf](http://www.getres.ufrj.br/pdf/FILHO_LFB_05_t_M_int.pdf)>. Acesso em: 01/2008.

CARLSON, Angélica. **Gerenciamento de resíduos químicos em ambientes hospitalares: necessidades e dificuldades; estudo de caso em hospital universitário localizado no estado do Rio de Janeiro**, 2007. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ.

CERVO, A .L., BERVIAN, P. A. **Metodologia científica para uso dos estudantes universitários**, 3ª ed., São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1983

CETESB, 2002, **Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos: Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**, Relatórios de Referência, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil

CHRISTENSEN, T.H., KJELDSSEN, P. **Basic biochemical processes in landfills – sanitary landfilling: process, technology and environmental impact**, Editores T.H. Christensen, R. Cossu e R. Stegman, 1989.

Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (Federal). **Resolução N° 01**, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www.lei.adv.br/001-86.htm> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Resolução N° 05**, de 05 de agosto de 1993. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res93/res0593.html> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Resolução N° 237**, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Resolução N° 308**, de 05 de agosto de 2002. **Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res93/res0593.html> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Resolução N° 358**, de 29 de abril de 2005. **Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35805.pdf>> Acesso em: 02/2008.

Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima - CQNUMC. **Protocolo de Quioto à Convenção sobre Mudança do Clima**, 1997, C & T Brasil, Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/28739.html>>. Acesso em: 01/2008.

PENIDO, J. H., BASTO L. **Seminário Biogás Aproveitamento Racional para Geração de Energia: O aproveitamento energético do biogás**, Câmara Especializada em Engenharia Elétrica / Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Rio de Janeiro – CEEE/CREA-RJ. Realizado em: 29 de maio de 2008.

DEMO, Pedro. **Pesquisa: princípio científico e educativo**, 4ª ed., São Paulo, Cortez, 1996.

EEA, **Europe's Environment: The Second Assessment**. Copenhagen: European Environment Agency, 1998. Disponível em: <<http://reports.eea.europa.eu/92-828-3351-8/en>> Acesso em: 04/ 2008.

FACHIN, Odília. **Fundamentos de metodologia**, 3ª ed, São Paulo, Saraiva, 2001.

GALLIANO, A. Guilherme. **Método científico: teoria e prática**. São Paulo, Harbra, 1986

GANDOLLA, Mauro. **Tratamento dos RSS. In: Seminário sobre tecnologias de tratamento de resíduos de serviços de saúde**, Brasília. Realizado pelo Ministério da Saúde. Anais... Brasília: [s.n.], 1997.

GOLDENBERG, Míriam. **A arte da pesquisa: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais**. Rio de Janeiro, Record, 1999.

GORDON, J.V.W., RICHARD, E.S., CLAUS, B. **Fundamentals of Classical Thermodynamics**, 4ª ed., John Wiley & Sons Inc., 1994.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª ed. São Paulo, Atlas, 1996.

“GT waste sterilizer” datasheet, Globetech Environmental inc, Spokane, EUA. Disponível em: <[http://www.globetechenv.com/PDF%20files/gt\\_sterilizer\\_brochure.pdf](http://www.globetechenv.com/PDF%20files/gt_sterilizer_brochure.pdf)> Acesso em: 04/2008.

**GUÍA de capacitación: gestión y manejo de desechos sólidos hospitalarios.** Programa Regional de Desechos Sólidos Hospitalarios. América Central, 1996. Convenio ALA 91/33.

**GUÍA para la gestión de los desechos sólidos con disposición final em celdas de seguridad.** Ministério de Salud Pública e Asistencia Social, Dirección de Regulación, Dirección General de Salud. El Salvador, 2007. Unidad de Atención Integral al Ambiente.

HAUSER, Philipp Daniel. **Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto**, 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Administração) - Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <http://www.resol.com.br/Textos/http://www.resol.com.br/Textos/Dissertação%20Philipp%20Hauser-incineração%20e%20MDL.pdf> Acesso em: 04/2008.

HOBBSAWM, E. J. **A Era das Revoluções 1789-1848**, 9ª ed., Lisboa, Paz e Terra, 1996.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01/2008.

International Panel On Climate Change (IPCC, 1996 a). **Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero**, versión revisada (Vol 2). Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/spanish.htm> Acesso em: **01/2008**

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, (IPCC, 1996 b). **Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual**. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6>. Acesso em: 01/2008.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ª ed. São Paulo: IPT/ CEMPRE, 278p. Publicação: 2.163, 1995.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**, 2ª ed. Publicação: IPT 2622, 370 p., São Paulo, 2000.

JUCA, J.F.T. e MACIEL, F.J. **Permeabilidade ao Gás de um Solo Compactado não Saturado**, Anais do IV Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, São José dos Campos, São Paulo, 384p-391p, 1999.

JUNQUEIRA F.F. **Análise de Comportamento de Resíduos Urbanos e Sistemas Dreno-Filtrantes em Diferentes Escalas**, 2000, 283 p., Tese de Doutorado, UNB. Referência: Aterro do Jóquei Clube.

LAKATOS, E.M., MARCONI, M.A. **Fundamentos da metodologia científica**. 3ª ed., São Paulo, Atlas, 1991.

LOBO, A. **Desarrollo de MODUELO 2: Herramienta para la Evaluación de la Contaminación Producida en Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos**. Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria, Santander, Espana, 2003.

LOPES, Adriana Antunes. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos do município de São Carlos (SP)**, 2003. 178 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-06062005-163839/>> Acesso em: 12/2007.

MALTHUS, Thomas Robert. **Princípios de economia política e considerações sobre sua aplicação prática: Ensaio sobre a população**. Apresentação de Ernane Galvêas. Traduções de Regis de Castro Abreu, Dinah de Abreu Azevedo e Antonio Alves Cury. 2ª ed, São Paulo, Abril Cultural, 1983.

McBEAN, E.A., ROVERS, F.A., FARQUHAR, G.J. **Solid Waste Landfill Engineering and Design**. Prentice Hall Inc, 521 p., ISBN 0-13-079187-3, 1995.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Secretaria Executiva, Projeto Reforço à Reorganização do Sistema Único de Saúde, **Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde**, Brasília, 2001.

MITKIEWICZ, Elzbieta. **Cálculo do inventário de emissões de gases efeito estufa, estudo de caso em uma indústria química**, 2007. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ.

MONTEIRO, V.E.D, MELO, M.C., ALCÂNTARA, P.B., ARAÚJO, J.M., ALVES, I.R.F.S., JUCÁ, J.F.T. **Estudo do comportamento de RSU em uma célula experimental e suas correlações com aspectos microbiológicos, físicos e químicos**, 2006, artigo técnico, Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v11n3/a05v11n3.pdf>>. Acesso em: 02/2008

PEREIRA BORBA, Silvia Mary. **Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso**, 2006, 134 p. Dissertação (Mestrado de M. Sc), Programa de pós-graduação de engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Disponível em: < [http://teses.ufrj.br/COPPE\\_M/SilviaMaryPereiraBorba.pdf](http://teses.ufrj.br/COPPE_M/SilviaMaryPereiraBorba.pdf)>. Acesso em: 01/2008.

PEREIRA, A.G.H. **Compresibilidad de los residuos sólidos urbanos**. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, Espana, 2000.

PERU. Ministerio de Salud. Dirección de la Salud Ambiental. **Diagnostico situacional del manejo de los RSH administrados por el Ministerio de Salud**. Lima: [s.n.], [19-?].

PORTILLO R., RIVERA R.R. **Guía para la gestión de los desechos sólidos com disposición final en celdas de seguridad**, 2007. 22 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Química) – Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Dirección de Regulación, Dirección General de Salud, Unidad de Atención Integral al

Ambiente, El Salvador. Disponível em:  
<[http://www.mspas.gob.sv/regulacion/pdf/guia/guia\\_desechos\\_solidos\\_d\\_final\\_celdas\\_segurid.pdf](http://www.mspas.gob.sv/regulacion/pdf/guia/guia_desechos_solidos_d_final_celdas_segurid.pdf)> Acesso em: 02/2008.

Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte.** Florianópolis, SC, 2003.

QIAN, X., KOEMER, R. M., GRAY, D.H. **Gas Collection and Control Systems.** Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction, New Jersey, Prentice Hall, 2002.

RAND, T., HAUKOHL J., MARXEN U. **Municipal Solid Waste Incineration: Requirements for a Successful Project,** World Bank Technical Paper N°. 462., Washington, DC, 2000. Disponível em: < [http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2000/08/14/000094946\\_00072505420045/Rendered/PDF/multi\\_page.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2000/08/14/000094946_00072505420045/Rendered/PDF/multi_page.pdf)> Acesso em: 01/2008.

RIO DE JANEIRO (Estado), **Decreto Lei nº. 134,** de 16 de junho de 1975. **Dispõe sobre a prevenção da Poluição do Meio Ambiente no Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências.** Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/134-75.htm>> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 239,** de 9 de setembro de 1997. **Estabelece as regras a que fica sujeita a gestão de resíduos, nomeadamente a sua recolha, transporte, armazenagem, tratamento, valorização e eliminação, por forma a não constituir perigo ou causar prejuízo para a saúde humana ou para o ambiente.** Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://cm-saoroquedopico.azoresdigital.pt/anexos/DL239-97.pdf>> Acesso em: 02/2008

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 1.633,** de 21 de dezembro de 1977. **Dispõe sobre a coleta de lixo hospitalar e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.alerj.rj.gov.br/processo2.htm>> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 2.060**, de 28 de janeiro de 1993 - **Dispõe sobre a coleta de lixo hospitalar e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.alerj.rj.gov.br/processo2.htm>> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Lei nº. 2.061**, de 28 de janeiro de 1993 - **Dispõe sobre a coleta de lixo hospitalar e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.alerj.rj.gov.br/processo2.htm>> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Lei nº. 3.316** de 09 de dezembro de 1999. **Autoriza o Poder executivo a implantar sistema de tratamento de resíduos sólidos dos serviços de saúde e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.alerj.rj.gov.br/processo2.htm>> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Lei nº. 3.467** de 14 de setembro de 2000. **Dispõe sobre as sanções administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente no estado do Rio de Janeiro, e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.ief.rj.gov.br/legislacao/docs/3467.doc>> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Lei nº. 4.191**, de 30 de setembro de 2003 - **Dispõe sobre a política estadual de resíduos sólidos e dá outras providências,** Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.alerj.rj.gov.br/processo2.htm>> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Lei nº. 3.316**, de 09 de dezembro de 1999 - **Autoriza o Poder executivo a implantar sistema de tratamento de resíduos sólidos dos serviços de saúde e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/3316-99.htm>> Acesso em: 02/2008.

\_\_\_\_\_. **Lei nº. 4.191**, de 30 de setembro de 2003 – **Dispõe sobre a política estadual de resíduos sólidos e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.minc.com.br/cumpra-se/leis/L4191-03.htm>> Acesso em: 02/2008.

REAL, José Luiz Gerlach. **Riscos ambientais em aterros de resíduos sólidos com ênfase na emissão de gases**, 2005. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro. Disponível em: <



[http://dominiopublico.mec.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=34840](http://dominiopublico.mec.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=34840)> Acesso em: 12/2007.

ROSSETO, Adriana Marques. **Gestão do ambiente urbano (SIGAU) para o desenvolvimento sustentável de cidades**, 2003. 336 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Disponível em: <<http://www.grupoge.ufsc.br/publica/adriana.pdf>> Acesso em: 12/2007.

SANTOS, Joana Mara Teixeira. **Normas para a Elaboração Gráfica da Dissertação de Mestrado**, 2006, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

SILVA, E. L., MENEZES, E.M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**, 2001. 118 f., – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Disponível em: <<http://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia%20da%20Pesquisa%203a%20edicao.pdf>> Acesso em: 01/2008.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VINIL, S. **Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues**. Series in Water Resources and Environmental Engineering. Irwin MacGraw-Hill., 1993.

TOFFLER, A., TOFFLER, H. **Guerra e anti-guerra: sobrevivência da aurora do terceiro milênio**, 1ª ed., Rio de Janeiro, Biblioteca do Exército, 1995.

UNFCCC. **United Nations Framework Conventions on Climate Change**. Rio de Janeiro, Brazil: United Nations, 1992. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>> Acesso em: 03/ 2008

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), AP 42 Section 2.4 – **Municipal Solid Waste Landfills, Related Information**, 1996. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch02/related/c02s04.html> Acesso em: 01/2008

WORLD BANK. **Manual para a Preparação de Gás de Aterro Sanitário para Projetos de Energia na América Latina e Caribe.** 1ª ed., Washington, DC, 2004. Disponível em: <<http://www.worldbank.org>> Acesso em: 12/ 2007

**Páginas da internet visitadas:**

[http://www.abrelpe.com.br/panorama\\_2005.php](http://www.abrelpe.com.br/panorama_2005.php)

<http://www.feema.rj.gov.br/empresas-licenciadas.asp>

<http://www.saude.rj.gov.br/informacoes/bancodad.shtml>

<http://portal.saude.gov.br/saude/>

<http://oglobo.globo.com/>

<http://www.odia.com.br/>

<http://www.anvisa.gov.br/legis/index.htm>

<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>

<http://www.ibge.gov.br/home/>

[www.conpet.gov.br](http://www.conpet.gov.br)

[www.carbonobrasil.com/](http://www.carbonobrasil.com/)

[www.epa.gov/climatechange/emissions](http://www.epa.gov/climatechange/emissions)

[www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)

[www.ecologica.org.br](http://www.ecologica.org.br)

<http://www.epa.gov/>

<http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima>

[http://www.wwiUma.org.br/efeito\\_estufa\\_2\\_onu.htm](http://www.wwiUma.org.br/efeito_estufa_2_onu.htm)

<http://unfccc.int/2860.php>

<http://cdm.unfccc.int/index.html>

[www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf](http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf)

<http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/>

[www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br)

[www.greenhouse.gov.au/ccs/publications](http://www.greenhouse.gov.au/ccs/publications)

[http://www.centroclima.org.br/new2/proj\\_ssn1.htm](http://www.centroclima.org.br/new2/proj_ssn1.htm)

[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual\\_RSS\\_Parte3.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual_RSS_Parte3.pdf)

[http://old.thegreeninitiative.com/pt/gh\\_img\\_pt.html](http://old.thegreeninitiative.com/pt/gh_img_pt.html)

<http://www.imeisvirtuais.com.br/sequestrodecarbono2.htm>

<http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/>

<http://www.ecolatina.com.br/pdf/relatorio-IPCC-3.pdf>

[http://www.institutogenesis.org.br/internas/certificacao/certif\\_flo\\_mdl.asp](http://www.institutogenesis.org.br/internas/certificacao/certif_flo_mdl.asp)

<http://reports.eea.europa.eu/TEC16/en>

<http://www.scribd.com/doc/2363997/Manual-para-a-Preparacao-de-Gas-de-Aterro-Sanitario-para-Projetos-de-Energia-na-America-Latina-e-Caribe>

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

<http://www5.bcb.gov.br/pec/conversao/Resultado.asp?idpai=convmoeda>

[http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/protocolo\\_quioto.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/protocolo_quioto.pdf)

[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual\\_RSS\\_Parte3.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual_RSS_Parte3.pdf)

[http://www.mspas.gob.sv/regulacion/pdf/guia/guia\\_desechos\\_solidos\\_d\\_final\\_celdas\\_segurid.pdf](http://www.mspas.gob.sv/regulacion/pdf/guia/guia_desechos_solidos_d_final_celdas_segurid.pdf)

<http://compare.buscape.com.br/procura?id=8632&raiz=5845&pagina=1&kw=tratamento+residuos>

# ANEXOS

---

## *Anexo A – Métodos numéricos para o cálculo do inventário de metano*

A USEPA estabeleceu duas metodologias de cálculo para a previsão da concentração de metano e dióxido de carbono na corrente de biogás proveniente do processo de decomposição de resíduos sólidos. Uma aplicada aos lixões, que não apresentam sistema de controle sobre a disposição dos resíduos e não será abordada, e outra aplicada aos aterros, onde a disposição do lixo é controlada e será apresentada a seguir.

A captação de biogás nos aterros não é realizada com eficiência de 100%, ou seja, há perda de fração do gás diretamente à atmosfera. Caso a quantidade de biogás emitido à atmosfera seja desconhecida, a USEPA (1998) sugere que seja considerada a eficiência de 75% do total do biogás gerado.

Segundo informações divulgadas pela USEPA em 1998, a eficiência com a utilização de combustor de biogás corresponde a 99,2%. A estimativa das emissões de metano nos aterros sanitários pode ser obtida através da equação a seguir.

$$CM_{CH_4} = [Q_{CH_4} * (1 - \eta_{col} / 100)] + [Q_{CH_4} * \eta_{col} / 100 * (1 - \eta_{cont} / 100)] \quad (1)$$

Em que:

$CM_{CH_4}$  = emissões controladas de metano em m<sup>3</sup>/ano

$Q_{CH_4}$  = emissões não controladas de metano em m<sup>3</sup>/ano

$\eta_{col}$  = 75%, que é o valor sugerido para a eficiência do sistema de captação

$\eta_{cont}$  = 99,2%, que é a eficiência do dispositivo de controle

A variável  $Q_{CH_4}$ , que corresponde ao percentual das emissões de gás carbônico à atmosfera, pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$Q_{CH_4} = L_0 * R (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (2)$$

Em que:

$Q_{CH_4}$  = emissões não controladas de metano em m<sup>3</sup>/ano

$L_0$  = geração de metano por tonelada de resíduo depositado ( $m^3 (CH_4) / t_{\text{resíduo}}$ )

$R$  = média anual de entrada de lixo ( $t_{\text{lixo}}/\text{ano}$ )

$k$  = taxa de geração de metano ( $\text{ano}^{-1}$ )

$c$  = anos desde o fechamento do aterro ou  $c = 0$  para os aterros em atividade (ano)

$t$  = anos desde o início da atividade (ano)

Os valores de  $k$  e  $L_0$ , propostos pela *USEPA*, é de acordo com a pluviometria anual. Para pluviometria anual superior a 635 mm,  $k = 0,04$  e  $L_0 = 100 m^3/t$  e para pluviometria anual inferior a 635 mm,  $k$  e  $L_0$  correspondem a 0,02 e  $100 m^3/t$ , respectivamente.

A estimativa das emissões de gás carbônico pode ser realizada conforme apresentado a seguir.

$$CM_{CO_2} = Q_{CO_2} + (Q_{CH_4} \eta_{col} / 100 * 2,75) \quad (3)$$

Em que:

$CM_{CO_2}$  = emissões controladas de  $CO_2$  em  $m^3/\text{ano}$

$Q_{CO_2}$  = emissões não controladas de metano em  $m^3/\text{ano}$

$Q_{CH_4}$  = emissões não controladas de metano em  $m^3/\text{ano}$

$\eta_{col} = 75\%$ , que é o valor sugerido para a eficiência do sistema de captação

2,75 = razão entre a massa molar do  $CO_2$  e a do  $CH_4$

A variável  $Q_{CO_2}$ , que corresponde ao percentual das emissões de gás carbônico à atmosfera, pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} * (\% (V) CO_2 / \% (V) CH_4) \quad (4)$$

Em que:

$Q_{CO_2}$  = emissões não controladas de gás carbônico em  $m^3/\text{ano}$

$Q_{CH_4}$  = emissões não controladas de metano em  $m^3/\text{ano}$

$\% (V) CO_2$  = percentual volumétrico de gás carbônico

$\% (V) CH_4$  = percentual volumétrico de metano

O manual para a preparação do gás de aterro sanitário para projetos de energia na América Latina e Caribe (BANCO MUNDIAL, 2003) apresenta a metodologia de cálculo do Banco Mundial, baseado no “*Modelo Scholl Canyon*”, que é um modelo que considera que há uma fração constante de material biodegradável em aterro por unidade de tempo.

A metodologia sugerida não deve ser utilizada para aterros de resíduos sólidos urbanos ativos, já que considera a taxa de geração de metano constante, desconsiderando-se o tempo de atividade do aterro, conforme apresentado na equação a seguir.

$$Q_{(CH_4)_i} = k * L_0 * m_i * e^{-kt} \quad (5)$$

Em que:

$Q_{(CH_4)_i}$  = metano produzido no ano i a partir da seção i do resíduo, em m<sup>3</sup>/ano

k = taxa de geração de metano (anos<sup>-1</sup>)

$L_0$  = potencial geração de metano por tonelada de resíduo depositado (m<sup>3</sup> (CH<sub>4</sub>) / t<sub>resíduo</sub>), que corresponde a 170 m<sup>3</sup> (CH<sub>4</sub>) / t<sub>resíduo</sub>, conforme fornecido pelo Banco Mundial em 2003

$m_i$  = massa do resíduo despejado no ano i (t/ano)

$t_i$  = anos após o fechamento

Os valores de k (BANCO MUNDIAL, 2003) são apresentados na tabela a seguir.

| Precipitação anual (P) | Campo dos valores, k |                          |                      |
|------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|
|                        | Relativamente inerte | Moderadamente degradável | Altamente degradável |
| P < 250 mm             | 0,01                 | 0,02                     | 0,03                 |
| 250 < P < 500 mm       | 0,01                 | 0,03                     | 0,05                 |
| 500 < P < 1000 mm      | 0,02                 | 0,05                     | 0,08                 |
| P > 1000 mm            | 0,02                 | 0,06                     | 0,09                 |

Em 1996, o *IPCC* apresentou uma metodologia de cálculo das emissões de metano proveniente de resíduos, que leva em consideração o tempo de disposição dos resíduos em aterro, conforme apresenta-se disponível a seguir.

$$CH_4 \text{ gerado (t/ano)} = \sum [(A * k * RSU_T(x) * RSU_F(x) * L_0(x)) * e^{-k(t-x)}] \quad (6)$$

$$\text{CH}_4 \text{ emitido (t/ano)} = [(\text{CH}_4 \text{ gerado} - R(t)) * (1 - \text{OX})] \quad (7)$$

Em que:

$\text{CH}_4 \text{ gerado}$  = nº de toneladas de metano gerados por ano

$\text{CH}_4 \text{ emitido}$  = nº de toneladas de metano emitidos por ano

$A = (1 - e^{-k})/k$ , que é o fator de normalização para corrigir a soma

$k$  = constante de geração de metano ( $\text{anos}^{-1}$ )

$x$  = ano de contribuição, desde o início da atividade até  $t$

$t$  = ano do cálculo do inventário de metano

$\text{RSU}_T(x)$  = total de Resíduos Sólidos Urbanos gerados, no ano  $x$  (t / ano)

$\text{RSU}_F(x)$  = fração de Resíduos Sólidos Urbanos depositados no aterro, no ano  $x$

$\text{RSU}_T(x) * \text{RSU}_F(x)$  = massa de resíduos despejada no ano  $x$  (t / ano)

$L_0(x)$  = potencial de geração de metano (t $\text{CH}_4$  / t RSU)

$L_0(x) = \text{FCM}(x) * \text{COD}(x) * \text{COD}_F * F * 16/12$

$\text{FCM}(x)$  = Fator de Correção de Metano no ano  $x$

$\text{COD}(x)$  = fração de Carbono Orgânico Degradável no ano  $x$  (t C / t RSU)

$\text{COD}_F$  = fração de Carbono Orgânico Degradável Assimilado

$F$  = fração de metano do gás de aterro /em ausência de dados deve-se considerar 0,5

16/12 = conversão de carbono a metano

$R(t)$  = quantidade de metano recuperado no ano  $t$

$\text{OX}$  = fração correspondente ao fator de oxidação

O Fator de Correção de Metano (FCM) aplicado para aterros controlados, que são aqueles que utilizam camada de cobertura, compactação ou nivelamento dos resíduos, ou seja, que aplicam disposição de resíduos no solo do aterro de forma controlada é 1.

A constante de geração de metano ( $k$ ) representa a degradação dos resíduos orgânicos presentes no aterro, e, caso não esteja definido, o *IPCC* recomenda utilizar-se o valor 0,05.

O Carbono Orgânico Degradável (COD) corresponde à fração, que pode ser encontrada através da utilização de equação, que considera os valores percentuais de COD de acordo com o tipo de componente presente no resíduo sólido depositado no aterro, classificando-se através de grupos que são papel, papelão e tecidos, resíduos de parques e jardins, restos de alimentos e madeira, porém torna-se necessário, conhecer-se a fração correspondente de cada grupo, o que é uma tarefa difícil, já que trata-se de resíduos sólidos

urbanos, que não são coletados seletivamente. Dessa forma, recomenda-se a utilização do valor correspondente a 12% (IPCC, 1996).

O Carbono Orgânico Degradável Assimilado (COD<sub>F</sub>) corresponde à fração de carbono orgânico degradável, que realmente sofre o processo de degradação. O IPCC recomenda a utilização do valor de 77% para o COD<sub>F</sub>.

O fator de oxidação (OX) representa a quantidade de metano oxidado presente no solo e na camada de cobertura dos aterros sanitários. O valor para o fator de oxidação sugerido pelo IPCC para os cálculos é zero.



## ***Anexo B – O Plano de Monitoramento do combustor de biogás***

O Plano de Monitoramento (2002) consiste em um documento preparado pelo Banco Mundial, que é imprescindível para a preparação dos indicadores-chave envolvidos, para definição da estratégia a ser adotada para o controle do combustor de metano ou do gerador de energia elétrica, que ocorre de acordo com a estratégia de obtenção dos CERs, que foi adotada para o projeto em questão.

O Plano de Monitoramento foi desenvolvido para fornecer os requerimentos e instruções para o cálculo da redução das emissões de GEEs, para estabelecer e sustentar o sistema de monitoramento adequado para a estimativa da redução das emissões de CO<sub>2</sub>, para preparação da medição utilizada e do gerenciamento das operações no aterro, para atribuir as responsabilidades adequadamente, dentre outras necessidades para o gerenciamento do projeto e das operações para medição e controle sobre os impactos ambientais.

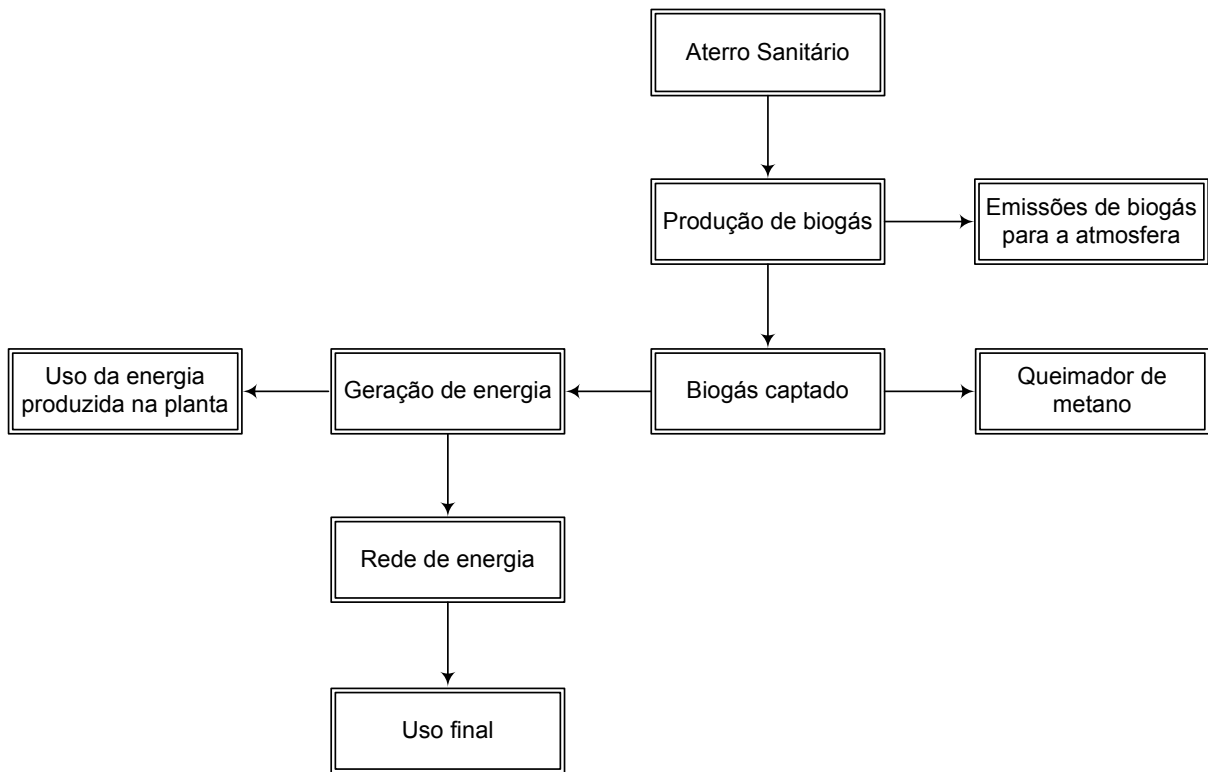
O documento desenvolvido para o objeto de estudo, que é o aterro sanitário localizado no estado do Rio de Janeiro, define monitoramento como a sistemática do inventário com relação à performance do projeto e a performance relatada pelos indicadores relevantes ao Protocolo de Quioto e verificação como o período de auditoria do monitoramento dos resultados, o acesso aos arquivos que contemplam as reduções das emissões e a performance contínua do projeto com relação ao que foi definido pela Entidade Operacional Designada.

A empresa responsável pelo gerenciamento do aterro sanitário garantiu, em 2001, a licença de concessão para 20 anos de operação para obtenção dos créditos de carbono, de empresa responsável pela limpeza urbana do município onde se apresentam localizadas as instalações do projeto.

A previsão da redução das emissões corresponde a 11,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente até o término do prazo de operação do projeto, que é de 20 anos.

Os benefícios incluem a utilização de projeto de demonstração de tecnologia limpa em município do estado do Rio de Janeiro, que poderá ser utilizado como referência para implementação similar em lixões, que não apresentam controle sobre a disposição de resíduos urbanos e que representam risco eminente à população.

A produção do gás proveniente do aterro, as emissões para a atmosfera e a captação destinada ao combustor de metano ou à geração de energia elétrica, que poderá ser utilizada na área do processo ou para disponibilização em rede para uso final, conforme fluxograma apresentado abaixo (BANCO MUNDIAL, 2002).

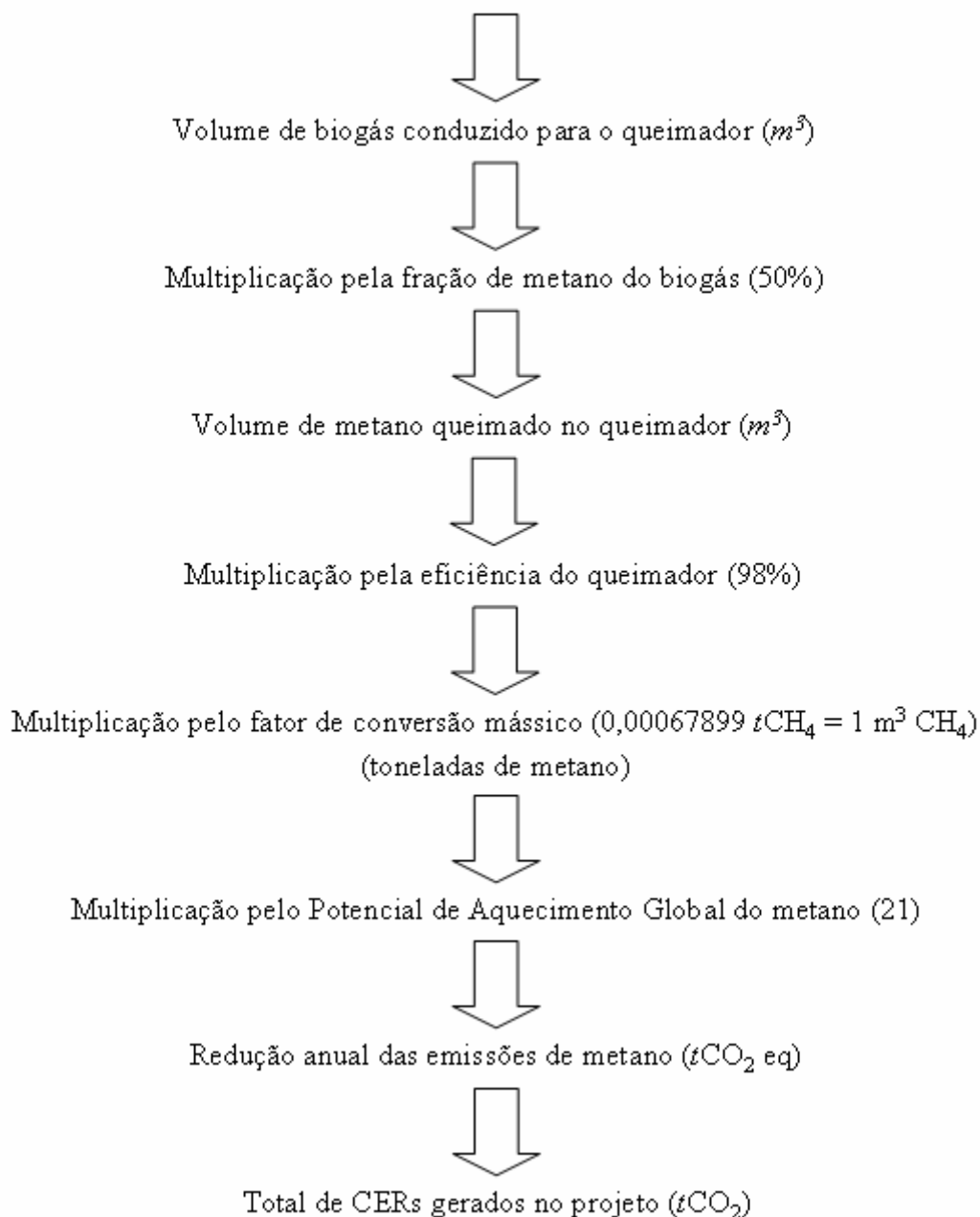


As constantes e as variáveis consideradas nos cálculos de redução das emissões de metano à atmosfera, através da conversão de energia elétrica produzida com a utilização de geradores de eletricidade ou através da combustão em combustores de biogás para obtenção de créditos de carbono estão apresentadas abaixo (BANCO MUNDIAL, 2002).

| Constantes / Variáveis            | Valor                       | Referência                    |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Poder calorífico do metano        | 0,0357 GJ/m <sup>3</sup>    | USEPA                         |
| Potencial de Aquecimento Global   | 21                          | UNFCCC                        |
| Densidade do metano               | 0,00067899 t/m <sup>3</sup> | USEPA                         |
| Fração de metano no gás de aterro | 50%                         | Enertech Consulting Engineers |
| Taxa de geração de calor          | 10.000 GJ/MWh               | EnerG                         |
| Eficiência do combustor           | 98%                         | EnerG                         |

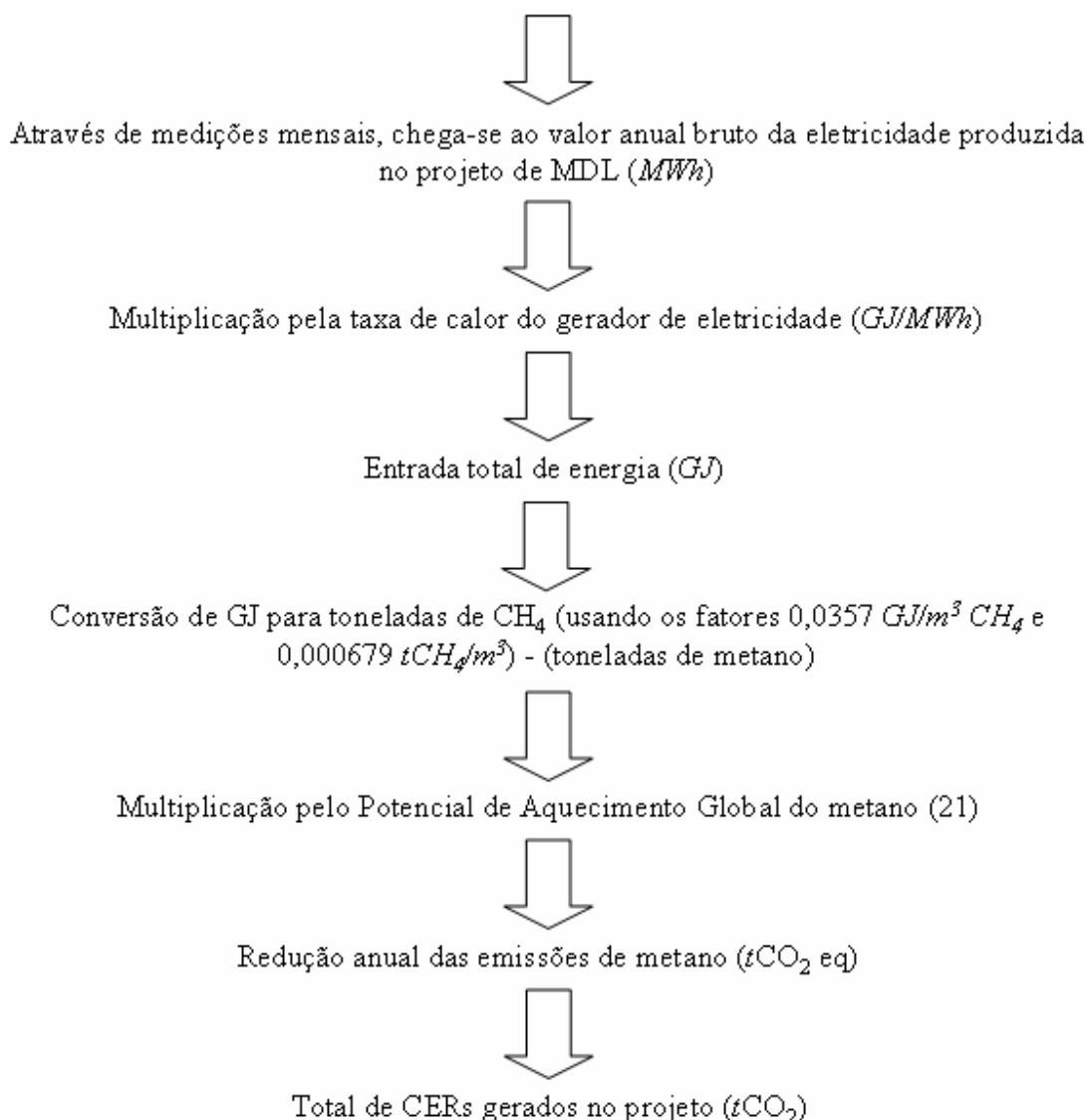
## *Anexo C – Redução das emissões de CH<sub>4</sub> de combustores de biogás*

### COMBUSTÃO DE METANO EM QUEIMADORES DE BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS



## **Anexo D – Redução das emissões de CH<sub>4</sub> de geradores de eletricidade**

### **COMBUSTÃO DE METANO EM GERADORES DE ELETRICIDADE EM ATERROS SANITÁRIOS**



O plano de monitoramento do projeto MDL cita que a eletricidade gerada poderá ser fornecida para a região local e que uma pequena parte poderá ser utilizada na área do aterro sanitário, para iluminação, ventiladores e outras aplicações, como por exemplo, no tratamento do chorume proveniente dos resíduos depositados.

Conforme visita realizada, foi verificado que o projeto MDL foi dimensionado para geração de energia com capacidade para iluminação pública de município com até 1.000.000 de habitantes, que apresenta rede interligada ao fornecimento e que prevê funcionamento da instalação no decorrer do ano de 2009.

## ***Anexo E – A estratégia e a periodicidade definida para monitoramento***

O processo de monitoramento para o cálculo dos créditos de carbono do projeto MDL do aterro sanitário do estado do Rio de Janeiro foi estabelecido de acordo com a tecnologia adotada para a redução das emissões de metano à atmosfera. O projeto prevê a utilização de duas alternativas: a geração de energia elétrica a partir de gerador, que utiliza o biogás como combustível, e a combustão realizada em combustor de metano.

Com a utilização de gerador de energia elétrica torna-se necessário realizar medições contínuas com arquivamento através de planilha eletrônica por dois anos da variável energia elétrica e a taxa de geração de calor deverá ser obtida semestralmente.

Com a utilização de combustor de metano torna-se necessário realizar medições contínuas com arquivamento através de planilha eletrônica por dois anos das variáveis vazão volumétrica e fração volumétrica de metano da corrente de biogás da entrada do combustor, e eficiência da combustão, que é garantida pelo fabricante do combustor um valor de 98% sobre o total de metano conduzido à queima, portanto que as variáveis pressão e temperatura sejam registradas continuamente, e apresentem valores previsíveis, ou seja, que sejam compatíveis com o que foi estabelecido pelo fabricante do equipamento responsável pela combustão.

A possibilidade de utilização de monitoramento semestral dos gases exaustos do combustor, conforme foi definido e aprovado no documento de projeto, é questionada pelo fato de não garantir a estabilidade durante todo o período garantido pelas medições.

A utilização de monitoramento contínuo para o combustor de metano permite que seja realizado o cálculo da eficiência da combustão à obtenção de créditos de carbono desconsiderando-se a eficiência nominal de 98% estabelecida pelo fabricante do combustor e considerando-se o valor real da eficiência calculada, com valores próximos a 100%, e gerar maior lucratividade para o projeto de MDL. O projeto, que é o objeto de estudo referência, apresenta valores médios calculados da eficiência da combustão em torno de 99,99%, conforme verificado em visita realizada à empresa.

## ***Anexo F – A metodologia de monitoramento contínuo para o combustor de metano proposta por empresa inserida no setor de análise de gases***

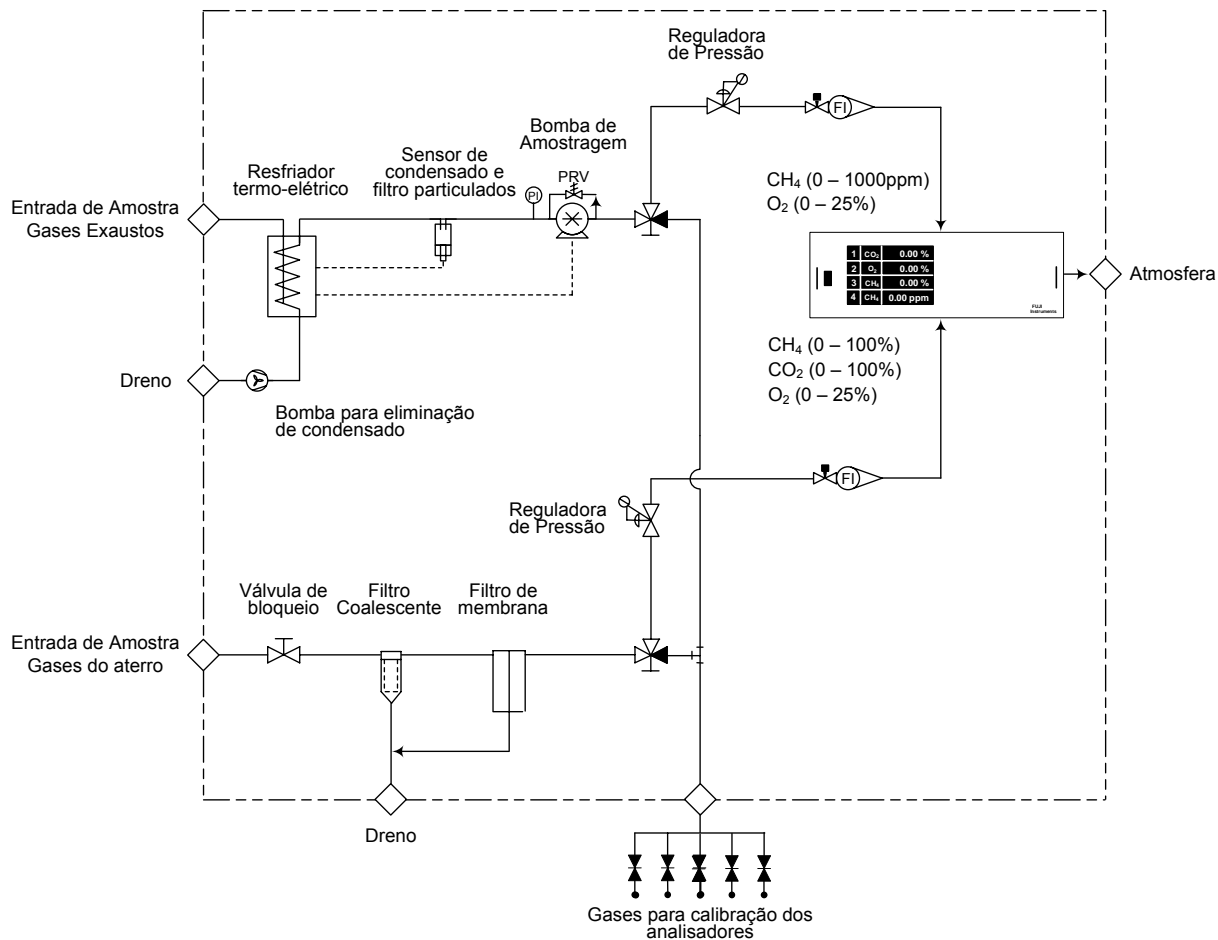
O sistema de medição foi dimensionado para obtenção das frações volumétricas de metano, gás carbônico e oxigênio do biogás gerado no aterro sanitário, e das frações volumétricas de metano e oxigênio dos gases exaustos do combustor de metano.

A proposta do sistema de monitoramento dos gases consiste em amostragem realizada através de sonda posicionada na tubulação de saída do combustor de metano, objetivando a coleta de fração representativa dos gases exaustos, e de conexão à tubulação de entrada do combustor para monitoramento da composição da corrente gasosa proveniente do aterro.

A corrente dos gases exaustos é transportada através de sistema de condicionamento por diferencial de pressão gerado por bomba de vácuo. Os gases exaustos são submetidos a resfriamento termo-elétrico para eliminação de umidade e análise de composição em base seca. A corrente de amostra segue em linha através de sensor que atua desligando a bomba de vácuo em presença de condensado, além de filtro para eliminação de particulados, válvula reguladora de pressão e controlador de fluxo da corrente, que é direcionada para o analisador.

A corrente do gás do aterro é transportada através de sistema de condicionamento por diferencial de pressão. A pressão no ponto de coleta é superior à ambiente e, dessa forma, não há necessidade de instalação de bomba de vácuo. O próprio diferencial de pressão é suficiente para conduzir a corrente de amostra até o painel com o analisador. O sistema apresenta válvula de bloqueio para permitir manutenção, filtro coalescente para extrair o condensado e filtro de membrana para eliminar a água presente no estado vapor, válvula reguladora de pressão para ajuste de pressão e controlador de fluxo da corrente, que é direcionada para o analisador.

A figura a seguir apresenta o fluxograma de projeto do sistema de monitoramento das correntes gasosas de entrada e saída do combustor de metano do projeto MDL (ENGEZER, 2007), que é destinado à captação e à combustão de biogás obtido do aterro sanitário. Dentre as empresas responsáveis pelas propostas de projetos e soluções para engenharia e análise de gases, foi utilizado o conhecimento construído na Engezer, que é uma empresa com grande experiência em projetos e aplicações gerais para análise de gases.



## **Anexo G – Eficiência de combustor de metano segundo o anexo 13**

O anexo 13 (UNFCCC, CCNUCC, 2006), que é um documento oficial desenvolvido no âmbito do MDL, contempla definições de escopo, aplicabilidade e parâmetros a serem considerados para controle sobre o processo de combustão de gases residuais de aterros sanitários, incluindo a metodologia de cálculo para encontrar-se a eficiência de combustores de metano, que são conhecidos como “*flares*” fechados ou abertos. O documento é identificado como “*EB 28*”, “*Meeting Report*”, “*Annex 13*”.

Os combustores abertos são equipamentos onde os gases residuais são queimados como uma tocha ao ar livre com ou sem suporte de um fluido auxiliar, enquanto nos combustores fechados, os gases residuais são queimados em um ambiente cilíndrico retilíneo, que contempla uma reação de combustão com excesso de ar, que é incorporado através de válvula instalada na entrada do equipamento, de forma que favoreça a combustão do metano.

O projeto referência, que corresponde ao objeto de estudo, estabeleceu combustor de metano fechado. Para este projeto de MDL podem ser utilizados dois tipos de controle sobre o processo de combustão. O primeiro considera o valor de eficiência padrão de 90%, caso seja realizado o monitoramento contínuo das variáveis temperatura, que foi especificada pelo fabricante do equipamento, e vazão do gás residual na entrada do combustor, porém prevê eficiência de 50%, caso em uma hora qualquer a temperatura atinja valor fora dos limites estabelecidos pelo fabricante. O segundo considera o monitoramento contínuo das variáveis necessárias para o cálculo da eficiência, conforme equações matemáticas citadas nas etapas de 1 a 7 do Anexo 13 (UNFCCC, CCNUCC, 2006) e seguindo a periodicidade das medições apresentada no Plano de Monitoramento (BANCO MUNDIAL, 2002). Para ambos os processos de monitoramento, caso a temperatura registrada seja inferior a 500 °C, a eficiência da combustão para a hora em específico deverá ser considerada zero.

O detalhamento da metodologia de cálculo da eficiência da combustão disponibilizada no anexo 13 está apresentada a seguir, de forma adaptada para facilitar a compreensão. A determinação da eficiência horária do combustor é obtida através da equação a seguir.

$$\eta_{\text{combustor,h}} = 1 - (TM_{FG,h} - TM_{RG,h}) \quad (1)$$

Em que:

$\eta_{\text{combustor,h}}$  = eficiência do combustor em hora



$TM_{FG,h}$  = vazão mássica do metano nos gases exaustos (kg / h)

$TM_{RG,h}$  = vazão mássica do metano nos gases residuais (kg / h)

A variável  $TM_{RG,h}$  pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$TM_{RG,h} = FV_{RG,h} * fv_{CH_4,RG,h} * \rho_{CH_4,n} \quad (2)$$

Em que:

$FV_{RG,h}$  = vazão volumétrica do gás residual em base seca nas CNTP ( $m^3 / h$ )

$fv_{CH_4,RG,h}$  = fração volumétrica do metano no gás residual em base seca

$\rho_{CH_4,n}$  = densidade do metano nas CNTP ( $0,716 \text{ kg} / m^3$ )

A variável  $TM_{FG,h}$  pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$TM_{FG,h} = (TV_{n,FG,h} * fv_{CH_4,FG,h}) / 1.000.000 \quad (3)$$

Em que:

$TV_{n,FG,h}$  = vazão volumétrica dos gases exaustos em base seca nas CNTP ( $m^3 / h$ )

$fv_{CH_4,FG,h}$  = fração volumétrica do metano nos gases exaustos em base seca

A variável  $TV_{n,FG,h}$  pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$TV_{n,FG,h} = V_{n,FG,h} * FM_{RG,h} \quad (4)$$

Em que:

$V_{n,FG,h}$  = volume de gás exausto do combustor em base seca nas CNTP por massa de gás residual ( $m^3 / kg$ )

$FM_{RG,h}$  = vazão mássica do gás residual em uma hora (kg / h)

A variável  $FM_{RG,h}$  pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$FM_{RG,h} = \rho_{RG,n,h} * FV_{RG,h} \quad (5)$$

Em que:

$\rho_{RG,n,h}$  = densidade do gás residual nas CNTP ( $kg / m^3$ )

$FV_{RG,h}$  = vazão volumétrica do gás residual em base seca nas CNTP ( $m^3 / h$ )

A variável  $\rho_{RG,n,h}$  pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$\rho_{RG,n,h} = P_n / [(R_u / MM_{RG,h}) * T_n] \quad (6)$$

Em que:

$P_n$  = pressão atmosférica nas CNTP (101.325 Pa)

$R_u$  = constante universal dos gases ideais (8,3144 Pa.  $m^3 / kmol.K$ )

$MM_{RG,h}$  = massa molecular do gás residual (kg / kmol)

$T_n$  = temperatura nas CNTP (273,15 K)

A variável  $MM_{RG,h}$  pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$MM_{RG,h} = \sum_i (fv_{i,h} * MM_i) \quad (7)$$

Em que:

$fv_{i,h}$  = fração volumétrica do componente  $i$  gás residual (% v/v)

$MM_i$  = massa molecular do componente  $i$  gás residual (kg / kmol)

$i$  = Os componentes  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$  e  $N_2$ .

A variável  $V_{n,FG,h}$  pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$V_{n,FG,h} = V_{n,CO_2,h} + V_{n,O_2,h} + V_{n,N_2,h} \quad (8)$$

Em que:

$V_{n,CO_2,h}$  = quantidade de volume livre de  $CO_2$  nos gases exaustos do combustor em base seca por massa de gás residual por hora ( $m^3 / kg$ )

$V_{n,O_2,h}$  = quantidade de volume livre de  $O_2$  nos gases exaustos do combustor em base seca por massa de gás residual por hora ( $m^3 / kg$ )

$V_{n,N_2,h}$  = quantidade de volume livre de  $N_2$  nos gases exaustos do combustor em base seca por massa de gás residual por hora ( $m^3 / kg$ )

As variáveis  $V_{n,CO_2,h}$ ,  $V_{n,O_2,h}$  e  $V_{n,N_2,h}$  podem ser obtidas através das equações apresentadas a seguir.

$$V_{n,CO_2,h} = (fm_{C,h} / MA_C) * MV_n \quad (9)$$

$$V_{n,O_2,h} = \eta_{O_2,h} + MV_n \quad (10)$$

$$V_{n,N_2,h} = MV_n * [(fm_{N,h} / 200MA_N) + (1 - MF_{O_2}) / MF_{O_2}] * (F_h + \eta_{O_2,h}) \quad (11)$$

Em que:

$fm_{C,h}$  = fração mássica do elemento carbono no gás residual

$MA_C$  = massa atômica do carbono (kg / kmol)

$MV_n$  = volume de 1 mol nas CNTP (22,4 L/mol)

$\eta_{O_2,h}$  = nº de mols de  $O_2$  nos gases exaustos do combustor por massa residual queimado ( $m^3 / kg$ )

$fm_{N,h}$  = fração mássica do elemento nitrogênio no gás residual

$MA_N$  = massa atômica do nitrogênio (kg / kmol)

$t_{O_2,h}$  = fração volumétrica de  $O_2$  nos gases exaustos do combustor

$MF_{O_2}$  = fração volumétrica de  $O_2$  no ar atmosférico (0,21)

$F_h$  = quantidade estequiométrica de mols de  $O_2$  requerido para completa oxidação de 1 quilograma de gás residual (kmol / kg)

A variável  $\eta_{O_2,h}$  pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$\eta_{O_2,h} = \{t_{O_2,h} / [(1 - (t_{O_2,h} / MF_{O_2}))]\} * \{ (fm_{C,h} / MA_C) + (fm_{N,h} / 2MA_N) + [(1 - MF_{O_2}) / MF_{O_2}] * F_h \} \quad (12)$$

A variável  $F_h$  pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$F_h = (fm_{C,h} / MA_C) + (fm_{H,h} / 4MA_H) - (fm_{O,h} - 2MA_O) \quad (13)$$

Em que:

$fm_{H,h}$  = fração mássica do elemento hidrogênio no gás residual

$MA_H$  = massa atômica do hidrogênio (kg / kmol)

$fm_{O,h}$  = fração mássica do elemento oxigênio no gás residual

$MA_O$  = massa atômica do oxigênio (kg / kmol)

O cálculo anual das emissões do projeto é realizado através da soma das emissões de cada hora  $h$ , baseado na taxa de fluxo de metano no gás residual e na eficiência do combustor a cada hora. A variável  $PE_{combustor,y}$  pode ser obtida através da equação apresentada a seguir.

$$PE_{combustor,y} = \sum_{h=1}^{8760} TM_{RG,h} * (1 - \eta_{combustor,h}) * (PAG_{CH_4} / 1000) \quad (14)$$

Em que:

$PE_{combustor,y}$  = projeto de emissões da queima da corrente de gás residual anualmente

$PAG_{CH_4}$  = Potencial de Aquecimento Global do metano (21)

A tabela a seguir apresenta a metodologia de cálculo para a obtenção da eficiência do processo de combustão em combustor de metano, conforme contemplado no Anexo 13 (UNFCCC, CCNUCC, 2006), buscando permitir a visualização dos valores encontrados para cada variável. A vazão volumétrica foi estimada em 1000 m<sup>3</sup>/h, as frações volumétricas dos gases residuais e dos gases exaustos do processo foram considerados, conforme obtido em visita à empresa, o que gerou o valor da eficiência para o combustor de metano de 99,99%.

| Balço material, conforme Anexo 13 - Processo de Combustão - Queimador de metano |                        |   |         |   |
|---|------------------------|---|---------|---|
| $\Phi$ (Vazão volumétrica) =  | 1000 m <sup>3</sup> /h |   |         |   |
| Vazão molar =   | 44,6429 kmol/h         |   |         |   |
| $FM_{RG,h}$ =   | 737,9386 kg/h          |   |         |   |
| <b>Composição elementar do gás residual</b>                                     |                        |   |         |   |
| Elemento  | % massa                |   |         |   |
| C   | 0,4148                 |   |         |   |
| H   | 0,1372                 |   |         |   |
| O   | 0,0296                 |   |         |   |
| Total   | 0,5816                 |   |         |   |
| $F_h$ =   | 0,0676                 | kmol O <sub>2</sub> / kg RG (base seca) | 1,1173  | kmol O <sub>2</sub> / kmol RG (base seca) |
| $?_{O_2,h}$   | 0,4414                 | kmol O <sub>2</sub> /kg (base seca)     | 0,4836  | kmol O <sub>2</sub> / kg (base úmida)     |
| $V_{n,O_2,h}$   | 9,8876                 | m <sup>3</sup> /kg                      |         |   |
| $V_{n,N_2,h}$   | 42,8922                | m <sup>3</sup> /kg                      |         |   |
| $V_{n,CO_2,h}$  | 0,7744                 | m <sup>3</sup> /kg                      |         |   |
| $V_{n,FG,h}$  | 53,5542                | m <sup>3</sup> /kg                      | 57,4990 | m <sup>3</sup> /kg (base seca)            |
| $TV_{n,FG,h}$   | 39519,6935             | m <sup>3</sup> /h                       | 0,0009  | kg CH <sub>4</sub> / kmol                 |
| $TM_{FG,h}$   | 0,0367                 | kg/h CH <sub>4</sub>                    | 0,0394  | kg/h CH <sub>4</sub>                      |
| $\rho_{CH_4}$   | 0,7143                 | kg/m <sup>3</sup>                       |         |   |
| $TM_{RG,h}$   | 700                    | kg/h CH <sub>4</sub>                    |         |   |
| $\eta_{queimador,h}$  | <b>99,99%</b>          |   |         |   |

## Anexo H – Eficiência de combustor de metano através de planilha de cálculo

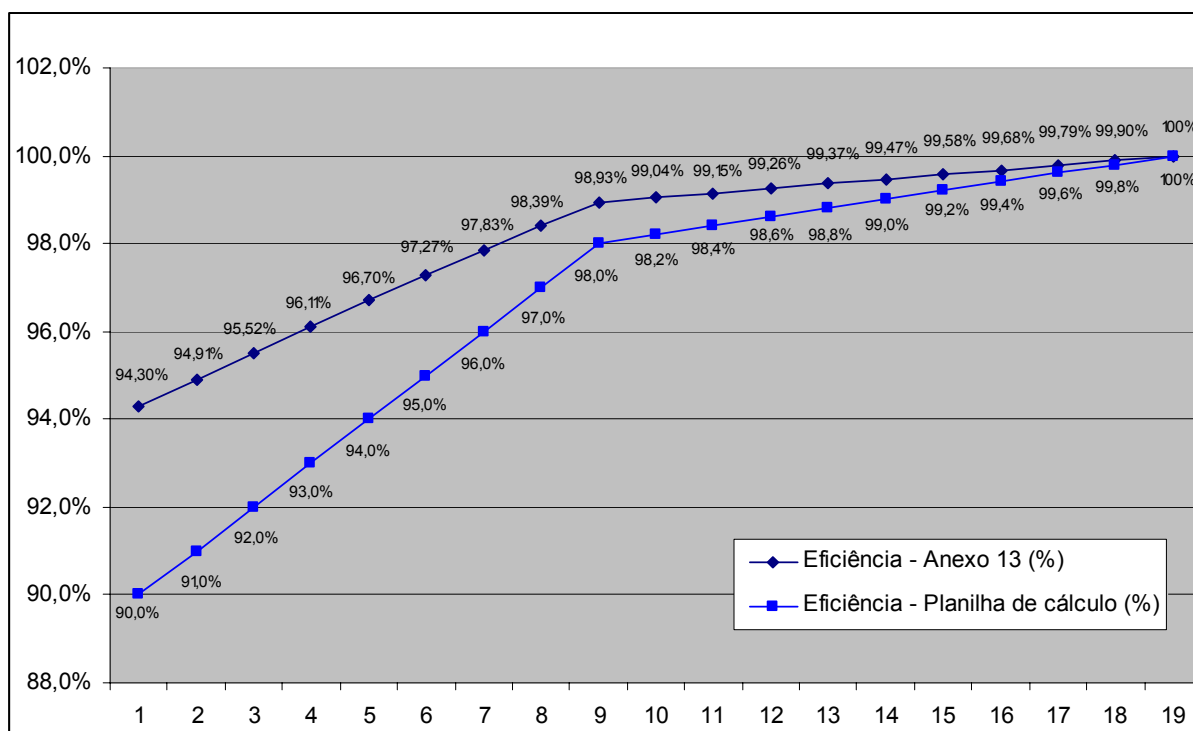
A tabela a seguir apresenta a metodologia de cálculo própria para a obtenção da eficiência do processo de combustão em combustor de metano, através de planilha.

| Balço material "convencional" - Processo de Combustão - Queimador de metano                   |                        |                           |                            |                    |                           |               |
|---|------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \Rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (Queima completa) |                        |                           |                            |                    |                           |               |
| $\text{CO} + 0,5 \text{O}_2 \Rightarrow \text{CO}_2$  |                        |                           |                            |                    |                           |               |
| $\Phi$ (Vazão volumétrica) =  | 1000 m <sup>3</sup> /h |                           |                            |                    |                           |               |
| (Gás residual)  |                        |                           | Conversãõ <b>99,99%</b>    | (Gás exausto)      | <b>kmol</b>               | <b>%sêca</b>  |
|   |                        |                           |                            |                    |                           | <b>%úmida</b> |
| CH <sub>4</sub>   | 55,0%                  |                           | CH <sub>4</sub>            | 0,0001             | 0,0000                    | 0,0000        |
| CO  | 1,0%                   |                           | CO <sub>2</sub>            | 0,9599             | 0,0226                    | 0,0220        |
| CO <sub>2</sub>   | 40,0%                  |                           | O <sub>2</sub>             | 7,8339             | 0,1846                    | 0,1799        |
| O <sub>2</sub>  | 1,0%                   |                           | N <sub>2</sub>             | 33,6368            | 0,7927                    | 0,7724        |
| N <sub>2</sub>  | 1,0%                   |                           | H <sub>2</sub> O           | 1,1199             | -                         | 0,0257        |
| H <sub>2</sub> O  | 2,0%                   |                           | Total                      | 42,4307            | 1,0000                    | 1,0000        |
| Massa molar da mistura =  | 16,5298 kg/kmol        | O <sub>2</sub>            | 0,21                       |                    |                           |               |
|   |                        | N <sub>2</sub>            | 0,79                       |                    |                           |               |
|   |                        | <b>Excesso, %</b>         | 700%                       |                    |                           |               |
|   |                        | O <sub>2</sub> teórico    | 1,1173 kmol/kmol (entrada) | [CH <sub>4</sub> ] | 9,3E-07 kg/m <sup>3</sup> |               |
|   |                        | O <sub>2</sub> entra =    | 8,9388                     |                    |                           |               |
|   |                        | O <sub>2</sub> reage =    | 1,1049                     |                    |                           |               |
| <b>Eficiencia em base mássica de CH<sub>4</sub></b>   |                        |                           |                            |                    |                           |               |
| Gás exausto   | 0,0394                 | kg/h de CH <sub>4</sub>   |                            |                    |                           |               |
| Gás residual  | 393,8393               | kg/h de CH <sub>4</sub>   |                            |                    |                           |               |
| Eficiência  | <b>99,99%</b>          | -                         |                            |                    |                           |               |
| <b>Eficiencia em base molar de CH<sub>4</sub></b>   |                        |                           |                            |                    |                           |               |
| Gás exausto   | 0,0025                 | kmol/h de CH <sub>4</sub> |                            |                    |                           |               |
| Gás residual  | 24,5536                | kmol/h de CH <sub>4</sub> |                            |                    |                           |               |
| Eficiência  | <b>99,99%</b>          | -                         |                            |                    |                           |               |

## *Anexo I – Gráfico comparativo de desvio entre as metodologias de cálculo da eficiência do combustor de metano*

A metodologia de cálculo para o balanço material do combustor de metano apresentada no anexo 13 (UNFCCC, CCNUCC, 2006) foi comparada à metodologia desenvolvida, que utiliza planilhas de cálculo desenvolvidas no programa Excel.

O gráfico a seguir apresenta a curva de cor azul clara, que representa os valores da eficiência do combustor de metano, conforme calculado através de planilha preparada em Excel e na curva de cor azul escura os valores calculados conforme definido pelo anexo 13. A metodologia de cálculo apresentada permite concluir que para os mesmos valores considerados às variáveis medidas pelo sistema de monitoramento instalado no combustor de metano, somente foram obtidos valores iguais para eficiência acima de 99,99%, porém, para valores de eficiência inferiores, há diferença entre os valores encontrados.



## **Anexo J – Espécies de árvores para reflorestamento do aterro sanitário**

De acordo com as informações obtidas nas visitas realizadas ao aterro sanitário, verificou-se que há estudo desenvolvido por biólogos com relação às espécies de árvores específicas da mata atlântica do município onde apresenta-se instalado o aterro sanitário. Com o objetivo de manter as características da mata presente na região foi realizado o levantamento das principais espécies, que serão utilizadas para o reflorestamento da área, após o tempo da vida útil do aterro sanitário.

Segue a listagem, que contempla as espécies de árvores a serem utilizadas no replantio do aterro sanitário do estado do Rio de Janeiro, que foi observado durante a pesquisa.

| Espécie para plantio / reflorestamento da área do aterro sanitário |                  |                                     |      |                    |                                     |
|--|------------------|-------------------------------------|------|--------------------|-------------------------------------|
| Item   | Nome vulgar      | Nome científico                     | Item | Nome vulgar        | Nome científico                     |
| 1  | Abiu pequeno     | <i>Pouteria grandiflora</i>         | 30   | Ingá               | <i>Ingá edulis</i>                  |
| 2  | Acácia mangium   | <i>Acacia grandis.</i>              | 31   | Ipê 5 folhas       | <i>Sparattosperma leucanthum</i>    |
| 3  | Amendoim-bravo   | <i>Pterogyne nitens Tul.</i>        | 32   | Ipê Amarelo        | <i>Tabebuia umbellata</i>           |
| 4  | Anda assu        | <i>Joannesia princeps</i>           | 33   | Ipê Rosa           | <i>Tabebuia avellanadae</i>         |
| 5  | Angá             | <i>Sclerolobium denadatum</i>       | 34   | Ipê Roxo           | <i>Tabebuia impetiginosa</i>        |
| 6  | Angelim amargoso | <i>Andira legalis</i>               | 35   | Jacarandá-da-bahia | <i>Dalbergia nigra</i>              |
| 7  | Angico-branco    | <i>Anadenanthera colubrina</i>      | 36   | Jacarandá          | <i>Jacarandá machaerium</i>         |
| 8  | Araribá amarelo  | <i>Centrolobium microchaete</i>     | 37   | Jatobá             | <i>Hymenaea courbaril L.</i>        |
| 9  | Arariba rosa     | <i>Centrolobium tomentosum</i>      | 38   | Jequitibá          | <i>Cariniana estrellensis</i>       |
| 10   | Arco-de-pipa     | <i>Erythroxylon frangulaefolium</i> | 39   | Mirindiba          | <i>Lafoensia glyptocarpa</i>        |
| 11   | Aroeira          | <i>Schinus terebentifolius</i>      | 40   | Mulungu            | <i>Erythrina speciosa</i>           |
| 12   | Baba de boi      | <i>Syacus romanzoffiana</i>         | 41   | Mutambo            | <i>Gazuma ulmifolia</i>             |
| 13   | Babosa-branca    | <i>Córdia superba</i>               | 42   | Oiti               | <i>Licania tomentosa</i>            |
| 14   | Cajá mirim       | <i>Spondias mombin</i>              | 43   | Orelha de negro    | <i>Enterolobium schomburgkii</i>    |
| 15   | Camboatã         | <i>Cupania oblongifolia</i>         | 44   | Pacova de macaco   | <i>Swartzia langsdorffii</i>        |
| 16   | Canafistula      | <i>Senna multijuga</i>              | 45   | Paineira           | <i>Chorisia speciosa</i>            |
| 17   | Capitão-do-mato  | <i>Terminalia argentea</i>          | 46   | Palmito Doce       | <i>Euterpe edulis</i>               |
| 18   | Caroba           | <i>Jacarandá macrantha</i>          | 47   | Pata-de-Vaca       | <i>Bauhinia forficata</i>           |
| 19   | Carrapeta        | <i>Guarea guidonia</i>              | 48   | Pau ferro          | <i>Caesalpineae ferrea</i>          |
| 20   | Castanheira      | <i>Bombacopsis glabra</i>           | 49   | Pau-de-sangue      | <i>Pterocarpus violaceus</i>        |
| 21   | Cedro            | <i>Cedrela fissilis</i>             | 50   | Pau-rei            | <i>Pterygota brasiliensis</i>       |
| 22   | Coroupita        | <i>Coroupita guianensis</i>         | 51   | Pitanga            | <i>Eugenia uniflora L.</i>          |
| 23   | Embaúba          | <i>Cecropia glazioui</i>            | 52   | Pitecolóbio        | <i>Chloroleucon tortum</i>          |
| 24   | Embiruçu         | <i>Pseudobombax grandiflorum</i>    | 53   | Sabiá              | <i>Mimosa caesalpineaeefolia</i>    |
| 25   | Esponjinha       | <i>Calandra sp</i>                  | 54   | Samanea            | <i>Samanea saman</i>                |
| 26   | Esterculia       | <i>Esterculia chicha</i>            | 55   | Sapucaia           | <i>Lecythis pisonis</i>             |
| 27   | Genipapo         | <i>Genipa americana L.</i>          | 56   | Sibipiruna         | <i>Caesalpinia peltophoroides</i>   |
| 28   | Goiaba           | <i>Psidium guajava L.</i>           | 57   | Tucaneira          | <i>Cytharexylum myrianthum Cham</i> |
| 29   | Guapuruvu        | <i>Schizolobium parahyba</i>        | -    | -                  | -                                   |

### ***Anexo K – Mensagem de catadora de lixo do Jardim Gramacho***

O texto foi retirado de dissertação de mestrado de autoria de HAUSER (2006). Segundo apresentado em epígrafe, a frase foi criada por Estamira, uma catadora de lixo do Jardim Gramacho.

**“... ÀS VEZES É SÓ RESTO, E ÀS VEZES VEM TAMBÉM DESCUIDO. RESTO E DESCUIDO. QUEM REVELOU O HOMEM COMO ÚNICO CONDICIONAL ENSINOU ELE A CONSERVAR AS COISAS, E CONSERVAR AS COISAS É PROTEGER, LAVAR, LIMPAR E USAR MAIS O QUANDO PODE. VOCÊ TEM UMA CAMISA, VOCÊ ESTÁ VESTIDO, VOCÊ ESTÁ SUADO, VOCÊ NÃO VAI TIRAR A SUA CAMISA E JOGAR FORA, VOCÊ NÃO PODE FAZER ISSO. QUEM REVELOU O HOMEM COMO ÚNICO CONDICIONAL NÃO ENSINOU TRAIR, NÃO ENSINOU HUMILHAR, NÃO ENSINOU TIRAR; ENSINOU AJUDAR. MISÉRIA NÃO, MAS AS REGRAS SIM. ECONOMIZAR AS COISAS É MARAVILHOSO, PORQUE QUEM ECONOMIZA TEM. ENTÃO AS PESSOAS TÊM QUE PRESTAR ATENÇÃO NO QUE ELES USAM, NO QUE ELES TÊM, PORQUE FICAR SEM É MUITO RUIM. O TROCADILO FEZ NUMA TAL MANEIRA QUE, QUANTO MENOS AS PESSOAS TÊM, MAIS ELES MENOSPREZAM, MAIS ELES JOGAM FORA.”**