



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE CARATINGA**  
**Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Sustentabilidade**  
**Mestrado Profissional**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE IMPLANTAÇÃO DE MECANISMO  
DE DESENVOLVIMENTO LIMPO NA CENTRAL DE RESÍDUOS DO  
VALE DO AÇO**

**MANUEL GONÇALVES SABINO**

CARATINGA  
Minas Gerais - Brasil  
Agosto de 2009

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE CARATINGA**  
**Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Sustentabilidade**  
**Mestrado Profissional**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE IMPLANTAÇÃO DE MECANISMO  
DE DESENVOLVIMENTO LIMPO NA CENTRAL DE RESÍDUOS DO  
VALE DO AÇO**

**MANUEL GONÇALVES SABINO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro Universitário de Caratinga, como exigências do programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Sustentabilidade, para obtenção do Título de *Magister Scientiae*

CARATINGA  
Minas Gerais - Brasil  
Agosto de 2009

**MANUEL GONÇALVES SABINO**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE IMPLANTAÇÃO DE MECANISMO  
DE DESENVOLVIMENTO LIMPO NA CENTRAL DE RESÍDUOS DO  
VALE DO AÇO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro Universitário de Caratinga, como exigências do programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Sustentabilidade, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

Aprovado: 14 de agosto de 2009

---

D.Sc. Marcos Alves de Magalhães  
(Orientador)

---

D.Sc. Leopoldo Loreto Charmelo  
(Co-orientador)

---

D.Sc. Antonio Teixeira de Matos

---

D.Sc. Roberto Francisco de Azevedo

---

D.Sc. Laércio Antônio Gonçalves Jacovini

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este estudo ao meu pequeno Gabriel Frade Sabino, que acaba de chegar neste mundo cheio de caixinhas de surpresa e a minha batalha na área ambiental, onde iniciei em 2001.

Com muito amor e vontade e hoje posso desfrutar de conhecimentos adquiridos no decorrer destes anos, pensando que, estou apenas iniciando mais uma etapa de minha vida.

Dedico ainda a todos os estudiosos e em particular aqueles que se debruçam sobre a temática do “Aquecimento Global” que, de alguma forma, contribuem para a sustentabilidade de nosso planeta.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao nosso superior eterno por tudo já realizado em minha vida, principalmente pelo presente que ganhei no ano passado com a chegada de meu pequeno Gabriel.

A meu pai Carlos Sabino Mota e minha querida mãe Maria de Lourdes.

A minha esposa Edilene Frade, companheira de todos os momentos de minha vida.

A meu querido professor e amigo Marcos Alves de Magalhães, pelo companheirismo, paciência e total apoio neste estudo.

Ao professor Leopoldo Loreto Charmelo pelo apoio de sempre nos momentos necessários.

À Central de Resíduos do Vale do Aço (CRVA) e seus funcionários, administrada pela empresa Vital Engenharia Ambiental, especialmente o senhor Dr. Lélis, gerente de contrato da administradora.

A amiga e sempre prestativa Marleninha e ao chará Manoel, encarregado geral do aterro, aos quais sempre se dispuseram em auxiliar e colaborar com o desenvolvimento deste estudo.

Agradeço ainda com enorme reconhecimento a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pela concessão da bolsa de estudo, proporcionando-me ingressar no meio científico.

Aos colegas de trabalho e demais professores do Centro Universitário de Caratinga (UNEC) e.

À UNEC, especialmente ao Mestrado Profissional em Meio Ambiente e Sustentabilidade e seus funcionários e a todas as pessoas que de alguma forma participaram e/ou colaboraram direta e indiretamente pelo sucesso deste estudo.

## **BIOGRAFIA**

MANUEL GONÇALVES SABINO, nasceu em 28 de agosto de 1980, na cidade de Rio Casca, Estado de Minas Gerais.

Graduou-se em Engenharia Sanitária e Ambiental no ano de 2006, pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste-MG, onde participou de diversas pesquisas científicas, elaborando trabalhos de monitoramento de processos erosivos em encostas urbanas, monitoramento da qualidade da água de recursos hídricos, dentre outros, e finalizou a graduação desenvolvendo a monografia com estudo experimental de leitos de secagem de lodos de estação de tratamento de água, onde criou uma nova configuração do leito de secagem determinando sua melhor eficiência de drenagem com custos mais acessíveis em relação aos leitos de secagem usuais no mercado de trabalho. Tal fato foi comprovado com leitos de secagem pilotos e comparativos.

Especializou-se em Engenharia de Segurança do Trabalho no ano de 2007, também pelo Unileste-MG e iniciou como profissional liberal em consultorias ambientais e sistemas de gestão integrada voltados para as certificações ISO 9001, OHSAS 18001 e ISO 14001.

Em agosto de 2008, após ter realizado diversos cursos de curta duração sobre assuntos relacionados ao aquecimento global, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e Protocolo de Quioto, iniciou-se o mestrado Profissional em Meio Ambiente e Sustentabilidade do Centro Universitário de Caratinga – UNEC, onde pôde aprofundar seus estudos sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

## SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpezas Públicas e Especiais
CEDBS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CER	Certificados de Emissões Reduzidas
CFC	Clorofluorcarbono
COD	Carbono Orgânico Degradável
COD <sub>f</sub>	Carbono Orgânico Dissociado
COP	Conferência das Partes
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPTEC	Centro de Previsão e Estudos Climáticos
CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima
CRVA	Central de Resíduos Vale do Aço
DCP	Documento de Concepção do Projeto
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre
EPI's	Equipamentos de Proteção Individual
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAPEMIG	Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FCM	Fator de Correção de Metano
GEE	Gases de Efeito Estufa
HFC	Hidrofluorcarbono
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PFC	Perfluorcarbono
PMA	Precipitação Média Anual
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIMGE	Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention Climate Change</i>
USEPA	<i>United States Environment Protection Agency</i>



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Distribuição das atividades de projeto de MDL no Brasil por tipo de projeto .....	22
Tabela 2	Valores estimados para FCM de acordo com o tipo de aterro.....	33
Tabela 3	Dados de massa em toneladas dos RSU domiciliares aterrados na CRVA entre setembro/2003 e maio/2009.....	37
Tabela 4	Composição física (% em peso) - base úmida dos RSU aterrados na CRVA.....	39
Tabela 5	Parâmetros da equação de decaimento de primeira ordem.....	40
Tabela 6	Estimativa de emissão de gás metano e gás carbônico equivalente gerado na CRVA entre os anos de 2003 a 2033.....	41
Tabela 7	Estimativa da quantidade de gás metano (CH <sub>4</sub> ) após oxidação pela cobertura (OX) (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> ) .....	42
Tabela 8	Estimativa de CO <sub>2</sub> e (t ano <sup>-1</sup> ) do CH <sub>4</sub> oxidado.....	43
Tabela 9	Estimativa de emissões de redução do gás metano no aterro da CRVA .....	45
Tabela 10	Comparativo de estimativas de emissões de gás metano de alguns aterros sanitários.....	46
Tabela 11	Emissões de redução para o primeiro período de projeto (sete primeiros anos) .....	52
Tabela 12	Emissões de redução para o segundo período de projeto (entre 7 a 14 anos) .....	53
Tabela 13	Emissões de redução para o terceiro período de projeto (entre 14 a 21 anos) .....	53
Tabela 14	Demonstração do metano na fronteira do projeto.....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fases de formação do biogás de aterro .....	9
Figura 2	Roteiro básico das etapas de registro de Projeto de MDL.....	18
Figura 3	Etapas de obtenção de CER após registrado o projeto de MDL.....	19
Figura 4	Participação no Total de Atividades de Projeto no Âmbito do MDL no mundo.....	20
Figura 5	Distribuição das Atividades de Projeto de MDL no Brasil por Escopo Setorial .....	20
Figura 6	Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de gás de efeito estufa reduzido.....	21
Figura 7	Número de projetos de MDL no Brasil por escopo setorial.....	21
Figura 8	Número de atividades de projeto do MDL no Brasil por estado.....	23
Figura 9	Imagem da área da CRVA.....	24
Figura 10	Vista dos drenos instalados no formato “espinha de peixe” para captação de chorume .....	26
Figura 11	Detalhe dos drenos instalados na base do aterro no formato “espinha de peixe” .....	26
Figura 12	Vista parcial da área de entrada da CRVA com guarita, ao fundo prédios administrativos e reservatório elevado de água (julho/2009) .....	29
Figura 13	Balança rodoviária com capacidade para pesar até 60 toneladas.....	30
Figura 14	Aspecto visual da amostra de RSU coletado no Vale do Aço utilizada para ser analisada a composição gravimétrica.....	34
Figura 15	Referencial da distância da Estação Meteorológica e CRVA.....	36
Figura 16	Emissões de gás carbônico equivalente por tonelada de RSU em relação ao tempo de deposição dos resíduos na CRVA.....	47
Figura 17	Oscilação dos valores em Euros (€) para t CO <sub>2</sub> e. entre os meses de maio a setembro de 2009 .....	48
Figura 18	Distribuição dos drenos (pontos amarelos) no atual maciço de resíduos (Março 2009) .....	48
Figura 19	Emissão de biogás após ser queimado na saída do dreno.....	49
Figura 20	Aspecto visual dos drenos de gás do aterro sanitário fixados com material de cobertura .....	50

## RESUMO

SABINO, Manuel Gonçalves, Centro Universitário de Caratinga (UNEC). Agosto 2009. **Avaliação do potencial de implantação de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo na Central de Resíduos do Vale do Aço.** Orientador: D.Sc. Marcos Alves de Magalhães. Co-orientador: D.Sc. Leopoldo Loreto Charmelo.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são produzidos em larga escala nos centros urbanos. Parte destes resíduos é constituída por matéria orgânica biodegradável e é desta fração que também são gerados os gases de efeito estufa (GEE). O gás metano ( $\text{CH}_4$ ) é o segundo maior contribuinte para o aquecimento global, atrás apenas do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), entre as emissões antrópicas de GEE. Neste contexto o presente estudo teve como objetivo geral avaliar o potencial das emissões de gás metano no âmbito do MDL oriundas da decomposição dos RSU dispostos no aterro sanitário da Central de Resíduos do Vale do Aço (CRVA), localizada no município de Santana do Paraíso, inserido na região do Vale do Aço, porção Leste do Estado de Minas Gerais, tendo como municípios atendidos Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timotéo, Santana do Paraíso, Marliéria, Itanhomi e Belo Oriente. Como objetivos específicos foram estimados: a quantidade em toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) gerados no aterro sem a atividade de projeto de MDL; a quantidade em toneladas de  $\text{CO}_2\text{e}$  reduzidas com a implantação de projeto de MDL; a composição gravimétrica dos RSU domésticos dispostos no aterro sanitário da CRVA e descritos os principais impactos ambientais e as fontes e os gases abrangidos pelo limite de um projeto de MDL aplicado na CRVA. Para um total de  $3,141\text{E}+06$  toneladas de RSU aterrados num período de 30 anos de vida útil do aterro sanitário estima-se que haverá emissão de  $6,507\text{E}+04$  toneladas de  $\text{CH}_4$  para o mesmo período de projeto, o que equivale a  $1,366\text{E}+06$  toneladas de  $\text{CO}_2\text{e}$ . As emissões reduzidas com a implantação do projeto são de  $1,366\text{E}+05$  toneladas de  $\text{CO}_2\text{e}$  para a vida útil do aterro sanitário, equivalendo a 136.600 Certificados de Emissões Reduzidas (CER) para negociar no mercado de créditos de carbono. O valor estimado dos equipamentos de coleta e queima de biogás na CRVA é de R\$ 980.000,00. De acordo com a receita estimada adquirida no primeiro período de projeto de MDL (2012-2018), ou seja, em sete anos, o investimento inicial aplicado será totalmente custeado. Conclui-se que há potencial para implantação de projeto de MDL na CRVA, identificando como o principal impacto ambiental negativo a perda de emissões de biogás pela camada de cobertura do aterro, a qual pode ultrapassar os 10%.

**Palavras chave:** resíduos sólidos urbanos (RSU), gases de efeito estufa (GEE), gás metano, mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), certificado de emissões reduzidas (CER).

## ABSTRACT

SABINO, Manuel Gonçalves, Centro Universitário de Caratinga (UNEC). August 2009. **Clean Development Mechanism Evaluation the potential implantation in the Central de Resíduos do Vale do Aço.** Adviser: D.Sc. Marcos Alves de Magalhães. Co-Adviser: D.Sc. Leopoldo Loreto Charmelo.

The urban solid residues (USR) are produced in wide climbs in the urban centers. Part of these residues is constituted by biodegradable organic matter and it is from this fraction that also the greenhouse effect gases are generated greenhouse gas (GHG). The methane gas ( $\text{CH}_4$ ) is the second largest contributory for the global heating, behind just the carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), among the entropic emissions of GHG. In this context the present study had as general objective to evaluate the potential of the emissions of methane gas in the extent of clean development mechanism (CDM) originate a from of the decomposition of USR disposed in of the Central de Resíduos do Vale do Aço (CRVA) landfill, located in the municipal district of Santana do Paraíso, inserted in the area of the Vale do Aço, portion East of Minas Gerais State, having as assisted municipal districts Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timotéo, Santana do Paraíso, Marliéria, Itanhomi and Belo Oriente. As specific objectives were estimated: the amount in tons of equivalent carbon dioxide ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) generated in the landfill without the activity of project of CDM; the amount in tons of reduced  $\text{CO}_2\text{e}$  with the implantation of CDM project; the composition of the domestic USR in the landfill of CRVA and the main environmental impacts described and the sources and the gases included by the limit of a project of applied CDM in CRVA. For a total of  $3,141\text{E}+06$  tons of USR covered with earth in a 30 year of period useful life of the landfill is considered that there will be emission of  $6,507\text{E}+04$  tons of  $\text{CH}_4$  for the same project period, what is equal to  $1,366\text{E}+06$  tons of  $\text{CO}_2\text{e}$ . The reduced emissions with the implantation of the project of  $1,366\text{E}+05$  tons of  $\text{CO}_2\text{e}$  for the useful life of the sanitary embankment, being equal to 136.600 Certificates of Reduced Emissions (CRE) to negotiate at the market of carbon credits. The estimated value of the collection equipments and biogas burning in CRVA is of R\$ 980.000,00. According to agreement the acquired estimate income in the first period of project of CDM (2012-2018), in other words, in seven years, the initial applied investment will be totally financed. It is concluded that there is potential for implantation of the project of CDM in CRVA, identifying as main negative environmental impact the loss of biogas emissions for the layer of landfill covering , which can go over 10%.

**Words key:** urban solid residues (USR), greenhouse gases (GHG), methane gas, clean development mechanism (CDM), certificate of reduced emissions (CRE).

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>BIOGRAFIA</b> .....	vi
<b>SIGLAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....	4
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	7
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
4.1 Descrição da Área de Estudo .....	24
4.2 Descrição do Material e Métodos .....	31
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
5.1 Proposta de Documento de Concepção de Projeto (DCP) para a CRVA .....	50
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	57
<b>7. RECOMENDAÇÕES</b> .....	59
<b>8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	60

## 1. INTRODUÇÃO

A mudança global do clima é um dos mais graves problemas ambientais deste século. No século XX, registrou-se um aumento de cerca de 0,6 °C na temperatura média da Terra, sendo o maior aumento já observado nos últimos 1000 anos (IPCC, 2000). Além disso, no hemisfério Norte, a década de 90 foi a década mais quente, com o ano de 1998 sendo o ano mais quente desses mesmos 1000 anos.

Também conhecido como efeito estufa, o aquecimento global caracteriza-se pelo aumento da temperatura média da terra em um curto espaço de tempo. Segundo previsões, esse aumento de temperatura irá ocasionar grandes mudanças no clima da Terra, e conseqüentemente impactos no meio biológico, social, econômico (IPCC, 2000). Este fenômeno vem sendo causado pela intensificação do efeito estufa, que, por sua vez, está relacionada ao aumento da concentração, na atmosfera da Terra, de determinados gases, principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

O aumento nas emissões de gases de efeito estufa, desequilibrando o ciclo do carbono, se deu junto com a revolução industrial. A partir do século XVIII, o planeta presenciou um grande aumento populacional e uma nova forma de produzir bens para atender esse aumento de demanda. Hoje o petróleo está incrustado na sociedade moderna, sendo considerado um bem essencial para a sobrevivência da humanidade. Junto com o aumento do consumo de combustíveis fósseis veio o aumento de emissões de CO<sub>2</sub> e o conseqüente aumento de suas concentrações na atmosfera. Os países que iniciaram sua industrialização mais cedo, e que hoje possuem uma intensa atividade industrial, são os que mais contribuíram para o aumento do efeito estufa, seja por meio das emissões industriais ou pela geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) A necessidade de aprimoramentos adequados para tratamento e disposição final desses RSU vem sendo cada vez mais discutida no âmbito governamental e científico, procurando atender a este demasiado crescimento que diariamente produz milhares de toneladas de resíduos.

Os RSU são produzidos em larga escala nos centros urbanos, pois o acesso a produtos manufaturados que, atualmente são quase todos descartáveis, é muito grande. Parte destes resíduos é constituída por matéria orgânica biodegradável. No geral, 50% em peso dos RSU produzidos é matéria orgânica putrescível (Leite *et al.*, 2006), e é desta fração que também são

gerados os gases de efeito estufa (GEE) dos RSU em aterros sanitários. A decomposição da matéria orgânica em aterros de RSU resulta na geração de gases que podem vir a afetar o meio ambiente, sendo ela essencialmente anaeróbia, envolvendo complexa interação da atividade física, química e biológica, onde o meio e os micro-organismos são os elementos que governam o processo. O meio anaeróbio tem características especiais que o tornam apropriado ao crescimento e desenvolvimento das espécies bacterianas, capazes de transformar a matéria orgânica em gases e em substâncias mais bio-resistentes (LIMA, 2004).

Segundo Mariano *et al.* (2007), o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) é o segundo maior contribuinte para o aquecimento global, atrás apenas do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) entre as emissões antrópicas de GEE. As emissões de  $\text{CO}_2$  representam 55% dos gases,  $\text{CH}_4$  em torno de 17%, ozônio troposférico 14%,  $\text{N}_2\text{O}$  em torno de 5%, e o restante 9%, formado por clorofluorcarbono (CFC), hidrofluorcarbono (HFC), perfluorcarbono (PFC) e hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ), (IPCC, 1997). O  $\text{CH}_4$  é 21 vezes mais eficiente que  $\text{CO}_2$  no aprisionamento de calor na atmosfera, ou seja, o “poder estufa” do  $\text{CH}_4$  é 21 vezes maior do que o dióxido de carbono (MARIANO *et al.*, 2007), portanto, o Potencial de Aquecimento Global (PAG) do metano tem valor 21 em relação ao valor unitário do  $\text{CO}_2$ , e isto implica dizer que uma tonelada de metano emitida representa 21 toneladas equivalentes de  $\text{CO}_2$  emitidas (IPCC, 1997).

Sabe-se então que a grande maioria dos impactos ambientais do aquecimento global é negativa, trazendo enormes prejuízos para a humanidade. Para tentar solucionar este importante problema ambiental, a Organização das Nações Unidas (ONU) vem debatendo o tema em conferências internacionais. Como resultado destes debates, alguns instrumentos de mercado foram propostos para auxiliar os países industrializados a reduzirem suas emissões de GEE. Dentre estes instrumentos o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é o que se destaca para ser aplicado nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

A partir do Protocolo de Quioto ficou claro que o mercado poderia auxiliar no processo de redução de GEE por meio da proposta de se criar um valor transacionável para essas reduções. A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de  $\text{CO}_2$  deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial por meio da bolsa de valores, criando um atrativo para a implantação de tecnologias modernas com a finalidade de redução dos GEE. As empresas de países desenvolvidos que

não conseguirem reduzir suas emissões poderão comprar dos países em desenvolvimento certificados de emissões reduzidas (CER), e utilizá-los para cumprir suas obrigações perante a ONU. Ao mesmo tempo os países em desenvolvimento utilizam o MDL para promover seu desenvolvimento sustentável.

Neste contexto o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial das emissões de gás metano no âmbito do MDL oriundas da decomposição dos RSU dispostos no aterro sanitário da Central de Resíduos do Vale do Aço (CRVA), empreendimento localizado em Santana do Paraíso, município que está inserido na região do Vale do Aço, porção Leste do Estado de Minas Gerais.

Como objetivos específicos, o estudo propôs obter a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos da CRVA, estimar a massa (t) de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) do aterro sem a atividade de projeto de MDL, estimar as massas de  $\text{CO}_2\text{e}$  reduzidas com a implantação de projeto de MDL, descrever os principais impactos ambientais de um projeto de MDL e propor a preparação de um Documento de Concepção de Projeto (DCP) para a CRVA.



## 2. JUSTIFICATIVA

Organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1992, a Convenção do Clima teve como objetivo a estabilização nas concentrações de GEE na atmosfera num nível que diminuam os riscos ao sistema climático. Para atingir tal objetivo foram estabelecidas responsabilidades comuns para os países do Anexo I (Países industrializados membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), exceto México e Coréia do Sul, além de países industrializados em processo de transição para uma economia de mercado). Desde 1995, os países envolvidos com o MDL têm se reunido para discutir o problema do efeito estufa e tentar encontrar soluções. Tais encontros são denominados Conferência das Partes (COP). Dentre as Conferências das Partes, a COP 3 criou o Protocolo de Quioto, no qual foram estabelecidos mecanismos de flexibilização, entre eles o MDL – artigo 12 do Protocolo de Quioto.

Segundo *United Nations Framework Convention Climate Change (UNFCCC)* (2001), a Conferência das Partes (COP) discute o mercado de créditos de carbono e a COP 3 destaca-se como uma das mais importantes, uma vez que definiu as metas de redução de emissões de GEE para os países que assumem legalmente compromissos de redução nas emissões de GEE. Segundo o Protocolo de Quioto, os países industrializados devem reduzir suas emissões de GEE em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990, durante o período entre 2008 e 2012.

Segundo Rocha (2006), a participação em um projeto de MDL deve ser voluntária, onde as partes interessadas designam uma autoridade nacional que será responsável pela aprovação ou não do projeto de MDL no país hospedeiro. Dentre as diretrizes do projeto é necessário estabelecer a adicionalidade e a linha de base do projeto, além da metodologia de monitoramento que será utilizada para verificar o cumprimento das metas de redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Para auxiliar as partes envolvidas, foi desenvolvido pelo Comitê Executivo do MDL um documento base denominado Documento de Concepção do Projeto (DCP), que deve ser revisado pela entidade operacional designada para sua validação. Depois de validado, o projeto deve ser registrado pelo Conselho Executivo, que é o pré-requisito para a verificação e emissão dos CER relativas a essa atividade de projeto.

A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente, deixada de ser emitida que passa a ser retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento, poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para redução das emissões globais.

Os países que podem realizar projetos de MDL estabelecerão, em seus territórios, metas para redução de CO<sub>2</sub> junto aos principais emissores. As empresas que não conseguirem ou não desejarem reduzir suas emissões poderão comprar as CER em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações. Assim, o país em desenvolvimento deverá utilizar o MDL para garantir seu desenvolvimento sustentável (ROCHA, 2006).

De acordo com o artigo 2 do Protocolo de Quioto, parágrafo 1 (MCT, 2009), cada Parte incluída no Anexo I tem que implementar e/ou aprimorar políticas e medidas de acordo com suas circunstâncias nacionais, sendo uma delas a limitação e/ou redução de emissões de metano por meio de sua recuperação e utilização no tratamento de resíduos, bem como na produção, no transporte e na distribuição de energia, o que justifica e fortalece a iniciativa de empresas públicas e privadas de otimizar a coleta e queima do biogás de aterros sanitários.

Os projetos de MDL estão sendo largamente aplicados em empreendimentos de grande porte, fazendo com que apenas uma pequena parcela participe do mecanismo de flexibilização, e que, conseqüentemente, apenas os grandes empreendimentos tenham acesso ao desenvolvimento sustentável abordado no Protocolo de Quioto. Outro ponto crucial é a efetividade do MDL em prol do desenvolvimento sustentável da sociedade envolvida no projeto, e que a dinâmica econômica acaba por si só eliminando algumas etapas importantes do processo, devido aos interesses econômicos. A aplicabilidade de projetos de MDL vem, então, gerando polêmicas e impasses em todas as esferas da sociedade, dividindo posições entre países, governos, ONGs, sociedade civil, cientistas e o setor privado, o que justifica o estudo das emissões de gás metano na CRVA, podendo ou não proporcionar a viabilidade de se implantar projeto de MDL no aterro sanitário em questão.

Outro ponto que justifica o estudo de emissões de GEE em aterros sanitários para aplicação em projetos de MDL é que o objetivo do mecanismo de desenvolvimento limpo deve ser assistir às Partes não incluídas no Anexo I, no caso o Brasil, para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir às Partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões. Ainda como ponto positivo do projeto é estabelecido pelo MDL que os ganhos econômicos advindos da comercialização dos créditos de carbono serão aplicados em tecnologias modernas de captura e queima do biogás, ponto crucial para o desenvolvimento sustentável da CRVA. Apenas com a rotina de aterramento de resíduos para gerar renda no

aterro sanitário fica inviável economicamente implantar um sistema de captura e queima de biogás no aterro sanitário sem a comercialização de créditos de carbono por meio do mecanismo de desenvolvimento limpo, e, para que seja possível essa comercialização é necessário que seja avaliado o potencial de emissões de GEE na CRVA.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) conceitua resíduos sólidos como sendo resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT NBR 10004, 2004). O Resíduo Sólido Urbano (RSU), ou “lixo” propriamente dito é definido por Lima (2004) como todo e qualquer resíduo que resulte das atividades humanas na sociedade. Segundo Oliveira (1984), os resíduos sólidos são comumente chamados de lixo, sendo os mesmos resultantes das atividades humanas, assumindo a denominação de resíduo quando seu gerador não o considerar com valor para conservá-lo. No Brasil, a denominação de resíduo sólido inclui as descargas de materiais sólidos provenientes das operações industriais, comerciais, agrícolas e das atividades de uma comunidade (FIGUEIREDO, 1995).

Até ser compactado e coberto, o lixo permanece por certo tempo descoberto no aterro, em contato com o ar atmosférico. Neste período já é verificada a presença do biogás, que continuará sendo emitido após a cobertura e encerramento da célula do aterro (ENSINAS, 2003). O metano e o dióxido de carbono são os principais gases procedentes da decomposição anaeróbia dos componentes biodegradáveis dos resíduos orgânicos nos RSU (BRITO FILHO, 2005). O biogás é gerado como resultado de processos físicos, químicos e microbiológicos que ocorrem dentro do resíduo. Os processos microbiológicos governam o processo de geração do gás devido à natureza orgânica da maioria dos resíduos. Estudos de curto prazo feitos em aterros de grande porte, usando dados de testes de produção de biogás, indicam uma amplitude de produção de biogás entre 0,05 e 0,40 m<sup>3</sup> de biogás por quilograma de resíduo do aterro (HAM, 1999). Segundo Buivid (1980), a verificação feita em estudos de laboratório mostrou que ocorria um ligeiro aumento na produção de gás relacionado ao aumento da densidade do resíduo.

Lima (1985), realizando estudos em escala real, pôde verificar a ocorrência do aumento da velocidade no processo de digestão e um acentuado aumento na fração molar do gás metano devido ao aumento na altura da célula de lixo. Células com altura de 5,00 metros, sobrepostas, conseguem produzir gás mais rapidamente do que células isoladas. A experiência realizada na cidade de São Paulo, atenta ao fato das células não ultrapassarem a altura de 2,00 metros, tornando-se insignificante a produção de gás metano, justificando que, quanto maior

for à altura da célula, ou seja, seu grau de adensamento ou compactação, maior será a produção de gás.

De acordo com o Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL, 2008), em aterros sanitários comuns, a produção de metano oscila entre 150 e 250 litros por quilograma de RSU úmido. Segundo Figueiredo (2007), cerca de 100 a 200 m<sup>3</sup> de biogás são produzidos por tonelada de resíduo sólido orgânico digerido. De acordo com Pecora (2006), o biogás é composto tipicamente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40 a 80% de metano.

De acordo com von Sperling (1996) e Chernicharo (1997), o processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em quatro fases que podem ser denominadas de: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, respectivamente. A decomposição dos resíduos sólidos, que está relacionada com a produção de gás em aterros sanitários, pode ser dividida em quatro ou cinco fases, dependendo do autor (EPA, 1997; BIDONE & POVINELLI, 1999; LIMA, 2004).

As diversas fases de formação do biogás de aterro apresentadas na Figura 1 foi adaptado por Ensinas (2003) *apud* TCHONOBANOGLIOUS, THEISEN & VINIL (1993).

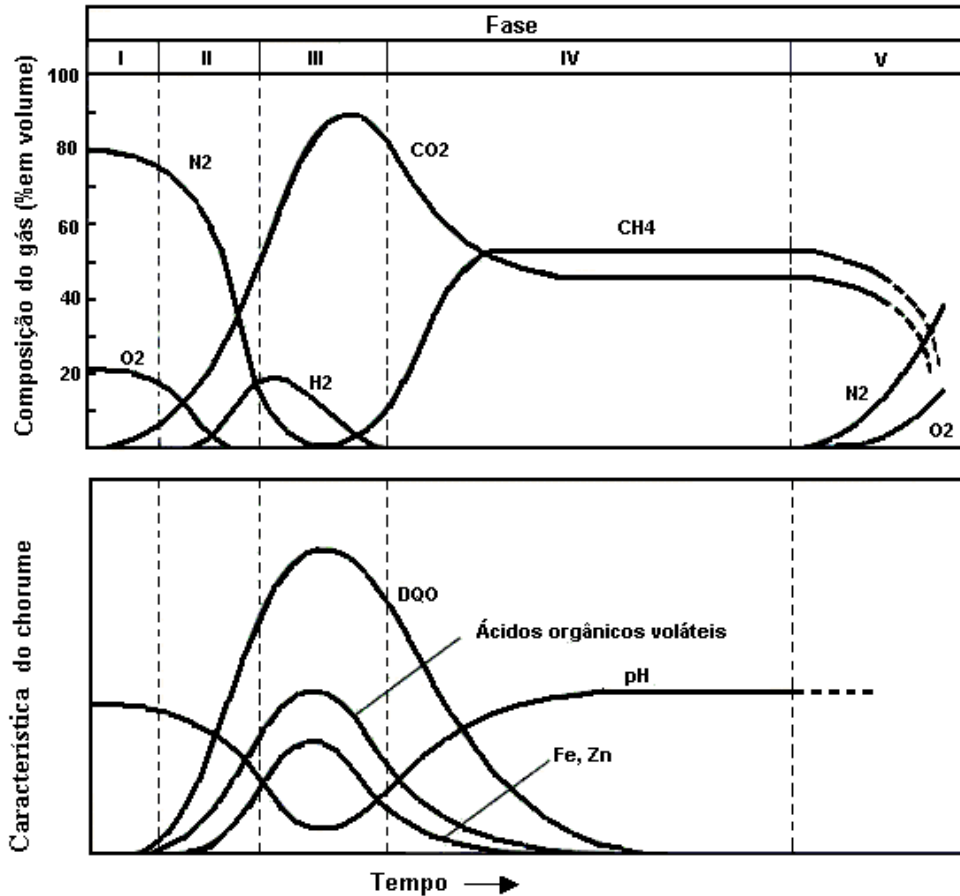


FIGURA 1 - Fases de formação do biogás de aterro  
 Fonte: Adaptado de Ensinas (2003) *apud* Tchobanoglous, Theisen e Vinil (1993)

Fase I (Ajuste inicial): A decomposição biológica da matéria orgânica ocorre principalmente em condições aeróbias, devido à presença de certa quantidade de ar no interior do aterro. A principal fonte de micro-organismos para a decomposição aeróbia e anaeróbia nessa fase é o solo que é usado como material de cobertura para divisão das células do aterro e como camada final.

Fase II (Transição): a quantidade de oxigênio decai e as reações anaeróbias se desenvolvem. Nitratos e sulfatos que podem servir como receptores de elétrons nas reações biológicas de conversão. As reações de redução podem ser monitoradas medindo-se o potencial de óxido-redução do lixo, ocorrendo aproximadamente entre 50 e 100 milivolts para formação de nitratos e sulfatos. A produção do metano ocorre com valores entre -150 a -300 milivolts. Com a continuidade no decréscimo do potencial de óxido-redução, os micro-

organismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono iniciam a conversão do material orgânico complexo em ácidos orgânicos e outros produtos intermediários. Nesta fase, o pH do chorume começa a cair devido à presença de ácidos orgânicos e pelo efeito das elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> dentro do aterro.

Fase III (Ácida): Esta fase é composta por três etapas. As reações iniciadas na fase de transição são aceleradas com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e quantidades menores de gás hidrogênio. A primeira das três etapas do processo envolve transformação enzimática (hidrólise) dos compostos de maior massa molecular (lipídeos, polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos) em compostos apropriados para o uso como fonte de energia pelos micro-organismos. A segunda etapa do processo (acidogênese) envolve a conversão microbiológica dos compostos resultantes da primeira etapa em compostos intermediários com massa molecular menor, como o ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) e pequenas concentrações de outros ácidos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás gerado durante esta fase e os micro-organismos envolvidos nesta conversão, descritos como não-metanogênicos, são constituídos por bactérias anaeróbias estritas e facultativas. As demandas bioquímica (DBO) e química de oxigênio (DQO) e a condutividade do chorume aumentam significativamente durante esta fase, devido à dissolução de ácidos orgânicos no chorume. Também devido ao baixo pH, constituintes inorgânicos como os metais pesados serão solubilizados.

Fase IV (Metanogênica): nesta fase predominam micro-organismos estritamente anaeróbios, denominados metanogênicos, que convertem ácido acético e gás hidrogênio em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. A formação do metano e dos ácidos prossegue simultaneamente, embora a taxa de formação dos ácidos seja reduzida consideravelmente. O pH do chorume nesta fase tende a ser mais básico, na faixa de 6,8 a 8,0.

Fase V (Maturação): Esta fase ocorre após grande quantidade do material orgânico ter sido biodegradado e convertido em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> durante a fase metanogênica. Como a umidade continua a migrar pela massa de lixo, porções de material biodegradável ainda não convertidos acabam reagindo. A taxa de geração do gás diminui consideravelmente, pois a maioria dos nutrientes disponíveis foi consumida nas fases anteriores e os substratos que restam no aterro são de degradação lenta. Dependendo das medidas no fechamento do aterro, pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio podem ser encontradas no gás do aterro.

O processo de digestão anaeróbia, embora seja considerado simplificadamente constituído por duas fases, pode ser dividido em quatro fases principais hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Essas etapas são descritas por von Sperling (1996), Chernicharo (1997) e Lettinga (s/d):

Na fase de hidrólise, a matéria orgânica complexa é convertida em materiais mais simples dissolvidos pela ação de exoenzimas produzidas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas.

Na fase de acidogênese, os produtos solúveis oriundos da fase anterior são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidos em diversos compostos mais simples, os quais são excretados. Os compostos produzidos incluem ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas. Como os ácidos graxos voláteis são os principais produtos do metabolismo das bactérias fermentativas, estas são designadas como bactérias fermentativas acidogênicas. A acidogênese é efetuada por um grande e diverso grupo de bactérias fermentativas, a exemplo das espécies *Clostridium* e *Bacteroids*. As primeiras constituem uma espécie anaeróbia que formam esporos, podendo, dessa forma, sobreviver em ambientes totalmente adversos. As *Bacteroids* encontram-se comumente presentes nos tratos digestivos, participando da degradação de açúcares e aminoácidos. A maioria das bactérias acidogênicas são anaeróbias estritas, mas cerca de 1% consiste de bactérias facultativas que podem oxidar o substrato orgânico por via oxidativa. Isso é particularmente importante, uma vez que as bactérias estritas são protegidas contra a exposição do oxigênio eventualmente presente no meio.

Na fase de acetogênese as bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas, fazendo parte, assim, de um grupo metabólico intermediário. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH caia para valores entre 4 e 6. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados diretamente pelas metanogênicas. Os lixiviados produzidos nessa fase apresentam grande quantidade de matéria orgânica. Têm, portanto, alta demanda bioquímica de oxigênio



(DBO), valor usado para indicar a concentração de matéria orgânica em um dado volume líquido. Nessa fase, tem valores de DBO superiores a  $10 \text{ g L}^{-1}$ . Outro indicador da quantidade de compostos orgânicos em um líquido é a demanda química de oxigênio (DQO). Dividindo-se o valor de DBO pelo de DQO dos lixiviados, obtêm-se valores relativamente altos, geralmente superiores a 0,7.

A metanogênese representa a fase final do processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono, sendo efetuada pelas bactérias metanogênicas. As metanogênicas utilizam somente um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Em função de sua afinidade por substrato e magnitude de produção de metano, as metanogênicas são divididas em dois grupos principais: as acetoclásticas, que utilizam ácido acético ou metanol na produção de metano, e as hidrogenotróficas, que utilizam hidrogênio e dióxido de carbono na formação de metano.

Além das fases descritas, o processo de digestão anaeróbia pode incluir, ainda, outra fase, dependendo da composição química do resíduo a ser tratado. Os resíduos que contenham compostos de enxofre são submetidos à fase de sulfetogênese.

A produção de sulfetos é um processo no qual o sulfato e outros compostos à base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Durante esse processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, por meio da ação de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, denominadas bactérias redutoras de sulfato (BRS). As BRS são capazes de utilizar ampla variedade de substratos, incluindo toda a cadeia de ácidos graxos voláteis, diversos ácidos aromáticos, hidrogênio, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos e vários compostos fenólicos. As BRS dividem-se em dois grupos: as BRS que oxidam seus substratos de forma incompleta até o acetato e as BRS que oxidam os substratos completamente até o gás carbônico. A redução de sulfato pode causar uma série de problemas no tratamento anaeróbio, como a produção de biogás com elevadas concentrações de gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), um gás altamente tóxico, corrosivo e mal cheiroso. Além disso, os sulfetos podem ser fortemente inibidores da metanogênese, diminuem a produção de biogás e exercem alta demanda de oxigênio no efluente.

As condições do aterro, tais como a composição do resíduo, o material de cobertura, o projeto e o estado anaeróbio, determinam a duração das fases e o tempo de geração do gás, que podem ainda variar com as condições climáticas locais (EPE, 2008). O processo de digestão anaeróbia pode ser influenciado por diversos fatores que estão relacionados com o substrato, com as características do local de digestão ou com as condições de operação, dos quais a composição dos resíduos, concentração de sólidos totais (ST), taxa de carga orgânica (TCO) ou taxa de alimentação, pH, temperatura, relação Demanda Química de Oxigênio (DQO) / Sulfato, relação Carbono/Nitrogênio (C/N) são os principais (GONÇALVES, 2007).

Segundo Braber *apud* REICHERT (2005), as principais vantagens da digestão anaeróbia acelerada são o aumento da vida útil dos aterros sanitários e a retirada da fração orgânica dos RSU, que é a fração que resulta em odores desagradáveis e geração de lixiviados de alta carga nos aterros sanitários. Além disso, a digestão anaeróbia permite a coleta de todo o biogás gerado, minimiza a emissão de gases que aumentam o efeito estufa e gera produtos valorizáveis (biogás e composto). As principais desvantagens são a variação na composição dos resíduos, a mistura ineficiente de resíduos e o lodo de esgoto, que podem afetar a eficiência do processo, levando à ocorrência de obstruções de canalização por pedaços maiores de resíduos.

De acordo com Gonçalves (2007), quanto maior a quantidade de resíduos orgânicos depositados no aterro, maior será a quantidade de gás produzido durante a decomposição, e, alguns resíduos degradáveis, tais como pedaços grandes de madeira, que não são inertes, mas se decompõem lentamente, na prática, não contribuem significativamente com a geração de gás. O volume potencial máximo de biogás é dependente da quantidade e do tipo de conteúdo orgânico dentro da massa de RSU, uma vez que os resíduos orgânicos em decomposição é a fonte de todo o biogás produzido (BRITO FILHO, 2005).

Para Barros (1995), qualquer que seja a classificação do resíduo, sua caracterização e o conhecimento de aspectos relativos à sua produção são elementos importantes para o planejamento em todas as suas etapas (coleta, transporte e disposição final).

Nesse contexto, considerando que cada sociedade produz diferentes misturas de resíduos, que varia em função de hábitos e costumes da população, do clima e da estação do ano e das atividades econômicas, haverá implicações em variáveis quantitativas e qualitativas, que devem ser utilizadas no planejamento dos serviços de limpeza pública. A

identificação das características dos resíduos gerados em cada localidade é a primeira etapa para a sua correta administração. Segundo Barros (1995), as principais características dos resíduos sólidos que devem ser considerados são:

- composição gravimétrica: representa o percentual de cada componente em relação à massa total;
- peso específico: é a relação entre a massa do resíduo e o volume ocupado por ele ( $\text{kg m}^{-3}$ );
- teor de umidade: representa a quantidade relativa de água contida na massa do resíduo que varia em função da composição dos resíduos que compõe essa massa, das estações do ano e da incidência de chuvas;
- grau de compactação: indica a redução de volume que a massa de resíduos pode sofrer, ao ser submetida a uma pressão determinada;
- produção “*per capita*”: é a quantidade (em peso) de resíduo que cada pessoa gera num dia, diretamente ligada ao padrão de consumo;
- poder calorífico: é a capacidade potencial de desprender calor sob condições controladas de combustão. Uma massa de resíduos rica em componentes plásticos, por exemplo, tem alto poder calorífico, enquanto que uma massa de resíduos rica em matéria orgânica, úmida, tem baixo poder, necessitando eventualmente, de combustível, auxiliar para ser incinerada;

O controle do teor de umidade e de outros fatores que influenciam a população microbiológica que produz o biogás pode ter um grande impacto na porcentagem do gás de aterro. De acordo com Figueiredo (2007), quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção do biogás.

Brito Filho (2005) diz que a umidade é o fator limitante primordial na taxa de decomposição de resíduo, e as condições de umidade dentro do aterro estão associadas a muitos fatores. Os aterros são tipicamente construídos e enchidos em padrão de camada seqüencial, e isso é importante na compreensão de como a umidade se move para dentro e através do resíduo. Para Gonçalves (2007), a umidade é o fator mais significativo para a taxa de produção de gás, pois, além de favorecer o meio aquoso essencial para o processo de produção de gás, também serve como transporte para os micro-organismos dentro do aterro

sanitário e diz ainda que o teor de umidade depende de outros fatores como composição gravimétrica dos RSU, condições climáticas, práticas de coleta, entre outros. De acordo com o autor, no Brasil, o teor de umidade dos resíduos varia de 40 a 60% e, quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção do gás e de CH<sub>4</sub>, respectivamente, sendo a produção máxima atingida entre 60% e 80% de umidade.

Outro fator preponderante na formação do biogás é a temperatura. Segundo Figueiredo (2007), as condições de temperatura de um aterro influenciam os tipos de bactérias predominantes e o nível de produção de gás, sendo as máximas temperaturas do aterro freqüentemente alcançadas dentro de 45 dias após a disposição dos resíduos, como um resultado da atividade aeróbia microbiológica. Elevadas temperaturas de gás dentro de um aterro são o resultado da atividade biológica. As temperaturas típicas do gás produzido em um aterro variam, tipicamente, entre 30 a 60 °C.

De acordo com Gonçalves (2007), a formação de metano pode ocorrer sob extensa faixa de temperatura, entre 0° e 97 °C, e em ambientes anaeróbios, existindo três faixas ótimas de temperatura: psicofílica (ainda não bem definida); mesofílica (30 a 35 °C) e termofílica (50 a 55 °C). De acordo com Brito Filho (2005), a faixa ótima de temperatura para bactéria mesofílica também é 30 a 35 °C, enquanto que para as bactérias termofílicas é 45 a 65 °C. As termófilas geralmente produzem altas taxas de geração de gás, contudo, a maior parte dos aterros ocorre na faixa das mesófilas.

O potencial hidrogeniônico (pH) tem importância fundamental no processo da decomposição anaeróbia, pois suas variações podem acelerar ou inibir o processo. Em função do pH e da capacidade de crescimento no meio, os microrganismos podem ser classificados em acidofílicos (crescimento ótimo com pH baixo), neutrofílicos (melhor crescimento com pH próximo de 7) e alcalinofílicos (crescimento ótimo com pH alto) (GONÇALVES, 2007). Segundo Bidone & Povinelli (1999) e Lima (2005), a produção de CH<sub>4</sub> é máxima quando o pH situa-se na faixa de 7,0 a 7,2, sendo que, para valores abaixo de 6,0 e superiores 7,6, a atividade microbiana no aterro sanitário pode ser inibida. De acordo com Brito Filho (2005), a faixa de pH ótimo para a maioria das bactérias anaeróbias é 6,7 a 7,5 ou próximo do neutro, e Figueiredo (2007) diz que, dentro da faixa ótima de pH, a produção do metano é maximizada e fora dessa faixa – um pH abaixo de 6 ou acima de 8 a produção de metano fica estritamente limitada. Outros fatores que podem influenciar a taxa de geração de gás são os nutrientes,

bactérias, potencial oxidação-redução, densidade da produção gás, compactação dos resíduos, dimensões do aterro (área e profundidade), operação do aterro e processamento de resíduos variáveis (BRITO FILHO, 2005).

Sendo assim, o biogás gerado em aterros sanitários provenientes da decomposição orgânica dos resíduos aterrados provocam a emissão dos chamados gases de efeito estufa (GEE), os quais são responsáveis pelo efeito estufa e conseqüentemente o aquecimento global. Segundo o Inventário Brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa (2009), os gases que estão sendo estimados no presente Inventário são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), os hidrofluorcarbonos (HFC), os perfluorcarbonos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ). Alguns outros gases, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC), mesmo não sendo gases de efeito estufa direto, possuem influência nas reações químicas que ocorrem na atmosfera também estão sendo contabilizados no inventário. Da mesma forma, não estão sendo incluídos os gases clorofluorcarbonos (CFC) e os hidroclorofluorcarbonos (HCFC), que destroem a camada de ozônio e cujas emissões já são controladas pelo Protocolo de Montreal. De um total de 18.664 Gg de  $\text{CH}_4$  emitidas em 2005, 1.482 Gg de  $\text{CH}_4$ , também para o mesmo período, são originárias do setor de RSU no Brasil (MCT, 2009).

O Protocolo de Quioto então, entre vários outros elementos, traz a possibilidade de utilização de mecanismos de mercado para que os países desenvolvidos possam cumprir os compromissos quantificados de redução e limitação de emissão de gases de efeito estufa. No caso do Brasil, a participação no mencionado mercado ocorre por meio do MDL, por ser o único mecanismo do Protocolo de Quioto que admite a participação voluntária de países em desenvolvimento. De acordo com o Protocolo de Quioto (MCT, 2009), o MDL permite a certificação de projetos de redução de emissões nos países em desenvolvimento e a posterior venda das reduções certificadas de emissões (RCEs), para serem utilizadas pelos países desenvolvidos como modo suplementar para cumprirem suas metas. Esse mecanismo deve implicar em reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima.

O Protocolo de Quioto surgiu da realização da Conferência das Partes (COP) onde foi criado o Grupo *Ad hoc* do Mandato de Berlim, com a missão de definir medidas de consenso sobre os esforços a serem feitos para combater as alterações climáticas. Após extensas negociações, foi possível realizar, em dezembro de 1997, na cidade de Quioto, no Japão, a reunião da COP 3, que culminou com a adesão dos países a um protocolo do UNFCCC, o Protocolo de Quioto. Para os países desenvolvidos e para aqueles em fase de transição para uma economia de mercado (países listados no Anexo 1 da Convenção), o Protocolo estabeleceu um compromisso de redução de emissões totais dos gases geradores do efeito estufa para níveis inferiores em, pelo menos, 5% dos praticados em 1990. O Protocolo definiu também que essa redução ou limitação, que varia de país a país, deverá ser cumprida entre os anos de 2008 e 2012 (o Primeiro Período de Cumprimento do Protocolo de Quioto).

Estabeleceram-se ainda três mecanismos para auxiliar os países do Anexo I a atingirem suas metas nacionais de redução ou limitação de emissões (quantidades atribuídas) a custos mais baixos: um sistema de comércio de emissões, que permite que um país compre de outro cotas de reduções realizadas; Implementação Conjunta (JI), que possibilita que os países realizem juntos projetos de redução de emissões; e o MDL, que permite que os países do Anexo 1 se beneficiem das reduções de emissões realizadas em países em desenvolvimento (países ou partes do não- Anexo 1, sem compromissos de redução de emissão definidos para o Primeiro Período de Cumprimento do Protocolo) (CEBDS, 2009).

Segundo o Protocolo de Quioto (MCT, 2009), o artigo 12 estabelece que:

- O objetivo do MDL é possibilitar que os países do Anexo 1 cumpram seus compromissos, já quantificados, de redução de emissões e, ao mesmo tempo, propiciar que os países menos industrializados (do não-Anexo 1) reduzam emissões e promovam o desenvolvimento sustentável;
- Todas as atividades de MDL deverão obedecer às diretrizes e orientações de um Conselho Executivo, o Executive Board, designado pelos países membros do Protocolo em reunião da COP;
- Os países do não-Anexo I que desenvolverem projetos de MDL que resultem em redução de emissões quantificadas e certificadas poderão comercializá-las para os países do Anexo I, que poderão computar esse volume como abatimento nas suas quantidades de emissões a serem reduzidas;

- A redução de emissões quantificadas, resultante de projetos de MDL, deverá ser certificada por entidades operacionais independentes, designadas como certificadoras pela reunião da COP, que deverá também definir todos os procedimentos de auditorias de verificações para assegurar a transparência e a prestação de contas dos projetos;
- Os projetos de MDL e a aquisição dos Certificados de Emissões Reduzidas (CERs) podem envolver entidades privadas ou públicas.

As etapas para registro de um projeto de MDL pode ser visualizado na Figura 2.

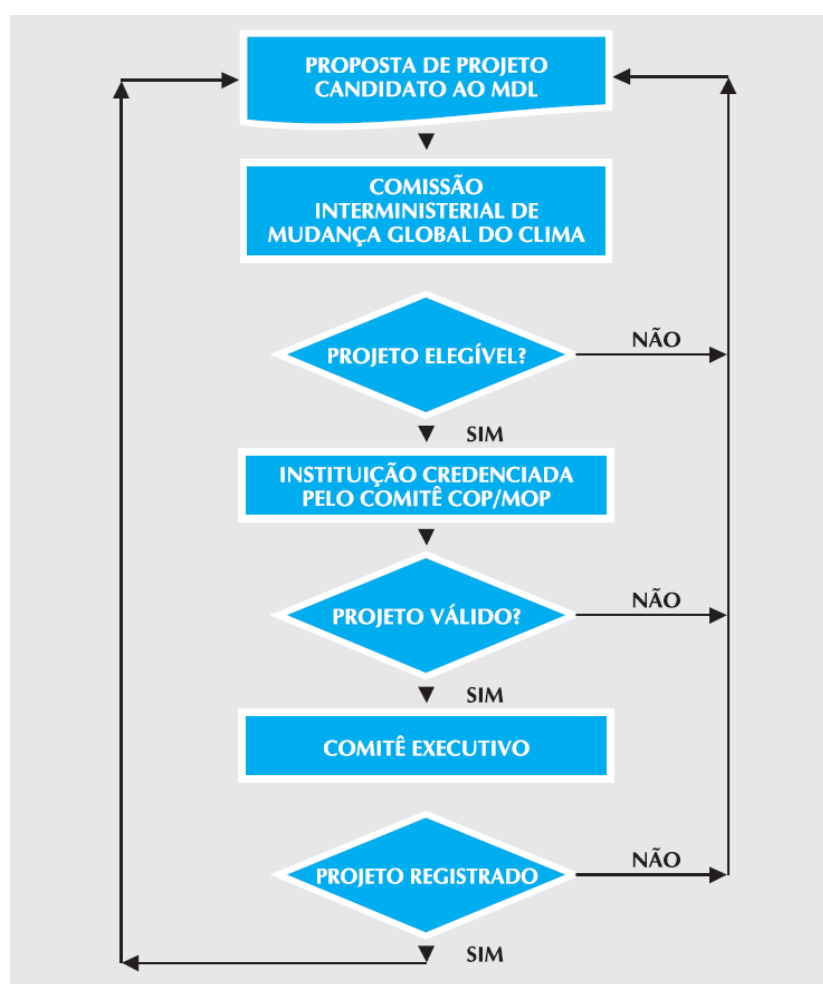


Figura 2 – Roteiro básico das etapas de registro de Projeto de MDL  
 Fonte: CEBDS (2009)

De acordo com a Convenção - Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima - CQNUMC (2010), uma atividade de projeto entra no sistema do MDL quando o seu

documento de concepção de projeto (DCP) correspondente é submetido para validação a uma Entidade Operacional Designada (EOD). Ao completar o ciclo de validação, aprovação e registro, a atividade registrada torna-se efetivamente uma atividade de projeto no âmbito do MDL. Portanto, para ser uma atividade de projeto de MDL o projeto precisa, além de ser registrado como apresentado na Figura 2, ser também verificado e certificado, como ilustra a Figura 3.

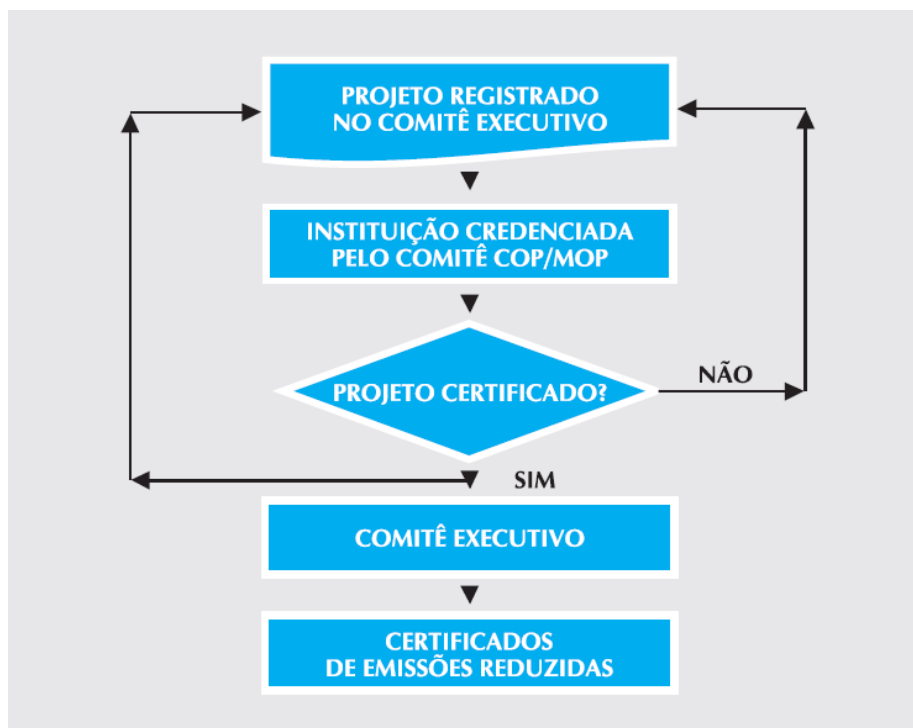


Figura 3 –Etapas de obtenção de CER após registrado o projeto de MDL  
Fonte: CEBDS (2009)

A Figura 4 mostra o status das atividades de projeto em estágio de validação, aprovação e registro. Um total de 5740 projetos encontrava-se em alguma fase do ciclo de projetos do MDL, sendo 2.008 já registrados pelo Conselho Executivo do MDL e 3.732 em outras fases do ciclo.



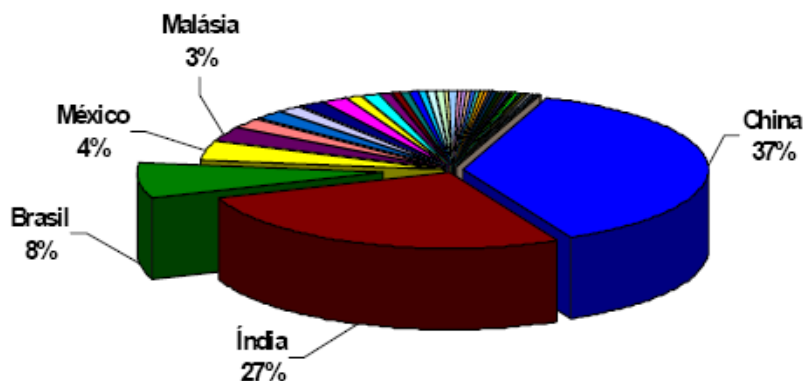


Figura 4 - Participação no Total de Atividades de Projeto no Âmbito do MDL no mundo  
 Fonte: CQNUMC (2010)

Como pode ser verificado na Figura 4, o Brasil ocupa o 3º lugar em número de atividades de projeto, com 438 projetos (8%), sendo que em primeiro lugar encontra-se a China com 2136 (37%) e, em segundo, a Índia com 1524 projetos (27%).

De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil de 2007 divulgada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpezas Públicas e Especiais (ABRELPE, 2007), a distribuição por Escopo Setorial das Atividades de Projeto de MDL no Brasil, o setor de geração elétrica representa a atividade que concentra a maioria dos projetos, correspondendo a 60%, porém os projetos relativos ao setor de aterros sanitários já têm uma participação correspondente a 11%, conforme pode ser observado na Figura 5.

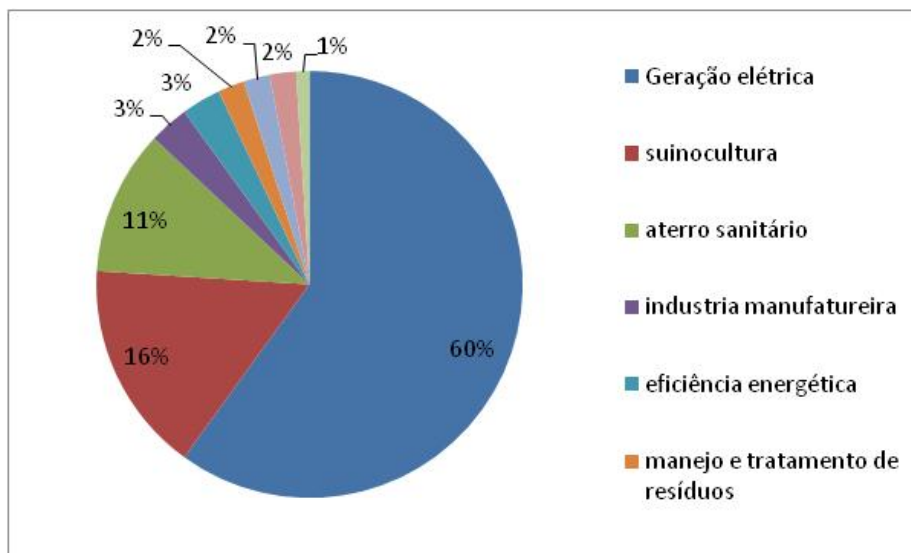


Figura 5 - Distribuição das Atividades de Projeto de MDL no Brasil por Escopo Setorial.  
 Fonte: ABRELPE (2007)

Segundo a CQNUMC (2010), os projetos por tipo de gás que mais atraem projetos de MDL, no que se refere à redução das emissões de gases de efeito estufa são os de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) seguidos pelo metano (CH<sub>4</sub>) e pelo óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), conforme ilustra a Figura 6.

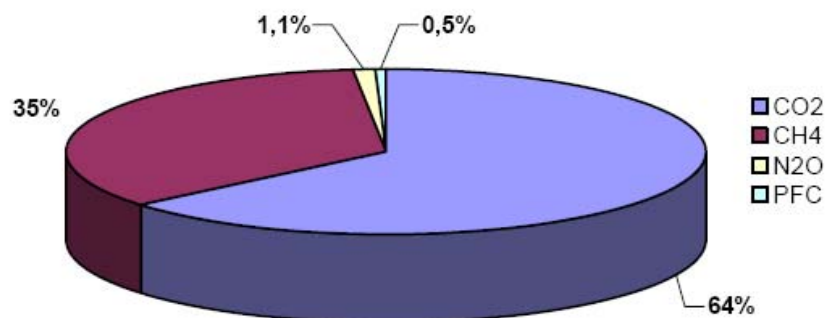


Figura 6 - Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de gás de efeito estufa reduzido  
Fonte: CQNUMC (2010)

A maior parte das atividades de projeto desenvolvidas no Brasil está no setor energético, o que explica a predominância do CO<sub>2</sub> na balança de reduções de emissões brasileiras (Figura 7).

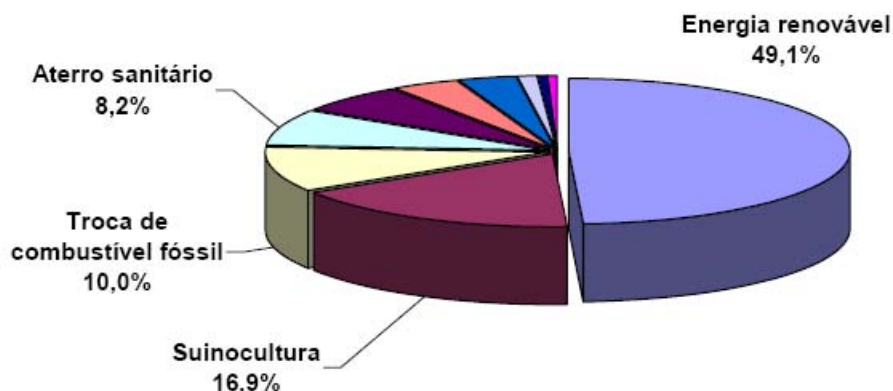


Figura 7 – Número de projetos de MDL no Brasil por escopo setorial.  
Fonte: CQNUMC (2010)

A maioria das atividades de projeto de MDL desenvolvidos no Brasil são desenvolvidos na área de geração de energia e suinocultura, representando 66% do total.

A distribuição das atividades de projeto em validação/aprovação no Brasil, o número de projetos, a redução anual de emissão e a redução de emissão no 1º período de obtenção de crédito está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de projeto

Projetos em validação/aprovação	número de projetos		redução anual de emissão		redução de emissão no 1º período de obtenção de crédito	
	t CO <sub>2</sub> e	%	t CO <sub>2</sub> e	%	t CO <sub>2</sub> e	%
Energia renovável	215	49,10	18.164.438	38,10	133.159.388	35,40
Aterro Sanitário	36	8,20	11.327.606	23,80	84.210.095	22,40
Redução de N <sub>2</sub> O	5	1,10	6.373.896	13,40	44.617.272	11,90
Suinocultura	74	16,90	4.140.069	8,70	38.617.535	10,30
Troca de combustível fóssil	44	10,00	3.271.516	6,90	27.382.490	7,30
Eficiência Energética	28	6,40	2.027.173	4,30	19.853.258	5,30
Reflorestamento	2	0,50	434.438	0,90	13.033.140	3,50
Processos industriais	14	3,20	1.002.940	2,10	7.449.083	2,00
Resíduos	17	3,90	646.833	1,40	5.002.110	1,30
Emissões fugitivas	3	0,70	269.181	0,60	2.564.802	0,70

Fonte: Adaptado de CQNUMC (2010)

Apesar dos aterros sanitários representam apenas 8,2 % dos projetos de MDL e a suinocultura 16,9% a redução anual de emissão de CO<sub>2</sub>e dos aterros é quase três vezes maior do que a suinocultura, respectivamente, 23,80 e 8,70%.

O Estado de Minas Gerais ocupa posição de destaque em quantidade de atividades de projeto de MDL no Brasil (Figura 8), prevalecendo a região sudeste com maior número de atividades de projeto.

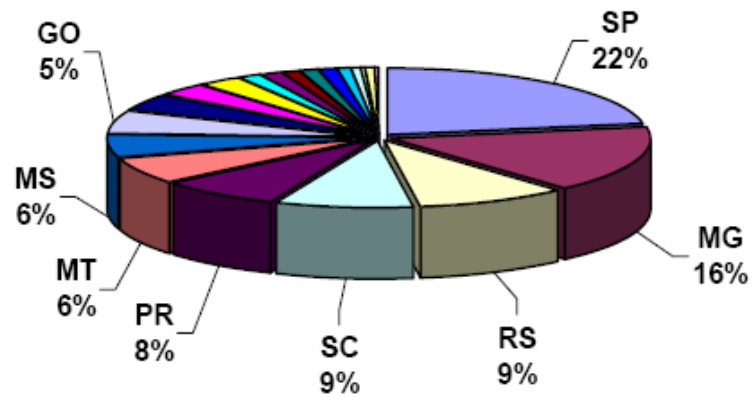


Figura 8 – Número de atividades de projeto do MDL no Brasil por estado.  
 Fonte: CQNUMC (2010)

Os escopos que mais reduzirão emissões de CO<sub>2</sub>e segundo a tabela 1 são os de energia renovável, aterro sanitário e redução de N<sub>2</sub>O, totalizando 70% do total de emissões de CO<sub>2</sub>e a serem reduzidas no primeiro período de obtenção de créditos. Esses três setores apresentam um potencial de redução de emissões de 261.986.755 tCO<sub>2</sub>e durante o primeiro período de obtenção de créditos (CQNUMC, 2010).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Descrição da Área de Estudo

O trabalho de pesquisa desenvolveu-se no aterro sanitário da CRVA (Figura 9) localizado no município de Santana do Paraíso, margem direita da rodovia BR 381 no sentido Ipatinga / Governador Valadares, na mesorregião do Vale do Aço, região leste do Estado de Minas Gerais, tendo como municípios atendidos Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timotéo, Santana do Paraíso, Marliéria, Itanhomi e Belo Oriente.



Figura 9 - imagem da área de aterro da CRVA

Fonte: [www.google.com.br](http://www.google.com.br) (Imagem 14 de junho de 2008. Acessado em 20 de maio de 2009).

Esse empreendimento dista aproximadamente 250 km de Belo Horizonte e atende a uma população estimada em 400.000 habitantes, tendo Ipatinga como pólo regional.

A CRVA é um empreendimento da Construtora Queiroz Galvão S/A e foi construída para atender a demanda por destinação final dos resíduos sólidos urbanos da região do Vale do Aço. Inicialmente estava previsto apenas o atendimento dos municípios de Santana do Paraíso

e Ipatinga. A construtora apresentou o projeto técnico para implantação do aterro sanitário e pátio de compostagem com vida útil estimada em 30 anos, cuja Licença de Instalação foi concedida em 14 de junho de 2002.

A CRVA cuja área é de 44,38 ha, localiza-se a cerca de 2 Km do conglomerado urbano mais próximo, o bairro Águas Claras do município de Santana do Paraíso.

De acordo com informações do empreendedor o aterro sanitário implantado constitui-se da 1ª plataforma, com capacidade volumétrica de 156.000 m<sup>3</sup> de RSU domiciliar e 125.000 m<sup>3</sup> de material inerte.

Também foi informado que o liner de impermeabilização da base do aterro foi implantado entre as cotas 230 e 255, nas curvas de nível reestruturadas, cobrindo toda a área onde haverá contato com os resíduos domésticos. A base impermeabilizante foi executada com uma camada de argila compactada com coeficiente de permeabilidade  $k = 1 \times 10^{-6} \text{ cm s}^{-1}$  e espessura de 60 cm, geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidade) com espessura de 1,5 mm e uma camada de material argiloso compactado de 40 cm para proteção da geomembrana.

O sistema de aterramento diário dos resíduos na CRVA é executado pelo método de rampa, utilizando-se trator de esteira equipado com lâminas, com peso operacional  $\geq 16\text{t}$ . Os resíduos, após serem descarregados na frente de serviço, são compactados na face do talude (1:3 = V:H) em sentido ascendente, de modo que o trator execute entre 4 a 6 passadas, até atingir a densidade de  $1 \text{ t m}^{-3}$ . Ao final de cada dia é efetuada a cobertura dos resíduos com uma camada de solo de aproximadamente 20 cm de espessura. Atualmente não ocorre triagem dos RSU para realização de compostagem.

O sistema de drenagem do percolado implantado sobre a base da 1ª plataforma é formado por uma rede tipo espinha de peixe constituída por um dreno principal com seção elipsoidal de 0,50 x 0,50m, preenchido com brita nº 4 e tubo perfurado de PEAD com diâmetro de 3", envolvido em geossintético e protegido por duas camadas preenchidas com rachão e brita nº 4 de cerca de 0,20m cada.. Os ramais secundários apresentam seção de 0,50 x 0,50m, sendo preenchidos com brita nº 4, sem tubo coletor. O dreno principal é direcionado para um tanque de armazenamento de fibra de vidro com capacidade de 10.000 litros, instalado a jusante da primeira plataforma (Figuras 10 e 11).





Figura 10 – Vista dos drenos instalados no formato “espinha de peixe” para captação de chorume.  
Fonte: CRVA (acervo fotográfico) / 2003



Figura 11 – Detalhe dos drenos instalados na base do aterro no formato “espinha de peixe”.  
Fonte: CRVA (acervo fotográfico) / 2003

O sistema de tratamento de chorume proposto na Licença de Instalação da CRVA não foi implantado devido a um acordo firmado entre a Construtora Queiroz Galvão gestora da CRVA e a COPASA. Com a autorização do órgão de fiscalização ambiental do estado, a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), ficou definido que os efluentes gerados na CRVA serão enviados para a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do município de Ipatinga, operada pela COPASA. A ETE localiza-se na BR 458, a cerca de 12 Km do aterro em questão. Dessa forma, a cada dois dias ou quando se fizer necessário, o percolado do aterro e do pátio de compostagem são bombeados dos tanques de armazenamento, executados em fibra de vidro, para um caminhão pipa totalmente estanque e, em seguida, transportado para a ETE. Em contra-partida, a CRVA recebe o lodo desidratado produzido na ETE.

O sistema de drenagem superficial consiste de sarjetas e canaletas de concreto pré-moldadas implantadas nas vias de acesso, no entorno do pátio de compostagem e nas unidades de administração, além de um sistema provisório constituído por canais naturais escavados a montante da primeira plataforma do aterro, cuja locação será progressivamente modificada a medida que o aterro avance pela encosta. Tais canaletas encontram-se interligadas ao sistema de lançamento principal, direcionado para o córrego Águas Claras. Ressalta-se, conforme projeto executivo aprovado na LI, que deve ser implantada a bacia de sedimentação em gabião localizada a jusante do aterro sanitário, para amortecimento da drenagem e posterior direcionamento às estruturas de lançamento final na drenagem natural, junto ao córrego Águas Claras.

Para a drenagem de gases foi implantado um sistema de drenos verticais em brita, interligados na base aos drenos horizontais do percolado, a ser executado progressivamente, desde a base até o topo do aterro. Para proteção da camada impermeabilizante e distribuição da carga vertical desses drenos, foram implantadas lajes de concreto na base dos mesmos. Com a conclusão de cada plataforma, foram também instalados queimadores de gás removíveis na extremidade superior dos drenos verticais. A queima dos gases é iniciada imediatamente após o início da operação, de forma a evitar que os gases emitidos pelo aterro contaminem a atmosfera e causem danos à saúde dos funcionários.

A CRVA conta ainda com disposição adequada para resíduos dos serviços de saúde (RSS); sistemas de drenagem pluvial, de líquidos percolados e de biogás; além de elementos de infra-estrutura e apoio aos funcionários. Os resíduos de serviços de saúde são tratados em



autoclave abastecida por caldeira onde é realizada a desinfecção micro-bacteriana nível IV. Após o tratamento os RSS deixam de ser infectantes de acordo com a classificação estabelecida pela RDC 306/ANVISA e passam a ser resíduos classe IIA e/ou IIB, possibilitando a disposição em aterro sanitário.

O projeto paisagístico da unidade, aprovado pela FEAM encontra-se implantado e consiste de jardins, bosque, arborização na área do estacionamento, cercas vivas, cinturão verde, bem como cobertura vegetal em gramíneas nos taludes e aterros. Foi proposto pelo órgão ambiental estadual, a FEAM, a implantação de um Plano de Recomposição da Flora, para recuperar áreas do entorno do aterro sanitário, pertencentes à CRVA, cujas ações visam a reversão do plantio existente em eucalipto por uma floresta nativa autóctone, além do plantio de espécimes arbóreas nativas e o manejo em outras áreas do entorno. Para executar tais proposições, o empreendedor dividiu a área do entorno, equivalente a 18 ha, em quatro etapas a serem realizadas a cada cinco anos.

O plano de monitoramento da CRVA consiste de inspeções, medições e ensaios de laboratório que são realizados sistematicamente ao longo de toda a vida útil do aterro. São monitorados a qualidade das águas superficiais e subterrâneas; os líquidos percolados; a manta líquida; os recalques; os gases emanados; a qualidade do ar; o composto orgânico e a saúde dos trabalhadores.

Como medida compensatória pelos impactos decorrentes da implantação do empreendimento em questão, a Construtora Queiroz Galvão, em atendimento a condicionantes estabelecidas no processo de licenciamento ambiental, apresentou proposta de apoio à APA do município de Santana do Paraíso e se comprometeu a elaborar o Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (PGRS) desse município, conforme descrito anteriormente.

De acordo com as informações contidas no EIA/RIMA as licenças do empreendimento foram concedidas nas seguintes datas:

14/06/02 Licença de Instalação – LI

26/02/03 – emitida a Orientação Básica para a Licença de Operação - LO

17/03/03 – formalizada a solicitação da LO

22/05/03 – realizada vistoria ao local

29/05/03 – enviado o ofício a Divisão de Saneamento (DISAN) Nº 285/2003 solicitando informações complementares e o atendimento das condicionantes pendentes da LI

06/06/03 – protocolada parte das informações solicitadas

07/07/03 – enviado o ofício DISAN N° 375/2003 solicitando informações pendentes

10/07/03 – realizada reunião com a Prefeitura de Santana do Paraíso, município sede da  
CRVA

11/07/03 – realizada reunião com o empreendedor

14/07/03 – protocoladas as informações pendentes

As unidades de apoio administrativo e operacional (Figura 12) ocupam dois prédios, com acessos independentes, que abrigam escritórios, ambulatório, copa, refeitório, área de lazer e instalações sanitárias.



Figura 12 – Vista parcial da área de entrada da CRVA com guarita, ao fundo prédios administrativos e reservatório elevado de água (julho/2009).

O microcomputador encontra-se interligado à balança eletrônica para o controle do fluxo de resíduos destinados à CRVA. Também no escritório administrativo possui um sistema informatizado com comunicação remota. Em frente aos prédios administrativos está localizado o galpão da oficina mecânica, com instalações para ferramentaria, borracharia, solda, mecânica, rampa de lubrificação e, no segundo pavimento, os vestiários feminino e masculino. A guarita foi construída adjacente à balança do tipo rodoviário com capacidade

para até 60 toneladas, possuindo uma instalação sanitária independente das demais unidades (Figura 13).



Figura 13: balança rodoviária com capacidade para pesar até 60 toneladas.

O local de lavação dos veículos foi construído próximo ao galpão da oficina mecânica e possui sistema de drenagem dos efluentes direcionado para uma caixa separadora de óleos e graxas, com bacia de contenção, localizada ao lado do tanque de combustível.

Para o abastecimento de água da unidade foi perfurado um poço com 100 m de profundidade e instalado um reservatório elevado em chapa metálica, com capacidade para armazenamento de 25.000 litros.

Para os esgotos sanitários provenientes das instalações de apoio foi construído um poço de acumulação, cujos efluentes serão encaminhados para tratamento na ETE da COPASA.

Para o suprimento de energia elétrica foi implantada uma rede trifásica, que atende aos circuitos de iluminação, ar condicionado, tomadas de força, aparelhos elétricos de oficina mecânica, eletrodomésticos do refeitório e bombas para elevação do efluente. O sistema de comunicação é feito por telefonia fixa.

O sistema viário recebeu pavimentação asfáltica, sendo que a via de acesso à primeira plataforma foi revestida com escória. O trevo de acesso na BR 381 foi executado conforme projeto aprovado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DNIT), com faixas

de acostamento nos dois sentidos da rodovia, além de pistas de aceleração e desaceleração. O referido trevo, bem como as vias internas encontram-se sinalizados. Ao longo da vida útil do aterro sanitário, progressivas derivações das vias internas são feitas, de modo a permitir o acesso de veículos coletores à base do aterro em cada fase.

#### 4.2 Descrição do Material e Métodos

Inicialmente foi feito contato com a administração da CRVA que gerencia o aterro sanitário e durante o encontro foram informados os objetivos da pesquisa e solicitado apoio para realização do trabalho. A metodologia adotada neste estudo para estimar a geração de gás metano no biogás gerado na decomposição dos resíduos aterrados na Central de Resíduos do Vale do Aço (CRVA) é mundialmente utilizada, e comumente aplicada na elaboração de projetos de MDL inscritos na ONU. A USEPA (2001) indica o Método de Decaimento de Primeira Ordem para estimativas de emissões de gases em aterros sanitários, equação 1, cuja origem é baseada em estudos de modelos matemáticos da EPA.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n C_0 P_i (e^{-kti}) \quad \text{equação 1}$$

Onde,

$Q_{CH_4}$  = geração anual do metano no ano de cálculo ( $m^3 \text{ ano}^{-1}$ )

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

$C_0$  = capacidade potencial da geração de metano ( $m^3 t^{-1}$ )

$P_i$  = peso do lixo no ano  $i$  (t)

$t_i$  = idade do lixo no ano  $i$  (ano)

$n$  = tempo de vida útil do aterro

Tal modelo matemático supõe um intervalo de tempo de um ano entre a deposição dos resíduos e a geração de biogás. Após um ano, o modelo prevê que a geração de biogás decresça exponencialmente à medida que é consumida a fração orgânica do resíduo (SCS ENGINEERS, 2005).

Estabeleceram-se os parâmetros necessários a serem aplicados na equação de decaimento de primeira ordem e foi determinada a estimativa das emissões de gás metano na

CRVA. Como instrumento principal de pesquisa foram utilizados os dados de geração de RSU da região metropolitana do Vale do Aço, área de abrangência da CRVA.

Os dados foram tratados em planilhas do *Microsoft Excell* e, em seguida, foram elaborados gráficos e tabelas das emissões estimadas de gás metano.

Dados técnicos referentes a caracterizações físicas dos resíduos sólidos foram obtidos por meio do acervo técnico disponível na CRVA, bem como as plantas e projetos do empreendimento, dados censitários, características da área de disposição de resíduos, sistema de drenagem de percolados, dentre outros dados necessários para desenvolver a dissertação.

A quantidade de resíduos depositados no aterro da CRVA foi obtida utilizando o banco de dados da central de resíduos em estudo, em que todo resíduo que adentra no aterro é registrado em balança específica. Os dados são armazenados no sistema informatizado do aterro e tratados em tabelas do excel na forma de quantitativo mensal de resíduos na unidade tonelada . Foi utilizado quantitativo para a estimativa de emissões desde o início de operação do aterro, datada de setembro de 2003 até o mês de maio de 2009. A partir desta data foi utilizado para estimar as emissões de gás metano até a data de vida útil prevista em projeto os dados da projeção de resíduos da CRVA, que englobam os anos entre 2009 e 2032.

O potencial de geração de metano do resíduo aterrado no aterro da CRVA foi obtido através da equação 2 (IPCC, 1996).

$$C_0 = FCM * COD * COD_f * F * 16/12 \quad \text{equação 2}$$

Onde,

$C_0$  = potencial de geração de metano do resíduo (t de  $CH_4$  / t de resíduo);

FCM = fator de correção de metano;

COD = carbono orgânico degradável (t de C/ t resíduo);

$COD_f$  = fração de COD dissociada;

F = fração em volume de metano no biogás;

(16/12) = fator de conversão de carbono em metano (t de  $CH_4$ / t de C).

A fração de gás metano existente no biogás gerado no aterro da CRVA foi estimada utilizando-se recomendações do IPCC (2006).

O FCM é determinado em função da operação do aterro, ou seja, de acordo com o gerenciamento da disposição dos resíduos, observando critérios de disposição e formação de

células, principalmente no que concerne da cobertura dos resíduos diariamente e da compactação da argila para formar a camada de cobertura. Os valores estimados para FCM são descritos pelo IPCC (2006), de acordo com o tipo de aterro (Tabela 2).

Tabela 2: Valores estimados para FCM de acordo com o tipo de aterro

Tipo do aterro	Valores estimados para FCM
Sanitário	1,0
Controlado	0,5
sem gestão com células > 5 m	0,8
sem gestão com células < 5 m	0,4
sem categoria (lixão)	0,6

Fonte: IPCC (2006)

Para o cálculo do carbono orgânico degradável (COD), foram coletadas amostras de RSU de Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timóteo, Santana de Paraíso, Itanhomi, Marliéria e Belo Oriente, municípios que descartam os resíduos na CRVA. Nesse cálculo, considerou-se a composição gravimétrica dos resíduos aterrados na área de abrangência do aterro sanitário da CRVA. A CRVA não apenas autorizou a pesquisa nas suas instalações como liberou as amostras de RSU para avaliação, sendo autorizado o pesquisador deslocar-se, no caminhão coletor, em todos os setores onde o serviço da coleta é realizado. O serviço de coleta é realizado diariamente em todas as zonas urbanas dos municípios supracitados, atendendo a toda a população urbana.

Para a análise da composição gravimétrica dos RSU, levou-se em consideração a concentração populacional e a fonte geradora (residencial, comercial/residencial). Os resíduos foram avaliados no pátio de compostagem da CRVA (Figura 14), numa área limpa, nivelada e de fácil acesso, utilizando amostras coletados no mês de maio de 2009.



Figura 14 - Aspecto visual de uma amostra de RSU coletado no Vale do Aço, utilizada para avaliação da composição gravimétrica

A amostra de resíduos foi revolvida e homogeneizada manualmente, tomando-se o cuidado para não haver a compactação do material.

Em seguida procedeu-se o quartejamento, isto é, os resíduos foram divididos em quatro quadrantes e em seguida escolheu-se, aleatoriamente, dois quadrantes representativos (com volume aproximadamente de  $1\text{m}^3$  cada), desprezando-se duas partes (vis-à-vis).

Os resíduos dos quadrantes selecionados foram retirados, manualmente, sendo os sacos onde estavam acondicionados os resíduos rompidos, também manualmente ou com ajuda de material cortante, que, em seguida os resíduos foram segregados por tipo.

A caracterização física foi feita por uma equipe composta de sete pessoas, todos usando EPI's - Equipamentos de Proteção Individual (luva, máscara e bota). Os resíduos segregados foram divididos nas seguintes frações: papel, papelão, metais ferrosos, metais não ferrosos (alumínio), plástico (filme, duro, PET), vidro, matéria orgânica (resto de frutas, comida, verduras, folhas, gramas, aparas de poda) e rejeitos (fraldas descartáveis, trapos, ossos, madeira, pedras, cerâmica e materiais de difícil classificação).

Cada material segregado foi acondicionado em diferentes tonéis, todos previamente numerados e com taras conhecidas e, em seguida, pesados em uma balança com capacidade máxima de 150 kg. Os dados das pesagens foram tabulados em planilha específica,

determinando-se as porcentagens sobre o peso a que corresponde cada uma dessas frações constituintes da massa de resíduos e posteriormente fez-se a percentagem em peso (massa fresca), sendo este dado importante para futuras comparações.

O COD foi determinado de acordo com IPCC (1996) usando a equação 3.

$$\text{COD} = ( 0,4 \times A ) + ( 0,16 \times B ) + ( 0,3 \times C ) \quad \text{equação 3}$$

Onde,

A = Papel, papelão e tecidos;

B = Orgânicos e resíduos alimentares;

C = Madeira.

A estimativa da fração de  $\text{COD}_f$  foi baseada em documentos de concepção de projetos de MDL desenvolvidos no Brasil, e tem como referência a temperatura da zona anaeróbia do aterro. (VEGA, 2005; SCS ENGINEERS, 2005; GONÇALVES, 2007).

Para determinação do parâmetro constante de decaimento ( $k$ ) do aterro sanitário da CRVA foi necessário aquisição comprobatória de dados pluviométricos e temperatura atmosférica. A constante de decaimento é função de fatores como disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura e, principalmente, umidade dos resíduos. O método adotado na pesquisa em questão foi o sugerido por USEPA (2006), que relaciona a taxa de degradação dos resíduos sólidos de acordo com o tipo de resíduo disposto.

A Temperatura Média Anual (TMA) e a Precipitação Média Anual (PMA) foram determinadas com base nos dados obtidos na estação meteorológica de Ipatinga código 32507, coordenada pelo Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais (SIMGE). Foi considerada a temperatura média do ar registrada entre os anos de 1998 e 2006 para fins de estimar os GEE da CRVA.

A estação meteorológica 32507 situa-se nas coordenadas Latitude 19,4722 °C Sul, Longitude 42,5264 °C Oeste e Altitude 305 metros na bacia do rio Doce e dista 3,42 km da CRVA (Figura 15).



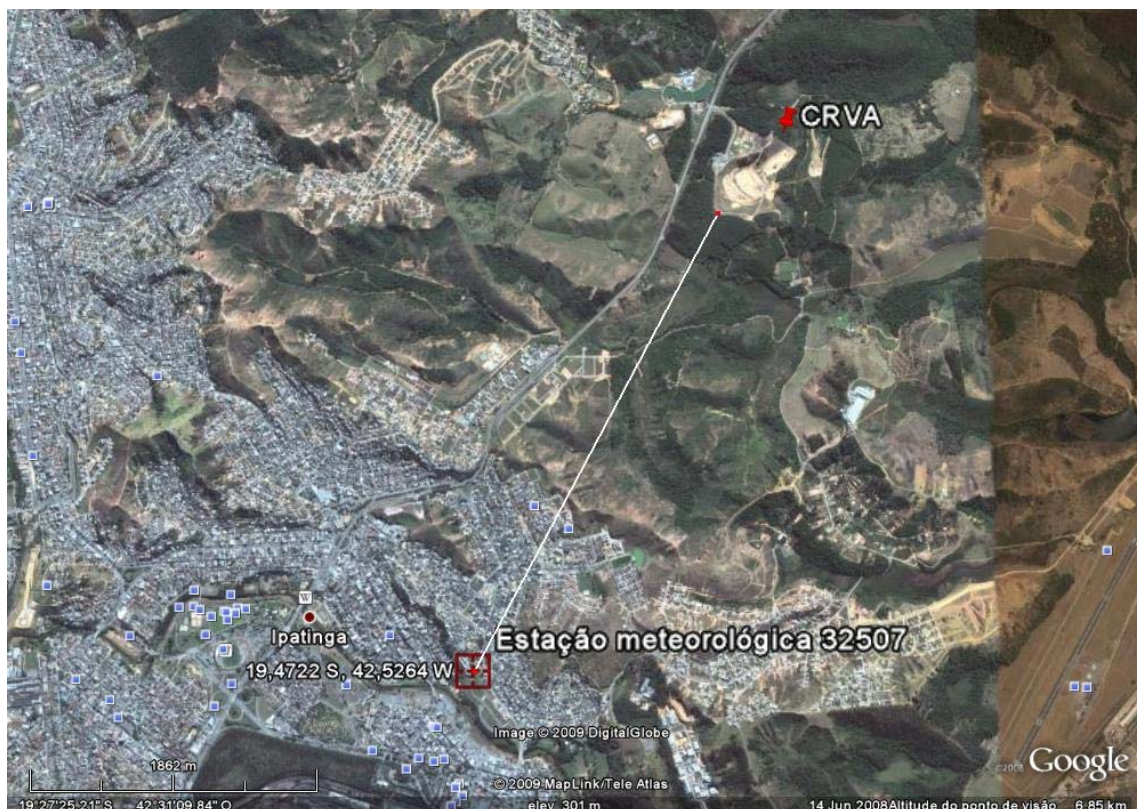


Figura 15 – Referencial da distância da Estação Meteorológica e CRVA  
Fonte: [www.google.com.br](http://www.google.com.br) (imagem 14/06/2008. Acessado em 20/05/2009)

A TMA do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) foi determinada por meio dos dados de temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), promediada a partir das 08 observações diárias, se a variável  $\text{TM} = \text{nulo}$ . Se a variável  $\text{TM} = 1$ , a média foi avaliada a partir das temperaturas máxima e mínima absolutas. Para a precipitação acumulada no mês, em mm, o acumulador é inicializado no último dia do mês, às 15 horas, de acordo com o horário sinótico, segundo as regras da Organização Meteorológica Mundial – OMM.

Para o parâmetro TMA foi correlacionada a zona climática a que pertence o local de pesquisa, de acordo com USEPA (2006). Posteriormente a PMA também foi correlacionada à tabela da USEPA (2006), determinando qual o coeficiente de decaimento para a CRVA.

A precipitação média anual foi determinada com base nos dados de precipitação acumulada no mês (mm) registrada na estação meteorológica 32507 de Ipatinga.

O parâmetro fator de oxidação da cobertura do aterro (OX) foi estimado de acordo com recomendações do IPCC (2006).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade dos RSU depositados no aterro foi obtida utilizando o arquivo técnico da CRVA, em que todo resíduo que adentra no aterro é pesado em balança rodoviária. Atualmente o aterro recebe cerca de 300 toneladas por dia de resíduos. Os dados quantitativos dos RSU domiciliares aterrados na CRVA estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Dados de massa em toneladas dos RSU domiciliares aterrados na CRVA entre setembro/2003 e maio/2009.

Mês / Ano	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	_____	3.787,280	4.627,132	7.030,396	8.821,094	7.560,080	8.970,014
Fev	_____	3.736,400	3.702,028	5.705,166	7.417,887	7.036,670	7.307,760
Mar	_____	3.842,330	4.164,580	6.749,632	7.456,056	6.763,800	8.091,270
Abr	_____	3.658,180	4.549,310	5.957,888	6.830,684	6.748,930	7.570,203
Mai	_____	3.687,860	4.922,294	6.468,308	7.211,342	6.728,200	7.339,190
Jun	_____	3.604,580	4.801,742	6.147,024	6.645,284	6.359,630	_____
Jul	_____	3.634,330	5.448,774	6.100,144	6.847,654	6.648,570	_____
Ago	_____	3.654,540	5.824,670	6.541,338	6.529,492	6.446,760	_____
Set	1.586,750	3.441,026	4.755,066	6.730,556	6.007,579	6.861,930	_____
Out	3.431,540	3.590,893	5.955,878	6.741,181	6.768,218	6.985,150	_____
Nov	3.732,820	3.962,990	6.388,194	7.113,232	6.948,806	7.472,430	_____
Dez	4.267,110	4.558,790	7.978,450	8.366,590	7.763,520	9.233,500	_____
TOTAL	13.018,22	45.159,20	63.118,12	79.651,46	85.247,62	84.845,65	39.278,44

Fonte: CRVA (2009).

As informações contidas na Tabela 3 foram utilizadas para calcular a massa de metano emitido no período compreendendo entre o início de operação do aterro (setembro de 2003) até o mês de maio de 2009. A partir de junho de 2009 até o ano de 2032, data de vida útil do aterro sanitário prevista em projeto, foram utilizados os dados da projeção de resíduos da CRVA descritos no EIA/RIMA do empreendimento. Esses procedimentos foram realizados para estimar as emissões de gás metano.

A fração de metano em volume de biogás gerado no aterro sanitário da CRVA foi estimada em 50% com base na metodologia proposta pela USEPA (2006).

O fator de correção de metano estimado para o aterro da CRVA é igual a 1,0. Para estimativa deste fator foi considerada a forma de disposição dos resíduos, o grau de controle do aterro sanitário, tais como cobertura dos resíduos e compactação dos mesmos, formando um sistema de decomposição anaeróbica dos resíduos.

O valor da fração de carbono orgânico dissociado ( $COD_f$ ) para o aterro sanitário da CRVA foi estimado em 0,77, valor este considerado na elaboração de documentos de concepção de projetos no Brasil e que foi determinado para temperaturas da zona anaeróbia de 35° C.

O diagnóstico da composição gravimétrica média dos RSU descartados no aterro sanitário foi realizado no pátio de compostagem da CRVA. Verificou-se que os municípios que dispõem os RSU no aterro sanitário não apresentaram nenhum incremento significativo na geração durante o ano, isto é, no banco de dados da CRVA não foi verificada oscilações significativas ao longo do ano que mereçam destaque. As amostras dos RSU foram segregadas de acordo com as características (materiais potencialmente recicláveis, rejeitos e fração orgânica). Em seguida, foram pesados e os resultados anotados. Dentre os materiais segregados da amostra de RSU que apresentam potencial para serem reciclados estão papel e papelão, plástico rígido e filme, poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET), material ferroso e vidro.

Dentre os rejeitos segregados da amostra de RSU analisado estão: trapos, fraldas descartáveis, couro (sapatos, cintos, bolsas, sandálias), papel higiênico, pedra. Dentre os materiais orgânicos segregados da amostra de RSU analisado foram encontrados cascas de frutas e legumes, restos de comida, aparas de poda etc.

A composição física (% em peso) - base úmida dos RSU dispostos no aterro sanitário da CRVA está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição física (% em massa) - base úmida dos RSU aterrados na CRVA.

Fração	kg	%	%
Papel	65,7	3,6	
Papelão	104,0	5,7	
Plástico Duro	76,6	4,2	materiais potencialmente recicláveis 23,9
Plástico Filme	73,0	4,0	
PET	23,7	1,3	
Metais ferrosos	63,9	3,5	
Metal não ferroso (alumínio)	5,5	0,3	
Vidro	23,7	1,3	
Trapos	69,4	3,8	
Fraldas descartáveis	58,4	3,2	
Pedra	1,8	0,1	
Madeira	25,5	1,4	Rejeitos
Ossos	3,6	0,2	12,3
Borracha	5,5	0,3	
Couro	10,9	0,6	
Materiais de difícil classificação	49,3	2,7	
Matéria Orgânica	1.164,4	63,8	Mat. Orgânica 63,8
Total da amostra	1.825,00	100,0	100

O valor do carbono orgânico degradável (COD) da CRVA foi obtido com base na composição gravimétrica dos resíduos coletados na área de abrangência do aterro sanitário. Os dados de composição física dos RSU dispostos no aterro sanitário da CRVA foram utilizados para calcular o DOC e de acordo com IPCC (1996) o valor de DOC corresponde a 0,13948.

O resultado de Co calculado para a CRVA corresponde a  $100 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{resíduo}}$

Para o valor da Constante k, de acordo com os valores determinados por IPCC (2006), onde se tem resíduos com rápida degradação decompostos na zona climática tropical, ou seja, com temperatura média anual superior a 20°C, e em locais com precipitação média anual em torno de 1000 milímetros apresenta valor médio da constante de decaimento igual a 0,085 ano<sup>-1</sup>, valor de acordo com os dados de PMA e TMA coletados pela estação meteorológica 32507 de Ipatinga.

O fator de oxidação da cobertura do aterro (OX) estimado para aterros sanitários, segundo IPCC (2006) é de 10%, ou seja, há perda de aproximadamente 10% das emissões de gás metano do aterro através do material de cobertura no solo. Esse percentual foi adotado no aterro sanitário da CRVA para a OX.

Os parâmetros  $k$ ,  $R_x$ ,  $C_o$  {FCM, F, DOC,  $DOC_f$ } e OX, utilizados na equação *First-Order Decomposition Rate Equation* (taxa de decomposição de equação de primeira ordem) utilizada para cálculo da estimativa de geração de gás metano no biogás estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - parâmetros da equação de decaimento de primeira ordem

Parâmetro	Valor estabelecido ou estimado
$k$	0,085 ano <sup>-1</sup>
$P_i$	Quantidade de resíduo disposto no ano $i$ (Tabela 3, quantitativos dos RSU aterrados no CRVA)
$C_o$	100 m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup>
$t_i$	Idade do resíduo no ano $i$
FCM	1,0
$DOC_f$	0,77
DOC	0,13948
F	50%

Legenda:  $k$  = constante de decaimento (estimado de acordo com USEPA, 2006);  $P_i$  = quantidade de RSU dispostos na CRVA;  $C_o$  = potencial de geração de metano do resíduo;  $t_i$  = idade do resíduo no ano referente ; FCM = fator de correção de metano;  $DOC_f$  = taxa de carbono orgânico degradável dissociada; DOC = taxa de carbono orgânico degradável; F = fração de metano no biogás.

A estimativa de gás metano gerado na CRVA (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>) está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Estimativa de emissão de gás metano e gás carbônico equivalente gerado na CRVA entre os anos de 2003 a 2033

Ano	Qtde resíduos (t)	Q CH <sub>4</sub> (t ano <sup>-1</sup> )	Q CO <sub>2</sub> e (t ano <sup>-1</sup> )
2003	13.018,22 <sup>(1)</sup>	-----	-----
2004	45.159,20 <sup>(1)</sup>	8,571E+02	1,800E+04
2005	63.118,12 <sup>(1)</sup>	2,731E+03	5,735E+04
2006	79.651,46 <sup>(1)</sup>	3,506E+03	7,363E+04
2007	85.247,62 <sup>(1)</sup>	4,064E+03	8,534E+04
2008	84.845,65 <sup>(1)</sup>	3,995E+03	8,389E+04
2009	98.516,00 <sup>(2)</sup>	3,652E+03	7,669E+04
2010	99.846,00 <sup>(2)</sup>	3,895E+03	8,179E+04
2011	101.194,00 <sup>(2)</sup>	3,626E+03	7,614E+04
2012	102.560,00 <sup>(2)</sup>	3,375E+03	7,088E+04
2013	103.944,00 <sup>(2)</sup>	3,142E+03	6,598E+04
2014	105.348,00 <sup>(2)</sup>	2,925E+03	6,143E+04
2015	106.770,00 <sup>(2)</sup>	2,723E+03	5,718E+04
2016	108.211,00 <sup>(2)</sup>	2,535E+03	5,323E+04
2017	109.672,00 <sup>(2)</sup>	2,360E+03	4,955E+04
2018	111.153,00 <sup>(2)</sup>	2,197E+03	4,613E+04
2019	112.653,00 <sup>(2)</sup>	2,045E+03	4,294E+04
2020	114.174,00 <sup>(2)</sup>	1,904E+03	3,998E+04
2021	115.715,00 <sup>(2)</sup>	1,772E+03	3,721E+04
2022	117.278,00 <sup>(2)</sup>	1,650E+03	3,464E+04
2023	118.861,00 <sup>(2)</sup>	1,536E+03	3,225E+04
2024	120.466,00 <sup>(2)</sup>	1,430E+03	3,002E+04
2025	122.092,00 <sup>(2)</sup>	1,331E+03	2,795E+04
2026	123.740,00 <sup>(2)</sup>	1,239E+03	2,602E+04
2027	125.411,00 <sup>(2)</sup>	1,153E+03	2,422E+04
2028	127.104,00 <sup>(2)</sup>	1,074E+03	2,255E+04
2029	128.819,00 <sup>(2)</sup>	9,995E+02	2,099E+04
2030	130.559,00 <sup>(2)</sup>	9,304E+02	1,954E+04
2031	132.321,00 <sup>(2)</sup>	8,661E+02	1,819E+04
2032	134.107,00 <sup>(2)</sup>	8,063E+02	1,693E+04
2033	-----	7,506E+02	1,576E+04
TOTAL	3.141.554,27	6,507E+04	1,366E+06

<sup>(1)</sup> CRVA – Quantidade real de resíduos monitorados pela balança de pesagem do aterro sanitário; <sup>(2)</sup> EIA/RIMA CRVA - Projeção dos resíduos para a vida útil do aterro. Legenda: Qtde resíduos (t) = quantidade de resíduos dispostos no aterro no determinado ano; Q CH<sub>4</sub> (t ano<sup>-1</sup>) = quantidade de gás metano

emitida por tonelada no determinado ano;  $Q\text{ CO}_2\text{e (t ano}^{-1}\text{)}$  = quantidade de emissões de dióxido de carbono equivalente em tonelada por ano.

Considerando a perda de 10% das emissões de gás metano pela cobertura das células de resíduos tem-se como resultado as emissões de acordo com a Tabela 7. Para o cálculo da estimativa desta perda foi considerado o fator de oxidação (OX) de acordo com o descrito na metodologia.

Tabela 7 - Estimativa da quantidade de gás metano ( $\text{CH}_4$ ) após oxidação pela cobertura (OX) ( $\text{m}^3\text{ ano}^{-1}$ )

Ano	Q $\text{CH}_4$		
	$\text{m}^3\text{ ano}^{-1}$	t $\text{ano}^{-1}$	t $\text{ano}^{-1}$ – OX
2003			
2004	1,196E+06	8,571E+02	8,571E+01
2005	3,810E+06	2,731E+03	2,731E+02
2006	4,891E+06	3,506E+03	3,506E+02
2007	5,669E+06	4,064E+03	4,064E+02
2008	5,573E+06	3,995E+03	3,995E+02
2009	5,095E+06	3,652E+03	3,652E+02
2010	5,434E+06	3,895E+03	3,895E+02
2011	5,058E+06	3,626E+03	3,626E+02
2012	4,709E+06	3,375E+03	3,375E+02
2013	4,384E+06	3,142E+03	3,142E+02
2014	4,081E+06	2,925E+03	2,925E+02
2015	3,799E+06	2,723E+03	2,723E+02
2016	3,536E+06	2,535E+03	2,535E+02
2017	3,292E+06	2,360E+03	2,360E+02
2018	3,065E+06	2,197E+03	2,197E+02
2019	2,853E+06	2,045E+03	2,045E+02
2020	2,656E+06	1,904E+03	1,904E+02
2021	2,472E+06	1,772E+03	1,772E+02
2022	2,301E+06	1,650E+03	1,650E+02
2023	2,142E+06	1,536E+03	1,536E+02

Legenda:  $Q\text{ CH}_4\text{ (m}^3\text{ ano}^{-1}\text{)}$  = quantidade de gás metano emitida por metro cúbico no determinado ano;  $Q\text{ CH}_4\text{ (t ano}^{-1}\text{)}$  = quantidade de gás metano emitida por tonelada no determinado ano;  $Q\text{ CH}_4\text{ (t ano}^{-1}\text{)} - \text{OX}$  = quantidade de gás metano emitida por tonelada no determinado ano considerando o fator de oxidação do material de cobertura.

Tabela 7 - continuação

Ano	Q CH <sub>4</sub>		
	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>	t ano <sup>-1</sup>	t ano <sup>-1</sup> – OX
2024	1,994E+06	1,430E+03	1,430E+02
2025	1,857E+06	1,331E+03	1,331E+02
2026	1,728E+06	1,239E+03	1,239E+02
2027	1,609E+06	1,153E+03	1,153E+02
2028	1,498E+06	1,074E+03	1,074E+02
2029	1,394E+06	9,995E+02	9,995E+01
2030	1,298E+06	9,304E+02	9,304E+01
2031	1,208E+06	8,661E+02	8,661E+01
2032	1,125E+06	8,063E+02	8,063E+01
2033	1,047E+06	7,506E+02	7,506E+01
TOTAL	9,078E+07	6,507E+04	6,507E+03

Legenda: Q CH<sub>4</sub> (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>) = quantidade de gás metano emitida por metro cúbico no determinado ano; Q CH<sub>4</sub> (t ano<sup>-1</sup>) = quantidade de gás metano emitida por tonelada no determinado ano; Q CH<sub>4</sub> (t ano<sup>-1</sup>) – OX = quantidade de gás metano emitida por tonelada no determinado ano considerando o fator de oxidação do material de cobertura.

Para estimativa de emissões de CO<sub>2</sub>e considera-se os resultados apresentados na tabela 8. Nessa estimativa foi considerado no cálculo o GWP do CH<sub>4</sub>, ou seja, o Potencial de Aquecimento Global do gás metano.

Tabela 8 - Estimativa de CO<sub>2</sub>e (t ano<sup>-1</sup>) do CH<sub>4</sub> oxidado

Ano	Q CH <sub>4</sub> (t ano <sup>-1</sup> ) – OX	Q CO <sub>2</sub> e (t ano <sup>-1</sup> )
2003	—	—
2004	8,571E+01	1,800E+03
2005	2,731E+02	5,735E+03
2006	3,506E+02	7,363E+03
2007	4,064E+02	8,534E+03
2008	3,995E+02	8,389E+03
2009	3,652E+02	7,669E+03
2010	3,895E+02	8,179E+03

Legenda: Q CH<sub>4</sub> (t ano<sup>-1</sup>) – OX = quantidade de gás metano emitida por tonelada no determinado ano considerando o fator de oxidação do material de cobertura; Q CO<sub>2</sub>e (t ano<sup>-1</sup>) = quantidade de emissões de dióxido de carbono equivalente em tonelada por ano.



Tabela 8 - continuação

Ano	Q CH <sub>4</sub> (t ano <sup>-1</sup> ) - OX	Q CO <sub>2</sub> e (t ano <sup>-1</sup> )
2011	3,626E+02	7,614E+03
2012	3,375E+02	7,088E+03
2013	3,142E+02	6,598E+03
2014	2,925E+02	6,143E+03
2015	2,723E+02	5,718E+03
2016	2,535E+02	5,323E+03
2017	2,360E+02	4,955E+03
2018	2,197E+02	4,613E+03
2019	2,045E+02	4,294E+03
2020	1,904E+02	3,998E+03
2021	1,772E+02	3,721E+03
2022	1,650E+02	3,464E+03
2023	1,536E+02	3,225E+03
2024	1,430E+02	3,002E+03
2025	1,331E+02	2,795E+03
2026	1,239E+02	2,602E+03
2027	1,153E+02	2,422E+03
2028	1,074E+02	2,255E+03
2029	9,995E+01	2,099E+03
2030	9,304E+01	1,954E+03
2031	8,661E+01	1,819E+03
2032	8,063E+01	1,693E+03
2033	7,506E+01	1,576E+03
TOTAL	6,507E+03	1,366E+05

Legenda: Q CH<sub>4</sub> (t ano<sup>-1</sup>) – OX = quantidade de gás metano emitida por tonelada no determinado ano considerando o fator de oxidação do material de cobertura; Q CO<sub>2</sub>e (t ano<sup>-1</sup>) = quantidade de emissões de dióxido de carbono equivalente em tonelada por ano.

Para estimar as emissões de redução obtém-se os valores da diferença entre as emissões de linha de base e as emissões estimadas pela oxidação do material de cobertura do maciço, as quais são descritas na Tabela 9.

Tabela 9 - Estimativa de emissões de redução do gás metano no aterro da CRVA

Ano	----- E <sub>R</sub> -----	
	CH <sub>4</sub> (t ano <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> e (t ano <sup>-1</sup> )
2003	-----	-----
2004	8,571E+01	1,800E+03
2005	2,731E+02	5,735E+03
2006	3,506E+02	7,363E+03
2007	4,064E+02	8,534E+03
2008	3,995E+02	8,389E+03
2009	3,652E+02	7,669E+03
2010	3,895E+02	8,179E+03
2011	3,626E+02	7,614E+03
2012	3,375E+02	7,088E+03
2013	3,142E+02	6,598E+03
2014	2,925E+02	6,143E+03
2015	2,723E+02	5,718E+03
2016	2,535E+02	5,323E+03
2017	2,360E+02	4,955E+03
2018	2,197E+02	4,613E+03
2019	2,045E+02	4,294E+03
2020	1,904E+02	3,998E+03
2021	1,772E+02	3,721E+03
2022	1,650E+02	3,464E+03
2023	1,536E+02	3,225E+03
2024	1,430E+02	3,002E+03
2025	1,331E+02	2,795E+03
2026	1,239E+02	2,602E+03
2027	1,153E+02	2,422E+03
2028	1,074E+02	2,255E+03
2029	9,995E+01	2,099E+03
2030	9,304E+01	1,954E+03
2031	8,661E+01	1,819E+03
2032	8,063E+01	1,693E+03
2033	7,506E+01	1,576E+03
TOTAL	6,507E+03	1,366E+05

Legenda: Q CH<sub>4</sub> (t ano<sup>-1</sup>) = quantidade de gás metano emitida por tonelada no determinado ano; Q CH<sub>4</sub> (t ano<sup>-1</sup>) – OX = quantidade de gás metano emitida por tonelada no determinado ano considerando o fator de oxidação do material de cobertura; E<sub>R</sub> CH<sub>4</sub> (t ano<sup>-1</sup>) = emissões reduzidas de gás metano em tonelada por ano; E<sub>R</sub> CO<sub>2</sub>e (t ano<sup>-1</sup>) = emissões reduzidas de dióxido de carbono equivalente em tonelada por ano.

Na Tabela 10 podem ser visualizados os resultados de algumas estimativas de emissões de gás metano obtidas em aterros sanitários distintos.

Tabela 10 – Comparativo de estimativas de emissões de gás metano de alguns aterros sanitários

Aterro/local	Qtde resíduos (t ano <sup>-1</sup> )	L <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> )	K (ano <sup>-1</sup> )	Q CH <sub>4</sub> (t ano <sup>-1</sup> ) *	Q CH <sub>4</sub> (t ano <sup>-1</sup> ) / Qtde resíduos (t ano <sup>-1</sup> )
Itajubá Cenário I (MG) <sup>(1)</sup>	2,39 E+04	140	0,04	7,12E+02	0,030
Itajubá Cenário II (MG) <sub>(1)</sub>	2,39 E+04	180	0,09	1,40E+03	0,059
Nova Iguaçu (RJ) <sup>(2)</sup>	3,65 E +05	170	0,04	2,41E+07	66
Terra Brava (RJ) <sup>(2)</sup>	1,83 E +05	100	0,04	7,08E+06	39
Cirsures (SC) <sup>(3)</sup>	-----	-----	-----	5,67E+02	-----
Sorocaba (SP) <sup>(4)</sup>	-----	-----	0,17	6,40E+03	-----
CRVA	1,05E+05	100	0,085	6,507E+03	0,062

Fonte: <sup>(1)</sup> GONÇALVES (2007), <sup>(2)</sup> BRITO FILHO (2005), BITENCOURT (2007), OLIVEIRA (2009)

\* Valores médios dos dados compilados.

O decaimento de emissões de gás metano gerado na CRVA em relação ao tempo de deposição dos RSU no aterro sanitário está apresentado na Figura 16.

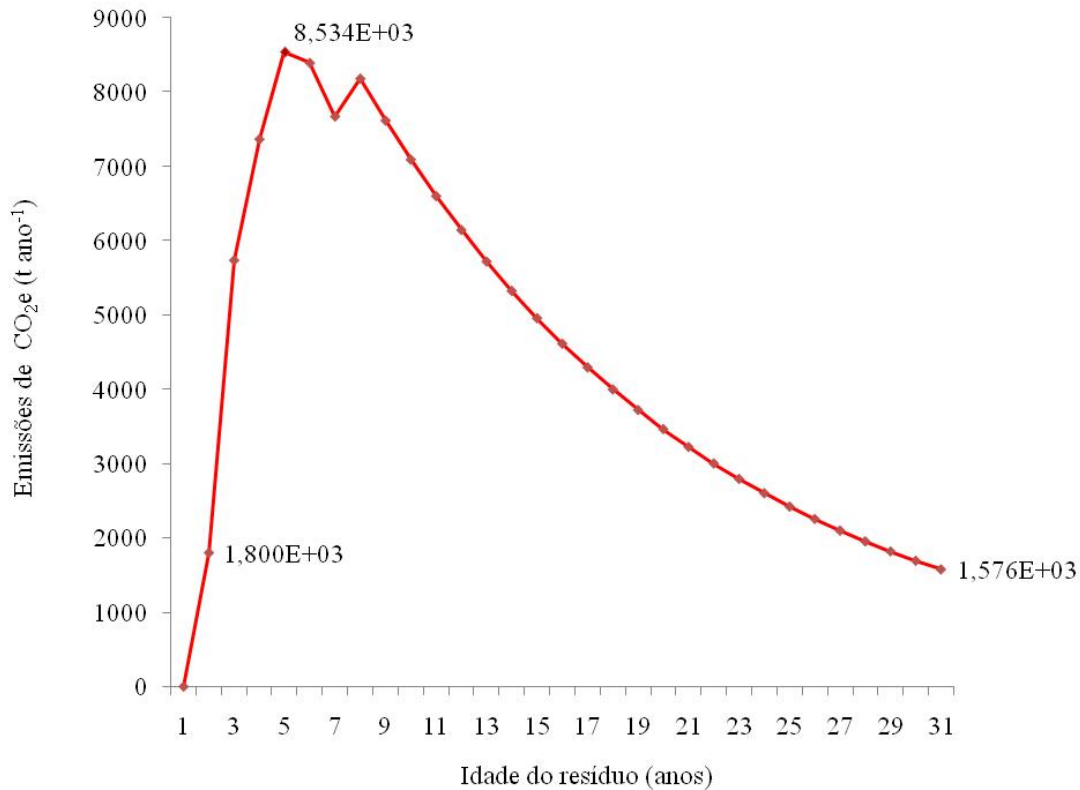


Figura 16- Emissões de gás carbônico equivalente por tonelada de RSU em relação ao tempo de deposição dos resíduos na CRVA

De acordo com o resultado final da estimativa de reduções de emissões de gás no aterro sanitário da CRVA, considerando uma perda de 10% de emissões fugitivas através da camada de cobertura do maciço, pode-se afirmar que a implantação de um projeto de MDL evitaria a emissão de aproximadamente cento e trinta e seis mil e seiscentas toneladas de CO<sub>2</sub>e no final de sua vida útil, o que permite afirmar que a CRVA teria também cerca 136.600 CER para negociar no mercado de créditos de carbono. Com base nas análises financeiras da *European Climate Exchange* (ECX), que calculou o valor de uma CER para o segundo semestre de 2009 em €13,00 (valor médio) (Figura 17), foi estimado que através do MDL a CRVA obterá uma rentabilidade de aproximadamente R\$ 4.386.226,00 (euro cotado a R\$ 2,47) para ser aplicado na sustentabilidade local e regional, bem como no sistema de captação e queima de biogás do aterro sanitário em questão.

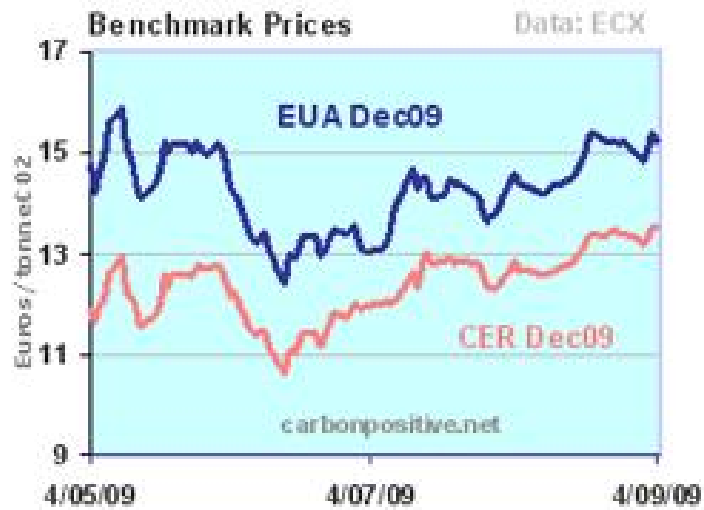


Figura 17: Oscilação dos valores (€) para t CO<sub>2</sub>e. entre os meses de maio a setembro de 2009  
 Fonte: *European Climate Exchange (ECX)* (disponível em: [www.ecx.eu](http://www.ecx.eu))

Com base no levantamento dos preços médios dos equipamentos utilizados no sistema de coleta e queima do biogás gerados num aterro sanitário com o porte da CRVA estimou-se que o custo de implantação do sistema é de aproximadamente R\$ 980.000,00 (novecentos e oitenta mil Reais).

O aterro sanitário da CRVA possui 16 drenos de gás (Figura 18).



Figura 18: Distribuição dos drenos (pontos amarelos) no atual maciço de resíduos (Março 2009).

Até a último monitoramento do maciço de resíduos, realizado em março de 2009, 14 drenos estavam ativos. É importante salientar que é de fundamental importância que a quantidade de drenos aumentem à medida que as células de resíduos vão sendo formadas.

No monitoramento do maciço de resíduos, realizado em março de 2009, estava ocorrendo combustão do gás metano nos queimadores instalados na saída dos drenos verticais de gases (Figura 19), entretanto, em ocasiões anteriores foi observado que alguns desses queimadores estavam apagados pela ação do vento. Tal fato aumenta o risco de explosividade, proporciona emissões direta de gás metano para a atmosfera, expondo os funcionários da CRVA a absorção pelas vias respiratórias quando não estiverem utilizando a máscara respiratória.



Figura 19 - Emissão de gases após ser queimado do biogás na saída do dreno

Em visitas à CRVA foi identificado que a cobertura das células de resíduos são realizadas com resíduos de entulho sob uma fina camada de argila local. Da mesma forma os drenos são selados apenas com material de cobertura local (Figura 20).



Figura 20 – Aspecto visual dos drenos de gás do aterro sanitário fixados com material de cobertura

### 5.1 Proposta de Documento de Concepção de Projeto (DCP) para a CRVA

- Título da atividade de projeto:

Captura e queima de gás gerado na CRVA.

- Categoria da atividade do projeto:

O Projeto de Gás do Aterro Sanitário da CRVA está ancorado nas premissas preconizadas pelo IPCC (2006) como projeto do escopo setorial 13: manejo e disposição de resíduos.

- Descrição da atividade de projeto:

O objetivo da atividade de projeto é evitar a liberação de gás metano ( $\text{CH}_4$ ) na atmosfera, resultante da decomposição anaeróbia dos RSU dos municípios da região atendida pela CRVA. O empreendimento localizado no Vale do Aço, estado de Minas Gerais. Os municípios que são atendidos pela CRVA são: Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timóteo, Santana do Paraíso, Marliéria, Itanhomi e Belo Oriente. A atividade de projeto envolve a captura e

queima do gás metano em queimadores instalados no Aterro Sanitário operado pela Vital Engenharia Ambiental Ltda. do Grupo Queiroz Galvão.

A CRVA é um aterro sanitário que entrou em operação em setembro de 2003, com uma concessão de 30 anos. Até 2009 o despejo diário médio de resíduos no aterro é de 300 toneladas. A CRVA foi projetado para receber resíduos do tipo Classe 2 (resíduos sólidos de áreas residenciais, prédios públicos, estabelecimentos comerciais, podas e varrição, resíduos inertes de construções). Além desses resíduos supracitados o empreendimento também tem licenciamento ambiental para receber e incinerar o resíduos de serviços de saúde.

Atualmente, o gás produzido no aterro sanitário na CRVA é queimada de forma rudimentar, procedimento adotado com o intuito de reduzir os riscos de explosões e resolver o problema de fortes odores e saúde ocupacional dos trabalhadores. Nesse contexto a atividade de projeto visa maximizar a captura de gás metano e queimá-lo de maneira eficiente, evitando as emissões de GEE ao invés de liberá-lo na atmosfera como atualmente vem ocorrendo.

O investimento nas atividades de projeto em um sistema de coleta e queima de gás também irá contribuir para o desenvolvimento sustentável local ao:

- Melhorar a qualidade do ar local, reduzindo assim possíveis impactos de odores;
- Destruir, além do metano, substâncias tais como compostos orgânicos voláteis e amônia;
- Reduzir o risco de explosões ou de incêndios associados ao gás de aterro sanitário;
- Gerar melhores condições de trabalho e novos empregos diretos e indiretos;
- Gerar renda local;
- Facilitar a disseminação da experiência adquirida no projeto e na tecnologia de operação da CRVA para possível uso em outros aterros no país.

O Sistema de Coleta de Gás no Aterro deve dispor de:

- Drenos verticais utilizados para extrair gás e chorume;
- Drenos horizontais utilizados para extrair gás;
- Espaçamento otimizado dos poços, para maximizar a coleta de gás e minimizar os custos;
- Cabeçotes especiais para gás e chorume;



- Sistemas de extração e armazenamento condensado, localizados em pontos estratégicos;
- Unidade de queimador fechada;
- Compressores para assegurar a pressão correta na rede de coleta;
- Analisador de gás on-line;
- Válvulas e tubos.

A unidade de queima deverá ser controlada pela temperatura acima de 800°C, para assegurar uma taxa de destruição de gás metano próxima de 100%.

A quantidade estimada de reduções de emissão de gás durante o período de obtenção de créditos de carbono advindos das emissões de gás metano na CRVA foi determinada para três períodos de 7 anos, totalizando 21 anos de projeto de MDL (Tabelas 11, 12 e 13).

Tabela 11 – Emissões de redução para o primeiro período de projeto (sete primeiros anos)

Ano	Estimativa anual de reduções de emissões de CO <sub>2</sub> e (t)
2012	7,088E+03
2013	6,598E+03
2014	6,143E+03
2015	5,718E+03
2016	5,323E+03
2017	4,955E+03
2018	4,613E+03
Total de reduções estimadas (t CO <sub>2</sub> e)	4,04E+04
Número total de anos de crédito	7
Média anual de reduções estimadas durante o período de créditos (t CO <sub>2</sub> e)	5,78E+03
Receita estimada em R\$ da venda dos créditos de carbono	1,30E+06

Tabela 12 – Emissões de redução para o segundo período de projeto (entre 7 a 14 anos)

Ano	Estimativa anual de reduções de emissões de CO <sub>2</sub> e (t)
2019	4,294E+03
2020	3,998E+03
2021	3,721E+03
2022	3,464E+03
2023	3,225E+03
2024	3,002E+03
2025	2,795E+03
Total de reduções estimadas (tCO <sub>2</sub> e)	2,45E+04
Número total de anos de crédito	7
Média anual de reduções estimadas durante o período de créditos (t CO <sub>2</sub> e)	3,50E+03
Receita estimada em R\$ da venda dos créditos de carbono	7,87E+05

Tabela 13 – Emissões de redução para o terceiro período de projeto (entre 14 a 21 anos)

Ano	Estimativa anual de reduções de emissões de CO <sub>2</sub> e (t)
2026	2,602E+03
2027	2,422E+03
2028	2,255E+03
2029	2,099E+03
2030	1,954E+03
2031	1,819E+03
2032	1,693E+03
Total de reduções estimadas (tCO <sub>2</sub> e)	1,48E+04
Número total de anos de crédito	7
Média anual de reduções estimadas durante o período de créditos (t CO <sub>2</sub> e)	2,12E+03
Receita em R\$ da venda dos créditos	4,75E+05

O título e referência da metodologia aprovada de linha de base e monitoramento aplicada à atividade do Projeto de Gás de Aterro da CRVA é:

- ACM0001 – versão 11: “Metodologia consolidada para linha de base em atividades de projetos de gás de aterro sanitário” (IPCC, 1996).
- Versão 05.2 – “Ferramenta para demonstração e avaliação da adicionalidade”
- Versão 01 – “Ferramenta metodológica para determinação das emissões do projeto a partir da queima de gases contendo metano”
- Versão 04 – “Ferramenta para determinar emissões de metano evitadas pelo descarte de resíduos em aterros de resíduos sólidos”.

A justificativa da escolha da metodologia ACM0001 aplicável ao Projeto de Gás de Aterro da CRVA é porque o cenário da linha de base atual, na ausência do projeto, é a liberação atmosférica parcial ou total de gás no aterro; as atividades do projeto envolvem a captura do gás e a instalação de um sistema de coleta para queima do metano.

Na linha de base as emissões do consumo de eletricidade e a geração de energia térmica não são aplicáveis, conforme demonstrado na Tabela 14.

Tabela 14: Demonstração do metano na fronteira do projeto

	Fonte	Gás	Incluído	Justificativa/explicação
Linha de Base	Emissões de decomposição dos resíduos no aterro.	CO <sub>2</sub>	Não	A emissão de CO <sub>2</sub> pela decomposição de resíduos orgânicos não é contabilizada.
		CH <sub>4</sub>	Sim	Principal fonte de emissão na linha de base.
		N <sub>2</sub> O	Não	As emissões de N <sub>2</sub> O são pequenas quando comparadas as emissões de CH <sub>4</sub> em aterros. A exclusão desse gás assegura uma avaliação conservadora.

Tabela 14: continuação

	Fonte	Gás	Incluído	Justificativa/explicação
Linha de Base	Emissões por consumo de eletricidade.	CO <sub>2</sub>	Não	Excluído para simplificação da análise. A exclusão desse gás assegura uma avaliação conservadora.
		CH <sub>4</sub>	Não	
		N <sub>2</sub> O	Não	
	Emissões por consumo de geração de energia térmica.	CO <sub>2</sub>	Não	Não há geração de energia térmica no local.
		CH <sub>4</sub>	Não	Excluído para simplificação da análise. A exclusão desse gás assegura uma avaliação conservadora.
		N <sub>2</sub> O	Não	
Atividade de Projeto	Emissões pelo uso de eletricidade usada no local.	CO <sub>2</sub>	Sim	Pode ser uma importante fonte de emissões.
		CH <sub>4</sub>	Não	Excluído para simplificação da análise. Esta fonte de emissões se presume em ser muito pequena.
		N <sub>2</sub> O	Não	
	Consumo de combustível fóssil no local devido a atividades do projeto outras que a geração elétrica.	CO <sub>2</sub>	Sim	Pode ser uma importante fonte de emissões.
		CH <sub>4</sub>	Não	Excluído para simplificação da análise. Esta fonte de emissões se presume em ser muito pequena.
		N <sub>2</sub> O	Não	

A descrição das fontes e dos gases abrangidos pelo limite do projeto, apresentada na Tabela 14, mostra os gases envolvidos na transformação do gás metano dentro da fronteira do projeto.

A estimativa de gás metano gerado na CRVA é uma importante informação para a gestão do empreendimento, considerando que a quantidade de gás produzido e emitido na atmosfera potencializa o aquecimento global do planeta. Este gás pode vir a ser captado, tratado e recuperado para produção de energia, vinculado a um projeto de MDL, proporcionando reservas de capital financeiro para a aplicação em ações sustentáveis no empreendimento e região.

Há necessidade de avaliação financeira dos equipamentos necessários, uma vez que para o primeiro período de créditos simulado no documento de concepção de projeto estima-se

uma receita de R\$ 1.300.000,00, valores estes que acredita ser suficientes. Para todo o período de projeto o valor é bastante considerável e suficiente para implantação de projeto de MDL, porém há necessidade de negociações do contrato de período de créditos, bem como de outros pontos técnicos e financeiros cruciais no projeto. Sabe-se que os atuais projetos de MDL em aterros sanitários para coleta e queima de biogás, a estimativa nem sempre confere com a realidade de projeto, após este implantado e monitorado.

A estimativa de emissões de metano na CRVA foi bastante cautelosa para não incorporar erros, pois utilizou-se de parâmetros criteriosos sem superestimar valores, o que torna o resultado mais próximo da realidade. Porém, identifica-se como problema a perda de emissões de biogás pela camada de cobertura do aterro, uma vez que foram considerados apenas 10% de perda, de acordo com literatura e IPCC (2000), e que, na CRVA, os entulhos são reaproveitados para cobrir e aterrar os resíduos em suas respectivas células,

## 6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados das emissões de CO<sub>2</sub>e originados do aterramento dos resíduos sólidos urbanos domésticos da CRVA, pode-se afirmar que há potencial para implantação de projeto de MDL do empreendimento em questão. O valor de investimento inicial financeiro estimado para implantação dos equipamentos do sistema de coleta e queima de biogás na CRVA será retornado após o primeiro período de projeto de MDL estimado para a CRVA (2012-2018), o que justifica a veracidade de potencial para implantação de projeto de MDL.

O uso de entulhos para cobrir e aterrar os resíduos nas células do aterro sanitário da CRVA certamente implica em perda de emissões de biogás, pois existem muitos poros e caminhos preferenciais que permitem fuga de biogás na camada de cobertura, fato que pode falsear a estimativa determinada.

De acordo com outras estimativas realizadas no Brasil, pode-se concluir que a estimativa do aterro da CRVA é inferior às demais analisadas, comparando-se com quantidade de resíduos dispostas e parâmetros utilizados no cálculo. Porém tal fato permite fortalecer os critérios adotados nos cálculos e parâmetros determinados, uma vez que a superestimação de emissões sempre é cometida na elaboração de DCP submetidos ao IPCC e os problemas com quantitativo de emissões de metano surgem na fase de monitoramento do projeto de MDL.

Quanto ao impacto ambiental, atualmente o aterro da CRVA queima de maneira artesanal o biogás, ocasionando emissões de gás carbônico, ora emissões de metano, devido a falhas no sistema aplicado. Acredita-se que as emissões de biogás fugitivas pela camada de cobertura do aterro sejam superiores a 10%, o que aumenta ainda mais o impacto ambiental negativo com emissões de gás metano para a atmosfera. Com a implantação do projeto a queima de gás será através de *flare* e um sistema totalmente informatizado, podendo a CRVA ser um aterro sustentável perante as emissões de gás metano.

Existe uma dificuldade para desenvolver pesquisas deste tipo, uma vez que não há material bibliográfico de qualidade em abundância disponível sobre o assunto, portanto não é fácil realizar esta pesquisa. As estimativas não são realmente confiáveis. Todos os documentos de concepção de projeto de MDL, quando elaborados, superestimam as emissões de gás metanos, problema este futuro quando o projeto de MDL passa para a fase de monitoramento e

chega à fase de recebimento dos CER, que, quase nunca é próximo do que foi estimado, causando assim problemas financeiros devido ao investimento de equipamentos no aterro sanitário.

Não existem valores confiáveis de investimento financeiro no material bibliográfico para os equipamentos necessários de coleta e queima de biogás. As empresas fornecedoras destes equipamentos não disponibilizam valores mensuráveis sem antes haver uma avaliação por parte delas no aterro sanitário em questão, problema este que dificulta estimar ao certo os valores a serem gastos. De forma geral, conclui-se que há potencial para implantação de projeto de MDL na CRVA, porém fica o alerta de que as incertezas financeiras de receita comercializada no MDL e o valor de investimentos em equipamentos para implantação do sistema são meramente estimados e passíveis de variações.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

Para melhorar a precisão para determinar a quantidade das emissões de gás metano dos resíduos aterrados na Central de Resíduos do Vale do Aço recomenda-se instalação de aparatos para medição de vazão, pressão, temperatura, fração de metano do biogás nos respectivos drenos, associado a um plano de monitoramento de todo o maciço de resíduos, a fim de que se possa evidenciar com melhor precisão a perda de biogás pela camada de cobertura. A adoção das medidas supracitadas poderá vir a ser aplicada após negociação do contrato do projeto de MDL, pois há necessidade também de adicionalidade de projeto. Entende-se pela prática aplicada no Brasil, nos diversos aterros sanitários, que as emissões de biogás fugitivas pela camada de cobertura do aterro são sempre superiores a 10%, e todos os aterros com projetos de MDL analisados e visitados pelo autor foram necessárias reformas e alterações no padrão de cobertura e gestão de disposição dos resíduos.

Recomenda-se atentar para a elaboração de um plano de monitoramento a ser incluído no DCP, a fim de evitar problemas futuros com as estimativas. e investimentos.

Recomenda-se ainda que seja realizado um estudo para reaproveitamento do biogás para produção de energia elétrica de subsistência no aterro.



## 8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpezas Públicas e Especiais. **Panorama Nacional de Resíduos Sólidos**. São Paulo, SP. 2007.

BANCO MUNDIAL. The world bank handbook for the preparation of landfill gas to energy projects in Latin America and the Caribbean. Waterloo, Ontario, 2004. Barrow, Gordon M. Physical Chemistry, Mc Graw Hill, NewYork, 6th ed. 1996.

BIDONE, F.R.A; POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. EESC/USP. São Carlos, SP. 1999.

BINGEMER, H.G., CRUTZEN. P.J. The production of methane from solid wastes. **Journal of Geophysical Research**, 92 (D2): 2181-2187. 1987.

BITENCOURT, R.T. **Estimativa de geração de biogás no aterro sanitário de Cirsures com vistas à geração de créditos de carbono**. Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Curso de Engenharia Ambiental. Criciúma, SC. 2007.

BRABER, K. Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern waste disposal option on the verge of breakthrough. **Biomass and Bioenergy**, v.9, n.1–5, p.365–376, 1995.

BRITO FILHO, L.F. **Estudos de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, RJ. 222 p. 2005.

CAMACHO, C.S. **Alternativas de utilización de biogás de rellenos sanitarios en Colombia**. Fundación Universitaria Iberoamericana. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. 2006.

CEDBS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Roteiro básico para elaboração de um projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo**. Rio de Janeiro, RJ. 2009.

CENBIO. Centro Nacional de Referência em Biomassa. Projeto Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto – ENER-G-BIOG. Determinação do potencial de biogás a ser produzido e do potencial de eletricidade a ser gerado. **Relatório de Atividades**. São Paulo, SP. 2006.

CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: DESA/UFMG. 1997.

CQNUMC. Convenção - Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima. Nova York. 2010.

ECOSECURITIES. **Nova Gerar Landfill Gas to Energy Project Design Document (PDD)**. Oxford OX1 2NH. UK. 2004.

ENSINAS, A.V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – São Paulo**. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Térmica e de Fluidos. Campinas, SP. 2003.

EPA-ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Emission Factor Documentation for AP-42 Section 2.4 Municipal Solid Waste Landfills – Revised. North Carolina, USA, 1997. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/index.html>. Acessado em: 18 set. 2008.

FCUL FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE LISBOA. Sistemas Terrestres e Desenvolvimento Sustentável. Departamento de Geologia. Lisboa. Portugal. 2008.

FIGUEIREDO, P.J.M. A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental. 2ª ed. UNIMEP. Piracicaba, SP., p.67-99. 1995.

FIGUEIREDO. N.J.V. Utilização do biogás do aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás: Estudo de Caso. São Paulo, SP. 2007.

FUNIBER, X.E. Tratamiento. y Valorización de Residuos Industriales Peligrosos. Bogotá, julio 2004.

GONÇALVES A.T.T. **Potencialidade Energica dos Resíduos Sólidos Domiciliares e Comerciais do Município de Itajubá-MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG. 192p. 2007.

HAM, R.K.; MORTON, A.B. Measurement and Prediction of Landfill Gas Quality and Quantity in Sanitary Landfilling: process, technology and environmental impact .New York: **Academic Press**, 1989.

IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for National. **Greenhouse Inventories**: Reference Manual. v.3, 1996.

IPCC - International Panel on Climate Change. Guidelines for National. **Greenhouse Inventories**: Reference Manual. v.2, 1997.

\_\_\_\_\_. Guidelines for National. **Greenhouse Inventories**: Reference Manual. v.3, 2000.

\_\_\_\_\_. Guidelines for National. **Greenhouse Inventories**: Waste. v.5, 2006.

IPT. **Lixo Municipal**: Manual de Gerenciamento Integrado. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo S.A. Compromisso Empresarial para Reciclagem -CEMPRE, Publicação IPT 2622, 2 ed., São Paulo, SP. 370p., 2000.

LEITE, V.D. *et al.* Estudo cinético do processo de bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos. **Anais ... 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campo Grande, MS, 18 a 23 de setembro de 2006.

LETTINGA, G. (s/d). Chapter 4: Methane production. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/w7241E/w7241eOf.htm>. Acessado em: 2 jan. 2007.

LIMA, L.Q.M. Método de Biodegradabilidade para Determinar a Produção de Metano no Aterro de Santa Bárbara, na Cidade de Campinas. CPFL, Campinas, SP., novembro 1985.

\_\_\_\_\_. Lixo - Tratamento e Biorremediação. São Paulo, SP., Hemus, 2004.

\_\_\_\_\_. Remedições de Lixões Municipais (Aplicações da Biotecnologia). São Paulo, SP., Hemus. 2005.

MARIANO, M.O.H. *et al.* Estudo Geotécnico e avaliação da camada de cobertura do aterro de resíduos sólidos de Aguazinha - Olinda - PE. **Anais ... 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Belo Horizonte, MG, 03 a 07 de setembro de 2007.

MCT. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Protocolo de Quioto**. Artigo 2. Parágrafo 1. Brasília. 2009.

\_\_\_\_\_. **Protocolo de Quioto**. Artigo 12. Brasília. 2009.

MELLO, A.V. Gestão ambiental nas mudanças climáticas: ISO 14064 – Ferramenta empresarial na gestão das emissões de gases de efeito estufa. **Revista Meio Ambiente Industrial** – Editora Tocalino - São Paulo, SP., 2003.

MENDES, L.G.G.; MAGALHÃES SOBRINHO, P. Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. **Revista Ciências Exatas**, v.5, n. 2, p.71-76, 2005.

MENDES, L.G.G.; MAGALHÃES SOBRINHO, P. Comparação entre métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. **Revista Biociências**, Taubaté, SP., v.13, n.3-4, p.134-142, jul./dez. 2007.

OLIVEIRA, W.E. Recuperação de Recursos dos Resíduos Sólidos. **Revista DAE**. São Paulo: SABESP, n.160,1984.

OLIVEIRA, B.P. **Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da disposição de resíduos sólidos municipais em Sorocaba-SP e a potência disponível nessas emissões**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual Paulista. Campus experimental de Sorocaba. Sorocaba. SP., 2009.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP., 2006.

REICHERT, G.A. Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão. **Anais**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, MS, 18 a 23 de setembro de 2005.

RETTENBERGER, G.; TABASARAN J. **Untersuchungen zur Entstehung, Ausbreitung und Ableitung von Zersetzungsgasen in Abfallablagerungen**. Rep. 103 (02) 207, 249p., Umweltbundesamt, Berlin, 1980.

ROCHA, M.T. Mudanças Climáticas e o Mercado de Carbono. São Paulo, 2006.

SCS ENGINEERS. **Estudo da pré-viabilidade para recuperação de biogás e produção de energia no aterro de Gramacho, Rio de Janeiro, Brasil**. Preparado por scs ENGINEERS: 11260 Roger Bacon Drive Reston, Virginia, 20190 (703) 471-6150. 2005.

SEDESOL. **Taller Internacional para la Promoción de Proyectos MDL mediante el Aprovechamiento del Biogás en Rellenos Sanitarios**, Bogotá, nov. 2004.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL S.A. Integrate solid waste management: engineering principal and management issues. New York. MacGraw-Hill. 978 p. 1993.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – Protocolo de Kyoto. 2. ed. Brasília: MCT. 34p. 2001.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. Feasibility Study: Utilization of landfill gas for a vehicle fuel system – Rossman's Landfill, Clackamas County, Oregon. Assistant secretary, conservation and renewable energy. Office of renewable technology. Washington, D.C. 1983. DOE/RA/50366-1

\_\_\_\_\_. Air Emissions from Municipal Solid Waste Landfills – Background Information for Proposed Standards and Guidelines. Emission Standards Division. Mar. 1991. EPA-450/3-90-011a.

\_\_\_\_\_. Recommended changes to the proposed municipal solid waste landfill new source performance standards and emissions guidelines, presented at SWANA Landfill Gas Symposium. Mar. 1994.

\_\_\_\_\_. Air emissions from municipal solid waste landfills – background information for final standards and guidelines. Emission Standards Division U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Office of Air and Radiation Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, North Carolina 27711 Dec. 1995a.

\_\_\_\_\_. Department of the Army. Engineering and Design, Landfill off-gas collection and treatment systems. **Technical Letter**, n.1110-1-160. Apr. 1995b.

\_\_\_\_\_. **Turning a liability into an asset: A landfill gas-to-energy project development handbook**, EPA 430-B-96-0004. 139p. Sep. 1996a

\_\_\_\_\_. **Renewable energy annual**. Chapter 10. 1996b.

\_\_\_\_\_. **Emissions factor documentation for municipal solid waste landfills revised**. AP-42 Section 2.4. Aug, 1997a.

\_\_\_\_\_. Feasibility assessment for gas-to-energy at selected landfills in São Paulo, Brazil. **Public Review Draft**. EPA 68-W6-004. Jan. 1997b.

\_\_\_\_\_. **Emerging technologies for the management and utilization of landfill gas**. Office of Research and Development. EPA 68-D30035. Jan. 1998.

\_\_\_\_\_. **Adapting boilers to utilize landfill gas: Feasible and cost-effective**. Office of Air and Radiation. EPA 430-F-01-006. Jan. 2001.

\_\_\_\_\_. **Powering microturbines with landfill gas**, EPA430—02-012 DRAFT. Mar. 2002 a

\_\_\_\_\_. **About LMOP**. Disponível em: <http://www.epa.gov/lmop/about.htm>. Acesso em: 21 nov. 2002b.

\_\_\_\_\_. **Source and Emissions**. 2004.

VANZIN E. **Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no aterro Santa Tecla**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Passo Fundo, RS. 2006.

VEGA. **Projeto de gerenciamento de biogás de aterro de Salvador, Bahia – Brasil**. Documento de Concepção do Projeto (DCP) – Versão 5. 2005.

von SPERLING, M.V. **Princípios básicos do tratamento de esgotos – Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. DESA – UFMG, v.2, 1996.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)