

ADRIANA CARNEIRO DUARTE

**PROJETOS DE MDL EM ATERROS SANITÁRIOS NO BRASIL:
ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**Dissertação apresentada como
requisito parcial à obtenção do
grau de Mestre em Engenharia de
Recursos Hídricos e Ambiental,
Setor de Tecnologia, Universidade
Federal do Paraná.**

**Orientadora: PROF^a. M^a CRISTINA
BORBA BRAGA, PhD**

**CURITIBA
2006**

ADRIANA CARNEIRO DUARTE

**PROJETOS DE MDL EM ATERROS SANITÁRIOS NO BRASIL:
ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**CURITIBA
2006**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as coisas boas que tem me dado.

A minha orientadora, professora Cristina Braga, que sempre me recebeu de braços abertos e, com muita calma e bom humor, conduziu esta pesquisa.

Minha eterna gratidão aos meus pais, Plínio Carneiro e Tirza Fanini, por sua amizade e pelo seu sempre apoio e incentivo. Obrigada pelo carinho especial em todos os momentos, pelos conselhos e discussões variadas.

Ao meu marido Luiz Fernando, que se mostrou ser muito paciente e amigo, acima de tudo, a quem aprendi a admirar cada vez mais pelo seu amor e companheirismo.

A toda minha família, principalmente a minha irmã Tais Carneiro, pelo apoio nos momentos mais importantes da minha vida, especialmente durante os meus estudos.

A todos os amigos, pelas palavras de incentivo e carinho.

RESUMO

O MDL é um dos instrumentos de flexibilização estabelecidos pelo Tratado de Quioto com o objetivo de facilitar o cumprimento das metas de redução de emissão de GEE, definidas para os países que o ratificaram. Com a introdução do MDL, as empresas estrangeiras que não conseguirem, ou não desejarem, diminuir suas emissões poderão comprar os CERs de países em desenvolvimento, através de projetos de mitigação de GEE. Os países em desenvolvimento, por sua vez, devem utilizar o incremento financeiro oriundo do MDL para promover seu desenvolvimento sustentável. Os projetos que se habilitarem à condição de projeto de MDL deverão cumprir uma série de procedimentos até receber a chancela da ONU e, conseqüentemente, certificar as reduções alcançadas. No escopo das atividades estabelecidas para a mitigação de GEE está a disposição final de resíduos, pois o CH₄, um GEE, é um dos componentes do biogás, produzido como consequência do processo de decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente nos resíduos domésticos. Atualmente, no Brasil, existem 22 projetos no âmbito do MDL desenvolvidos em aterros sanitários, objetivando reduzir as emissões de GEE através da mitigação de emissões de CH₄ em aproximadamente 53 milhões de tCO₂e nos próximos 10 anos. O biogás, gerado em aterros, é considerado uma fonte de energia renovável e, portanto, sua recuperação e seu uso energético apresentam vantagens ambientais, sociais, estratégicas e tecnológicas significativas. A recuperação do biogás, associada ao seu uso energético, pode não ser a solução final para a questão do gerenciamento dos resíduos no Brasil, todavia é a melhor opção que se apresenta para o momento. A captação do biogás com aproveitamento do seu potencial energético ou não, poderá tornar-se um forte candidato a projetos de comercialização de créditos de carbono. Este estudo teve por objetivo avaliar as características especificadas nos projetos de MDL para aterros sanitários brasileiros com vistas à mitigação das emissões de CH₄. Para o desenvolvimento deste estudo, dos 22 projetos brasileiros, foram selecionados 5 aterros sanitários para visita técnica, tendo sido realizada uma análise criteriosa das suas características individuais.

ABSTRACT

CDM is one of the instruments established by the Kyoto Treaty whose main goal is to facilitate the fulfillment of GHG emission reduction, established for the countries that had signed its ratification. Through the adoption of CDM, parties that either could not obtain or did not want to diminish GHG emissions will be able to by CER from developing countries, through the implementation of projects on either GHG abatement or mitigation. On the other hand, developing countries, can use the financial increment derived from the CDM to promote sustainable development. As part of the agreement, to qualify projects as CDM, it will be necessary to fulfill a series of procedures to prove that GHG emission reductions have been reached prior to receiving the UN certificate. Among the activities established for GHG mitigation is solid waste disposal. This is due to the production of CH₄, one of the gases related to the green house effect, which results from the anaerobic digestion of organic matter present in the bulk of domestic solid waste. Presently, in Brazil, there are 22 CDM projects, related to landfills, which have been registered with the aim to reduce GHG emissions, through the mitigation of CH₄, as an amount of 53 million tons of CO₂e, approximately, over the last 10 years. Being considered an alternative source of energy, biogas recovery and utilization present significant environmental, social, strategic and technological advantages. Biogas recovery, associated to energy generation, cannot be taken as a definite solution regarding solid waste management in Brazil, however, it can be considered as one of the best options at the moment. Biogas collection associated to its energy power, could be considered a strong candidate for the trade of carbon credits. The main goal of this study was to analyse specific characteristics of CDM projects with regard to the mitigation of CH₄ emissions in Brazilian landfills. To reach this goal, 5 landfills out of 22 Brazilian projects were chosen as a case study, and a sound critical analysis of these projects, already implemented, was performed.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIATURAS E FORMULAS.....	X
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 O EFEITO ESTUFA.....	4
2.2 CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – CQNUMC.....	5
2.3 O TRATADO DE QUIOTO.....	8
2.4 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO – MDL.....	13
2.5 BIOGÁS.....	21
2.5.1 PRODUÇÃO DO BIOGÁS.....	21
2.5.2 COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS.....	24
2.5.3 FATORES QUE AFETAM A GERAÇÃO DOS GASES NOS ATERROS.....	26
2.5.3.1 Geometria e operação do aterro.....	27
2.5.3.2 Fatores característicos dos resíduos.....	27
2.5.3.3 Aspectos do ambiente interno à célula.....	28
2.5.3.4 Aspectos do ambiente externo à célula.....	29
2.5.3.5 Potencial de influência de alguns fatores na geração de gases.....	29
2.6 RECUPERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS.....	30
2.6.1 INFRA-ESTRUTURA BÁSICA.....	32

2.6.2 MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO DO MACIÇO.....	33
2.6.3 COBERTURA DAS CÉLULAS.....	35
2.6.4 ENCERRAMENTO DA ÁREA.....	35
2.6.5 SISTEMA PARA COLETA E QUEIMA DE BIOGÁS.....	37
2.6.5.1 Compressor.....	40
2.6.5.2 Sistema de Tratamento de Condensado.....	40
2.6.5.3 Flare.....	41
2.6.6 SISTEMA PARA GERAÇÃO OU RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA.....	42
2.6.7 EVAPORAÇÃO DO CHORUME.....	45
2.7 INDICADORES AMBIENTAIS PARA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	46
2.7.1 CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE INDICADORES.....	48
2.7.2 CRITÉRIOS E INDICADORES DE ELEGIBILIDADE PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS CANDIDATOS AO MDL.....	50
OBJETIVOS.....	53
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	54
3.1 ESTRUTURAÇÃO DAS FASES.....	54
3.1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	54
3.1.2 IDENTIFICAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL DO MDL NO BRASIL.....	55
3.1.3 IDENTIFICAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS COM PROJETOS EM ATIVIDADE NO MDL E SELEÇÃO PARA VISITA TÉCNICA.....	56
3.1.4 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE EM ATERROS SANITÁRIOS NA LINHA DE BASE E DAS EMISSÕES REDUZIDAS ATRAVÉS DE PROJETOS DE MDL.....	58
3.1.4.1 Estimativa das emissões de GEE na linha de base dos aterros sanitários visitados.....	58
3.1.4.2 Quantificação das emissões de GEE reduzidas através dos projetos de MDL.....	59
3.1.5 ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS DE MITIGAÇÃO DE GEE EM ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS.....	63
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	65
4.1 PANORAMA DOS PROJETOS EM MDL PARA ATERROS.....	65

SANITÁRIOS BRASILEIROS.....	
4.2 VISITAS TÉCNICAS.....	72
4.2.1 APRESENTAÇÃO DOS ATERROS VISITADOS.....	73
4.2.1.1 Aterro Sanitário de Adrianópolis – NovaGerar.....	74
4.2.1.2 Aterro Sanitário de Paulínia – ESTRE.....	74
4.2.1.3 Aterro Sanitário de Tremembé – SASA.....	75
4.2.1.4 Aterro Sanitário de Santa Isabel – Anaconda.....	75
4.2.1.5 Aterro Sanitário de Mauá – Lara.....	76
4.2.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS COLETADOS EM CAMPO.....	77
4.3 ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE GEE NA LINHA DE BASE DOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS.....	81
4.4 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES REDUZIDAS ATRAVÉS DOS PROJETOS DE MDL.....	82
4.4.1 MODELOS NUMÉRICOS PARA A QUANTIFICAÇÃO DAS REDUÇÕES DE GEE.....	83
4.4.1.1 AM0003: Análise Simplificada para Projetos de Captura de Gás de Aterro Sanitário.....	83
4.4.1.2 ACM0001: Metodologia consolidada de linha de base para atividades de projetos com gás de aterro.....	85
4.4.1.3 AM0011: Recuperação de gás de aterro com geração de eletricidade e sem captura ou destruição de CH ₄ no cenário da linha de base.....	85
4.5 CARACTERIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS PARA MITIGAÇÃO DO CH₄.....	87
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	91
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
5.2 DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE DCPs.....	95
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO.....	97
CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS.....	98
ANEXOS.....	104
Anexo 1 – Partes do Anexo I da Convenção do Clima.....	104
Anexo 2 – Setores e Categorias para redução dos GEE.....	105
Anexo 3 – Compromisso de redução ou limitação quantificada de emissões.....	107

Anexo 4- Questionário Base.....	108
---------------------------------	-----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – CICLO DE UM PROJETO DE MDL PROPOSTO PELO COMITÊ EXECUTIVO.....	16
FIGURA 2.2 – ANÁLISE QUALITATIVA TÍPICA DA GERAÇÃO DOS PRINCIPAIS GASES AO LONGO DAS FASES DE DEGRADAÇÃO EM UM ATERRO SANITÁRIO.....	22
FIGURA 2.3 – SISTEMA TÍPICO DE APROVEITAMENTO DO BIOGÁS..	38
FIGURA 2.4 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA CAPTAÇÃO, QUEIMA E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS.....	39
FIGURA 2.5 – SISTEMA TÍPICO PARA EVAPORAÇÃO DO CHORUME.	46
FIGURA 4.1 – PROJETOS NO CICLO DO MDL NO MUNDO.....	65
FIGURA 4.2 – DISTRIBUIÇÃO POR ESTADO BRASILEIRO DOS PROJETOS DE MDL EM ÁTERROS SANITÁRIOS.....	70
FIGURA 4.3 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CH ₄ EM ATERROS SANITÁRIOS PROJETADAS PARA O PRIMEIRO PERÍODO DE CRÉDITOS.....	71
FIGURA 4.4 – ESQUEMA BÁSICO PARA A EVAPORAÇÃO DO CHORUME DO ATERRO DE TREMEMBÉ.....	80
FIGURA 5.1 – DESTINO FINAL DO RESÍDUO MUNICIPAL POR MUNICÍPIO.	93

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 – POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL DOS GASES DE EFEITO ESTUFA	10
QUADRO 2.2 – ESTIMATIVAS NUMERICAS PARA O PAG DE CO ₂ , CH ₄ e NO ₂	11
QUADRO 2.3- SETORES E FONTES DE ATIVIDADES.....	18
QUADRO 2.4 – FASES TÍPICAS DE PRODUÇÃO DO BIOGÁS EM UM ATERRO SANITÁRIO.....	22
QUADRO 2.5 - TAXAS DE PRODUÇÃO DE CH ₄ PARA CADA CONSTITUINTE QUÍMICO.....	24
QUADRO 2.6 – CARACTERÍSTICAS DOS GASES PRESENTES NO BIOGÁS EM UM ATERRO SANITÁRIO.....	25
QUADRO 2.7 – CONSTITUINTES TRAÇOS NOCIVOS DETECTADOS NO BIOGÁS.....	26
QUADRO 2.8 – PRINCIPAIS FATORES QUE AFETAM A GERAÇÃO DE GASES.....	27
QUADRO 2.9 – PARÂMETROS DO AMBIENTE INTERNO E SUAS IMPLICAÇÕES NA GERAÇÃO DO BIOGÁS.....	28
QUADRO 2.10 – POTENCIAL DE INFLUÊNCIA DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS NA GERAÇÃO DE GASES.....	30
QUADRO 2.11 – PROCESSOS UTILIZADOS PARA O TRATAMENTO DO CHORUME.....	34
QUADRO 2.12 – CUSTOS DE UM SISTEMA DE COLETA (U\$ 1994).....	37
QUADRO 2.13 - TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA.....	44
QUADRO 3.1 – CRONOGRAMA DE VIAGEM.....	57
QUADRO 3.2 – QUESTIONÁRIO BASE.....	58
QUADRO 3.3 – CRITÉRIOS E INDICADORES PROPOSTOS PELO CENTRO CLIMA.....	64
QUADRO 4.1 – DISTRIBUIÇÃO DOS PROJETOS BRASILEIROS NA CIMGC POR ESCOPO DE ATIVIDADE EM AGOSTO DE 2006.....	66
QUADRO 4.2 – DISTRIBUIÇÃO DOS PROJETOS BRASILEIROS EM VALIDAÇÃO POR ESCOPO DE ATIVIDADE EM AGOSTO DE 2006.....	67
QUADRO 4.3 – PROJETOS DE MDL EM ATERROS SANITÁRIOS	69

BRASILEIROS.....	
QUADRO 4.4 – PAÍSES INVESTIDORES NO MDL EM ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS.....	72
QUADRO 4.5 – DADOS GERAIS DOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS.....	77
QUADRO 4.6- UNIDADES COM COLETA SELETIVA.....	77
QUADRO 4.7 - ORIGEM DO RESÍDUO SÓLIDO DEPOSITADO NOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS.....	78
QUADRO 4.8 – PARÂMETROS TÉCNICOS RELACIONADOS ÀOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DE ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS.....	79
QUADRO 4.9 – EMISSÕES NO CENÁRIO DE REFERÊNCIA DOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS.....	81
QUADRO 4.10 – TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA MITIGAÇÃO DO CH ₄ EM ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS.....	82
QUADRO 4.11 - METODOLOGIAS ADOTADAS EM PROJETO PARA QUANTIFICAÇÃO DAS REDUÇÕES E MONITORAMENTO DAS TECNOLOGIAS DE MITIGAÇÃO DO CH ₄	83
QUADRO 4.12 – EMISSÕES PROJETADAS NOS DCPs ESTUDADOS..	86
QUADROS 4.13 – IMPACTOS LOCAIS RELACIONADOS ÀS TECNOLOGIAS DE MITIGAÇÃO DO CH ₄	89

LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIATURAS E FORMULAS

CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
N ₂ O	Óxido nitroso
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
HFCs	Hidrofluorcarbonos
PFCs	Perfluorocarbonos
N ₂	Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
H ₂ S	Ácido Sulfídrico
tCO ₂ e	Tonelada de Carbono equivalente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AND	Autoridade Nacional Designada
CE	Comitê Executivo do MDL
CER	Certificado de Emissão Reduzida
CIMGC	Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
CEG	Companhia Estadual de Gás
COMGÁS	Companhia de Gás de São Paulo
COMLURB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COP	Conferência das Partes
DCP	Documento de concepção de projeto
EOD	Entidade Operacional Designada
GEE	Gases de Efeito Estufa
HDPE	Polietileno de alta densidade
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LFG	Landfill gás/ gás de aterro
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PVC	Cloreto de polivinila
RCE	Redução Certificada de Emissão
UNFCCC	United Nations Framework Convention for Climate Change/Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, a concentração de GEE, os Gases de Efeito Estufa, vem aumentando no planeta, levando-se em conta uma maior atividade humana, seja no setor industrial, agrícola ou de transporte, principalmente devido ao uso de combustíveis fósseis.

O acúmulo de substâncias oriundas de atividades antrópicas impede que a radiação da superfície terrestre seja liberada de volta ao espaço, pois prendem o calor na atmosfera. Por isso são conhecidos como GEE, sendo que os principais responsáveis pela formação dessa barreira química que aquece o planeta são os ricos em carbono.

O Protocolo de Quioto, que com a ratificação da Rússia em fevereiro de 2005 entrou em vigor, impõe limites para os países industrializados para emissão de CO₂, CH₄, N₂O e SF₆, acompanhados por duas famílias de gases, os HFCs e os PFCs.

Como consequência da interferência antropogênica, o aquecimento global tem sido um dos processos mais preocupantes, pois coloca em perigo o delicado balanço de temperatura que torna o meio ambiente habitável.

Com o intuito de viabilizar os limites para a emissão dos gases responsáveis pelo desequilíbrio térmico do planeta, o Tratado de Quioto estabeleceu a criação de instrumentos comerciais, entre eles o MDL, o qual permite que os 36 países membros do Anexo I, considerados como industrializados, financiem projetos de mitigação ou comprem os volumes de redução de emissões resultantes de iniciativas desenvolvidas nos países não industrializados, isto é, tal iniciativa referendada aos países desenvolvidos permite que estes também possam financiar projetos de redução resultantes de iniciativas desenvolvidas nos países não industrializados, desde que seja diminuída a emissão de carbono em qualquer lugar do planeta.

É nesse contexto que se insere o aterro sanitário. A decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos municipais produz o biogás, o qual é basicamente composto de CH₄ e CO₂. Em aterros convencionais o biogás é emitido para a atmosfera e torna-se um dos principais responsáveis pelo efeito

estufa. Com a implantação de um projeto de MDL, o biogás é coletado, tratado, queimado ou reaproveitado como insumo energético. No final do processo, o CH₄ é transformado em CO₂, que é 21 vezes menos impactante que o primeiro. Essa redução na emissão de CH₄ que é comercializada através dos Créditos de Carbono.

Segundo CAPOOR e AMBROSI (2006), desde 1997 já foram comercializados no mercado internacional 200 milhões de toneladas de CO₂, com o custo médio de U\$ 3,00 a 5,00 por tonelada. Com a ratificação da Rússia ao Protocolo de Quioto os contratos para comércio de carbono foram validados e os analistas esperam que a sua tonelada chegue a U\$ 20,00, elevando todo o mercado internacional a U\$ 5 bilhões. Isto mostra o potencial de comércio agregado aos resíduos, um ótimo negócio principalmente para os países em desenvolvimento.

Atualmente, os principais mercados vendedores de créditos são a Ásia e a América Latina. Em 2004, os países pertencentes a estes continentes venderam, juntos, 32 milhões de toneladas de carbono. O Japão é o país que mais adquire, com 41 % do total comercializado em todo o mundo.

Os negócios oriundos do mercado de carbono apresentam vantagens econômicas, ambientais e sociais para todo o planeta. Os recursos financeiros obtidos através do MDL são captados apenas por projetos que têm enfoque sustentável, com a adoção de medidas preventivas à poluição e contribuição ao desenvolvimento social do local foco do projeto.

Por se tratar de um tema de importância global, é que o presente estudo teve por objetivo verificar os benefícios ambientais provenientes dos desdobramentos do MDL em Aterros Sanitários Brasileiros. A pesquisa foi dividida em 7 capítulos, com 3 deles especificamente relacionados às características e procedimentos de MDL para aterros sanitários, de acordo com os seguintes conteúdos:

O Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica, explora o estado da arte sobre os principais tópicos que estão relacionados ao estudo dos gases gerados em aterros sanitários, abordados direta ou indiretamente neste trabalho. Esta revisão foi

descrita de forma a apresentar seqüencialmente a Convenção Quatro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, o Tratado de Quioto e o MDL. Além desses assuntos, a pesquisa estendeu-se aos aspectos gerais que envolvem a concepção de projetos para aterros sanitários brasileiros, as características do biogás gerado pela degradação biológica da matéria orgânica e os sistemas utilizados para coleta, tratamento e queima do biogás, além da apresentação sucinta do sistema para aproveitamento energético do CH₄.

O Capítulo 3 – Metodologia, apresenta o método investigativo utilizado para elucidar as questões levantadas nesta dissertação.

No Capítulo 4 – Análise e Discussão dos Resultados, são apresentados os aterros sanitários brasileiros que objetivam a captação de recursos financeiros advindos do MDL, bem como as tecnologias utilizadas para mitigação dos GEEs. As visitas técnicas e os dados organizados e coletados através do questionário desenvolvido para este trabalho são os elementos centrais deste Capítulo.

As considerações finais sobre a pesquisa são apresentadas no Capítulo 5. As principais conclusões da pesquisa, bem como as sugestões e recomendações a serem seguidas na continuidade e aprofundamento deste estudo estão apresentadas no Capítulo 6.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O EFEITO ESTUFA

A atmosfera é constituída por uma mistura de gases, predominantemente nitrogênio e oxigênio, perfazendo, em conjunto, 99%. Vários outros gases encontram-se presentes em menores quantidades, constituindo os GEE. Esses gases recebem tal denominação por apresentarem a propriedade de reter o calor, da mesma forma que os vidros de um carro fechado ou o revestimento de uma estufa sob a incidência do sol. O CO₂, o CH₄ e o N₂O, juntamente com o vapor d'água são os contribuintes gasosos da atmosfera que mais têm sido discutidos (BNDES, 1999).

No entanto, atenção prioritária tem sido dedicada ao CO₂, uma vez que o volume de suas emissões para a atmosfera representa algo em torno de 55% do total das emissões de GEE e o tempo de sua permanência na atmosfera é de, pelo menos, 10 décadas. O CO₂ distribuído na atmosfera age como a cobertura de uma estufa sobre o planeta, permitindo a passagem da radiação solar, mas evitando a liberação da radiação infravermelha emitida pela Terra. Assim, pela ação do efeito estufa natural, a atmosfera se mantém cerca de 30 °C mais aquecida, possibilitando, com isso, a existência de vida no planeta, que sem o efeito estufa natural seria um mero deserto gelado (IPCC, 1994).

Com vistas à manutenção do equilíbrio térmico, a Terra emite para o espaço a mesma proporção de energia que recebe de radiação solar. A radiação incidente atravessa as diversas camadas da atmosfera e seu retorno ocorre na forma de radiações térmicas de grande comprimento de onda ou calor, que são absorvidas pelo CO₂. Somando-se ao processo natural as atividades antrópicas, estão resultando em contribuições adicionais de GEE, acentuando a sua concentração na atmosfera e, conseqüentemente, ampliando a capacidade de absorção de energia que naturalmente já possuem. Quanto maior a concentração dos GEE, maior é a absorção de calor e maior será o aquecimento da atmosfera. Caso não existisse o efeito estufa natural, a temperatura média da superfície da Terra situar-se-ia na faixa de -18 °C. A temperatura média global da superfície da Terra com a presença do efeito estufa é de 15 °C (IPCC, 1994).

2.2 CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – CQNUMC

Devido à gradual percepção da necessidade de desenvolver políticas e instrumentos legais internacionais sobre a questão da mudança do clima, a Assembléia Geral das Nações Unidas estabeleceu, em seu período de sessões de 1990, o Comitê Inter-Governamental de Negociação para a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima. Representantes de mais de 150 países encontraram-se durante cinco reuniões celebradas entre fevereiro de 1991 e maio de 1992 e, finalmente, em 9 de maio de 1992, foi adotada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima na Sede das Nações Unidas – CQNUMC (UNFCCC, 2006a).

IVIG (2006) cita que a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima foi assinada inicialmente pelo Brasil durante a “Cúpula da Terra”, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como RIO-92, que se realizou no Rio de Janeiro, de 3 a 14 de junho de 1992.

A Convenção foi ratificada por 182 países e entrou em vigor em 21 de março de 1994 com o objetivo de estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático (UNFCCC, 2006a).

A Convenção é baseada em dois princípios básicos, a precaução e as responsabilidades comuns, porém diferenciadas. O primeiro refere-se ao fato de que a ausência de plena certeza científica não deve ser usada como razão para que os países posterguem a adoção de medidas para prever, evitar ou minimizar as causas da mudança do clima e mitigar seus efeitos negativos. O segundo princípio da Convenção diz que a maior parcela das emissões globais, históricas e atuais, de GEE é originária dos países desenvolvidos. As emissões “per capita” dos países em desenvolvimento ainda são relativamente baixas e a parcela das emissões globais originárias dos países em desenvolvimento crescerá, conforme aumentam as necessidades sociais e de desenvolvimento (ROCHA, 2003).

Com base no princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada, foram estabelecidos dois grupos de países: as Partes do Anexo I (países que são listados no Anexo I do texto da Convenção) e as Partes não listadas no Anexo I (todas as outras partes da Convenção que não estão listadas no referido Anexo). Os países Partes do Anexo I estão listados no Anexo 1 deste trabalho. O Anexo I da Convenção inclui os países industrializados que eram membros da OCDE em 1992, a Comunidade Européia e os países industrializados da ex-União Soviética e do Leste Europeu.

ROCHA (2003) também comenta que as nações que assinaram a Convenção comprometeram-se na criação de mecanismos que diminuíssem as emissões dos GEE no próximo século. Estes mecanismos abordaram, primeiramente, a capacidade das fontes de energia que emitem baixos níveis dos gases causadores do efeito estufa, bem como, mecanismos alternativos de absorção de CO₂.

Em abril de 1995 foi realizada a primeira COP, em Berlim, Alemanha, onde se definiu a cidade de Bonn como sede do Secretariado da Convenção e se estabeleceu uma fase piloto para atividades implementadas conjuntamente. Deve-se ressaltar que, de acordo com a Convenção, a COP-1 examinou a adequação das Partes Anexo I, onde estas se comprometiam a adotar políticas nacionais de medidas correspondentes para mitigar a mudança do clima, de forma a voltar no ano de 2000 aos níveis de emissões antrópicas de GEE de 1990. No processo de negociação que segue a Convenção constatou-se que as Partes Anexo I não conseguiriam honrar seus compromissos (BNDES, 1999).

Devido às diversas evidências dos efeitos rápidos e catastróficos da Mudança do Clima para a humanidade e para os ecossistemas, mais de 2.400 cientistas e 2.600 economistas, entre eles oito ganhadores de Prêmio Nobel, assinaram o Mandato de Berlim durante a COP-1, uma resolução apoiando o parecer do IPCC, alertando para o grande risco potencial da mudança climática e a justificativa para a tomada imediata de medidas preventivas.

O Mandato de Berlim estabeleceu que os países desenvolvidos deveriam, com base no princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada, definir,

num Protocolo ou outro instrumento legal, limitações quantificadas e objetivos de redução para suas emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de todos os GEE não controladas pelo Protocolo de Montreal, bem como, descrever as políticas e as medidas que seriam necessárias para alcançar essas metas. O grupo “Ad Hoc” de Berlim reuniu-se diversas vezes para elaborar uma proposta para o Protocolo de Quioto antes da COP-3, a realizar-se no Japão, em 1997 (ROCHA, 2003).

A COP-2 foi realizada em Genebra, Suíça, entre 8 e 19 de julho de 1996, onde ficou claro que a preparação da próxima COP iria se concentrar no estabelecimento e na aprovação de compromissos de redução das emissões de GEE. A COP-3 foi realizada em Quioto, Japão, entre 1 e 10 de dezembro de 1997. Esta conferência será estudada detalhadamente a seguir, pois deu origem ao Tratado de Quioto. As COPs seguintes concentraram esforços para regulamentar e ratificar o Protocolo de Quioto. A COP-4 foi realizada em Buenos Aires, Argentina entre 2 e 13 de novembro de 1998, onde foi acordado que os CERs obtidos entre 2000 e 2008 poderiam atender o 1º compromisso de redução referente 2008/2012; a COP-5 foi realizada em Bonn, Alemanha entre os dias 22 de outubro e 5 de novembro de 1999, onde foram apresentadas propostas e revisão dos critérios de elegibilidade e indicadores para avaliação de projetos de MDL; a COP-6 foi realizada em Haia, Holanda entre 13 e 24 de novembro de 2000, onde foram discutidos os mecanismos de flexibilização; a COP-7 foi realizada em Marraqueshe, Marrocos entre 29 de outubro e 9 de novembro de 2001, onde foi firmado o acordo de Marraqueche o qual regulamenta as modalidades e procedimentos para o MDL. Até a COP-7 nenhum país do Anexo I tinha ratificado o Protocolo de Quioto (CAMPOS, 2001). A COP-8 foi realizada em Nova Delhi entre os dias 23 de outubro a 1º de novembro de 2002, foi estabelecido o DCP e procedimentos de pequena escala; a COP-9 foi realizada em Milão, Itália entre 01 e 12 de dezembro, onde foram tomadas decisões sobre os projetos florestais e uso da terra, a COP-10 foi realizada em Buenos Aires entre 06 e 17 de dezembro de 2004, a COP-11 foi realizada em Montreal, Canadá entre

28 de novembro a 9 de dezembro de 2005. A última Conferência das Partes, a COP-12 ocorreu em Nairobi, entre os dias 06 e 17 de novembro de 2006.

2.3 O TRATADO DE QUIOTO

O Tratado de Quioto é o começo de uma negociação, consenso internacional do que pode ser feito para reduzir as emissões e como isto pode ser implementado. O reconhecimento e a ratificação do Tratado de Quioto é um pequeno passo, mas essencial, no sentido de estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera (CONTI, 2005).

Em dezembro de 1997, a Conferência das Partes se reuniu pela terceira vez na COP-3, em Quioto, Japão, onde estiveram presentes cerca de 10.000 participantes. O objetivo principal da reunião era de adotar, entre outras medidas importantes, um possível Protocolo, proposto pelo grupo “*Ad Hoc*” de Berlim, ou instrumento jurídico equivalente, contendo obrigações mais rigorosas para o engajamento dos países desenvolvidos no esforço às causas da mudança do clima resultantes da ação humana. Essas obrigações deveriam direcionar os esforços relativos à Convenção Quadro nesses países no início do século XXI.

Ao final desse evento redigiu-se o Protocolo de Quioto, segundo o qual as Partes Anexo I da Convenção do Clima reduziriam suas emissões combinadas de GEE em 5,2%, em média, sobre os valores registrados nos períodos de 2008 a 2012 (UNFCCC, 2006b). Esse compromisso, com vinculação legal, prometeria que tais partes deveriam, individual ou conjuntamente, assegurar que suas emissões antrópicas, agregadas em equivalentes de CO₂ dos GEE, não excedessem as quantidades atribuídas pelo Protocolo de Quioto, calculadas em conformidade com sua limitação quantificada de emissões e compromissos de redução.

Este instrumento reafirma o princípio das responsabilidades comuns, mas diferenciadas, exonerando os países em desenvolvimento de qualquer obrigação de reduzir suas emissões, em razão das suas necessidades de desenvolvimento econômico e social, conforme disposto no Artigo 10 do Tratado de Quioto. O Artigo 4.1 desse mesmo documento reforça os compromissos das Partes Anexo I

da Convenção do Clima. Acordar esse equilíbrio de interesses exigiu um grande esforço político e diplomático por parte de todos os países que participaram da negociação.

A adoção de metas aos países em desenvolvimento seria um retrocesso ao Tratado de Quioto, pois estes países estariam assumindo compromissos e gastos, contrariando os Artigos 10 e 11. Entretanto, para o benefício do sistema climático global é inevitável a adoção de compromissos dos países em desenvolvimento, provavelmente no 'Filho do Tratado de Quioto', levando em conta um sistema de equidade das emissões entre os países.

O Tratado de Quito possui dois anexos. O Anexo A, apresentado no Anexo 2 deste trabalho, lista os setores e categorias de fontes dos seis GEE que devem ser controlados. O anexo B, apresentado no Anexo 3 deste trabalho, lista as Partes que assumiram compromissos de reduções.

Os gases apresentados no Quadro 2.1 devem ser combinados, de forma que as reduções de cada gás sejam creditadas com vistas à meta de um único número. Isso é dificultado pelo fato de que, por exemplo, um quilo de CH₄ tem um efeito mais forte sobre o clima do que um quilo de CO₂. Os cortes nas emissões de cada gás são, portanto, traduzidos em "equivalentes de CO₂" que podem ser somados para produzir um valor. O Quadro 2.1 apresenta os equivalentes de CO₂ dos GEE.

O PAG dos GEE tem sido desenvolvido para facilitar a comparação das emissões de diferentes gases. O potencial de determinada substância é a taxa entre a contribuição à absorção do calor irradiado resultante da emissão instantânea de 1 Kg de um GEE e uma emissão igual a CO₂ integrado em um dado tempo, como mostrado pela Equação 2.1 (GUINÉE e HEIJUNGS, 1995).

$$PAG = \frac{\int_0^t a_i * c_i(t) dt}{\int_0^t a_{CO_2} * c_{CO_2}(t) dt} \quad (2.1)$$

Onde:

a_i = fator de efeito medido pela força de radiação instantânea devida ao crescimento de uma unidade na concentração do gás pesquisado i;

$c_i(t)$ = fator de exposição medido pela concentração do gás pesquisado i decorrido um tempo t de sua emissão;

t = número de anos cobertos pela integração.

QUADRO 2.1 – POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL DOS GASES DE EFEITO ESTUFA

GEE	TEMPO DE VIDA MÉDIO NA ATMOSFERA (em anos)	PAG PARA 100 ANOS.
CO ₂	50-200	1
CH ₄	12	21
N ₂ O	120	310
HFC – 23	264	11.700
HFC – 125	32,6	2.800
HFC – 134a	14,6	1.300
HFC – 143a	48,3	3.800
HFC – 152a	1,5	140
HFC – 227a	36,5	2.900
HFC – 236fa	209	6.300
HFC – 4310mee	17,1	1.300
CF ₄	50.000	6.500
C ₂ F ₆	10.000	9.200
C ₄ F ₁₀	2.600	7.000
C ₆ F ₁₄	3.200	7.400
SF ₆	3.200	23.900

Fonte: IPCC (2001)

Os valores correspondentes para o CO₂ são incluídos no denominador da Equação. O PAG depende do calor absorvido pela atmosfera e de sua distribuição em um dado tempo. Tempos maiores de integração, como 100 ou 500 anos, são mais adequados quando a preocupação é o efeito cumulativo. Tempos menores, 20 ou 50 anos, fornecem um melhor indicador dos efeitos de curto prazo das emissões. O Quadro 2.2 apresenta estimativas numéricas para o PAG de CO₂, CH₄ e NO₂ (SANTOS, 2002).

As incertezas no PAG são dependentes da escala de tempo escolhida. Quanto maior a escala de tempo, maiores as incertezas, desde que o PAG seja dependente das concentrações atmosféricas de certas substâncias.

SANTOS (2002) ainda comenta que os fatores de conversão são utilizados para calcular os efeitos diretos do composto original emitido. Podem existir efeitos indiretos tanto negativos quanto positivos quando os compostos individuais

reagem quimicamente na atmosfera. Um exemplo é a oxidação do CH₄ para óxido de carbono. Os efeitos indiretos podem mudar os resultados de compostos particulares, mas não podem, no momento, serem incluídos nos cálculos devido a incertezas científicas.

QUADRO 2.2 – ESTIMATIVAS NUMERICAS PARA O PAG DE CO₂, CH₄ e NO₂

COMPOSTO	TEMPO DE VIDA (anos)	PAG sobre 20 anos	PAG sobre 100 anos	PAG sobre 500 anos
CO ₂	Variável	1	1	1
CH ₄	12 +/- 3	56	21	7
NO ₂	120	280	310	170

Fonte: Santos, 2002

Entretanto, GUINÉE e HEIJUNGS (1995) recomendam que seja utilizado o tempo de integração de 100 anos para o cálculo dos fatores de equivalência, o que tem sido aceito mundialmente.

O valor total do indicador de aquecimento global (Vag) é calculado pela Equação 2.2 cuja unidade é expressa em Kg CO₂e.

$$Vag = \sum_1^m PAG_{l,j} * m_{i,j} \quad (2.2)$$

Onde:

m_{i,j} – massa da substância emitida em Kg.

O Tratado de Quioto estabeleceu que a redução das emissões nos três gases principais – CO₂, CH₄ e NO₂ – serão medidos em relação ao ano base de 1990, com exceção de alguns países com economias em transição. A redução das emissões nos três gases industriais de vida longa – HFCs, PFCs e SF₆ – podem ser medidos em relação às emissões de 1990 ou 1995.

O CO₂ é o gás mais importante, pois foi responsável, em 1995, por mais de quatro quintos do total das emissões de GEE dos países desenvolvidos, devido à queima de combustível fóssil e representando a quase totalidade desse valor (IPCC, 2001).

O segundo gás mais importante é o CH₄. Este gás é emitido como consequência de algumas atividades como o cultivo de arroz (UNFCCC, 2006b), por animais domesticados, como o gado, e pela disposição e tratamento de

resíduos humanos. As emissões de CH₄ são, geralmente, estáveis ou decrescentes nos países desenvolvidos e seu controle não parece representar um desafio tão grande quanto o do CO₂.

O Anexo B, apresentado no Anexo 3 deste trabalho, lista as Partes que possuem compromissos de limitação ou redução de emissões, estes países do Anexo B são as mesmas Partes Anexo I da Convenção do Clima menos Belarus e Turquia.

O Artigo 11.2(a) do Tratado de Quioto, estabelece que os países desenvolvidos e incluídos no Anexo I da Convenção devem prover recursos financeiros novos e adicionais para cobrir integralmente os custos por elas acordados incorridos pelas Partes países em desenvolvimento para fazer avançar a implementação dos compromissos assumidos sob o Artigo 4.1(a), da Convenção e previstos no Artigo 10(a) (UNFCCC, 2006b).

Com o intuito de facilitar o cumprimento dos compromissos assumidos pelos os países do Anexo I, foram criados mecanismos de implementação cooperativa, denominados de mecanismos de flexibilização. O princípio teórico destes mecanismos é o da eficiência econômica, de minimizar os custos de redução das emissões dos países do Anexo I, sem alterar a eficiência ambiental do Tratado de Quioto.

Os mecanismos de flexibilização permitem que um país pertencente ao Anexo I adquira unidades de redução de emissão de GEE, seja por intermédio de aquisição direta, seja por intermédio de investimentos em projetos em outros países. Ao permitir que o abatimento de GEE seja realizado além das fronteiras nacionais, os mecanismos de flexibilização ampliam a gama de opções disponíveis aos países do Anexo I e conferem-lhe um determinado grau de flexibilidade. Os mecanismos de flexibilização são: Certificados Negociáveis, Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (FGV, 2002).

O Protocolo de Quioto foi aberto para assinatura em 16 de março de 1998 e, após sete anos, o documento entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, sem a participação dos Estados Unidos e da Austrália.

2.4 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO – MDL

O Brasil teve um papel importante internacionalmente entre as nações em desenvolvimento (grupo dos 77 mais China) nas negociações para implementação do Tratado de Quioto (IVIG, 2006). A competência dos negociadores brasileiros é reconhecida por todos, a ponto de um dos principais itens da agenda, o MDL ter nascido de uma proposta brasileira apresentada em maio de 1997 ao secretariado da Convenção de Quioto, o Fundo de Desenvolvimento Limpo.

Em 1997, o Governo Brasileiro apresentou ao Grupo “ad hoc” do Mandato de Berlim uma proposta especificando que, cada país do Anexo I assumiria em Quioto o compromisso de redução de emissões, de modo que o ônus para a sua economia seria proporcional à respectiva contribuição para a mudança global do clima, estimada de forma objetiva de acordo com a fração da elevação da temperatura média global resultante de suas emissões. Assim, estabelecer-se-ia um fundo, o qual seria destinado aos países em desenvolvimento, permitindo-os crescer seguindo um caminho mais limpo do que aquele que os países desenvolvidos adotaram no passado (IVIG, 2006).

Segundo AMARAL (1999), a proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou 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 do ANEXO I devem estabelecer em seus territórios metas para redução de CO₂ junto aos principais emissores. As empresas que não conseguirem, ou não desejarem, reduzir suas emissões poderão comprar os CER de países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações. Os países em desenvolvimento, por sua vez, deverão utilizar o MDL para promover seu desenvolvimento sustentável.

Vale salientar que cada tonelada de carbono estava cotada, em agosto de 2006, entre \$ 15 e \$ 18 euros, sendo que em agosto de 2005, eram \$ 5 euros (Bolsa de Valores RJ, 2006). Estimativas apontam que o valor deve ir a \$ 30 ou \$ 40 euros, entre 2008 e 2012, quando as reduções de GEE tornar-se-ão obrigatórias para os países que ratificaram o Tratado de Quioto.

A princípio, os projetos de MDL seriam divididos em três modalidades: fontes renováveis e alternativas de energia; eficiência / conservação de energia; e, reflorestamento e estabelecimento de novas florestas.

Baseado no Fundo de Desenvolvimento Limpo ficou proposto no Tratado de Quioto o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo como um instrumento de flexibilidade, definido no Artigo 12 do Tratado. Assim se criou um mecanismo econômico capaz de diminuir os custos da redução de emissões das Partes Anexo I, ao mesmo tempo em que, com o aporte de recursos financeiros e tecnologia limpa, incentivaria o desenvolvimento sustentável nos países em desenvolvimento (IVIG, 2006).

O objetivo do MDL é assistir as Partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, assistindo às Partes Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões (UNFCCC, 2006b).

Em relação ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (Artigo 12.3, TRATADO DE QUIOTO):

“(a) As Partes não incluídas no Anexo I beneficiar-se-ão de atividades de projetos que resultem em reduções certificadas de emissões; e

(b) As Partes incluídas no Anexo I podem utilizar as reduções certificadas de emissões, resultantes de tais atividades de projetos, para contribuir com o cumprimento de parte de seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no Artigo 3, como determinado pela Conferência das Partes na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo – COP-MOP”.

A Conferência das Partes, na qualidade de reunião das Partes do Protocolo, COP-MOP, deve assegurar que uma fração dos fundos advindos de atividades de projetos certificadas seja utilizada para cobrir despesas administrativas, assim como, assistir às Partes países em desenvolvimento que sejam particularmente vulneráveis aos efeitos adversos da mudança do clima para fazer face aos custos de adaptação (Artigo 12.8, TRATADO DE QUIOTO).

A COP-MOP deve elaborar modalidades e procedimentos com o objetivo de assegurar transparência, eficiência e prestação de contas das atividades de

projetos por meio de auditorias e verificações independentes (Artigo 12.7, TRATADO DE QUIOTO).

A participação no MDL na aquisição de CERs pode envolver entidades privadas e/ou públicas, e deve sujeitar-se a qualquer orientação emanada do Conselho Executivo (Artigo 12.9, TRATADO DE QUIOTO).

Os CERs obtidos durante o período do ano 2000 até o início do primeiro período de compromisso, poderão ser utilizadas para auxiliar no cumprimento das responsabilidades relativas ao primeiro período de compromisso (Artigo 12.10, TRATADO DE QUIOTO).

Para que isso se concretizasse, o primeiro passo foi o estabelecimento de um Conselho Executivo do MDL. Também foi necessária a indicação de entidades operacionais, cujas funções incluem a certificação. Estas ações foram tomadas pelas das Partes do Tratado de Quioto (AMARAL,1999).

O Conselho Executivo deve unir os interesses legítimos das Partes do Tratado e deve ser composto de forma equilibrada por Partes incluídas e também por Partes não incluídas no ANEXO I. As funções do Conselho Executivo abrangem:

- Promoção e transparência de mercado;
- Responsabilidade final pela certificação e verificação das reduções; e,
- Registro e validação das agências de certificação.

Segundo ROCHA (2003) a certificação de projetos propriamente dita é atribuída a instituições que estejam trabalhando diretamente sob a direção e supervisão rigorosa do Conselho Executivo, apresentando um processo regulatório e de auditoria forte, além de ser transparente e apresentar credibilidade.

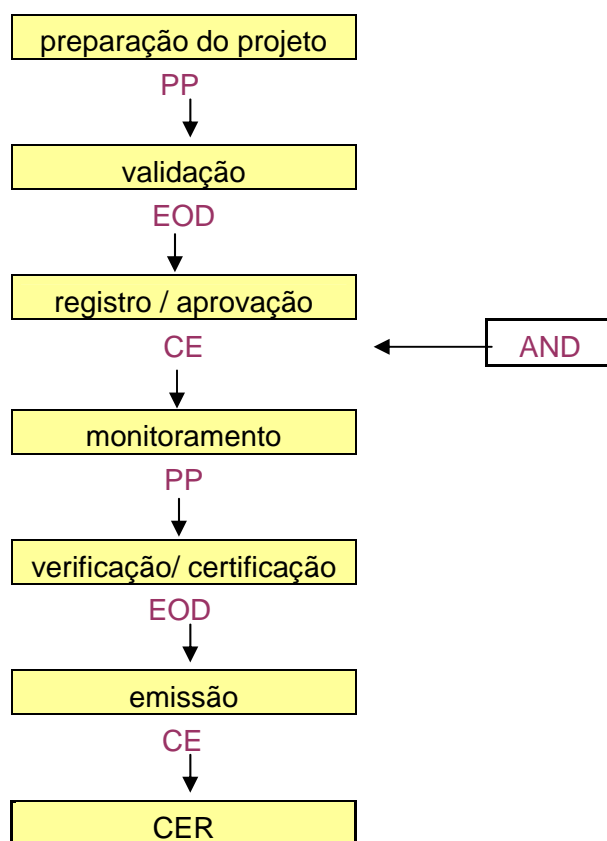
Um diagrama sobre as diferentes etapas que um projeto deverá seguir para receber os CER dentro do MDL é apresentado na Figura 2.1.

De acordo com as regras estabelecidas nas COPs, a participação em um projeto de MDL deve ser voluntária. As Partes interessadas em participar do MDL devem, em primeiro lugar, designar uma autoridade nacional (DNA) que será

responsável pela aprovação ou não dos projetos de MDL no país hospedeiro (FGV 2002).

Na fase de configuração 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. Para auxiliar as Partes na apresentação de tais informações, o Comitê Executivo do MDL desenvolveu um documento base denominado DCP – documento de concepção de projeto.

FIGURA 2.1 – CICLO DE UM PROJETO DE MDL PROPOSTO PELO COMITÊ EXECUTIVO



Onde:

- PP = Participantes do Projeto
- EOD = Entidade Operacional Designada
- CE = Comitê Executivo do MDL
- AND = Autoridade Nacional Designada
- CER = Certificado de Emissões Reduzidas

Fonte: UNFCCC (2006c)

A EOD selecionada pelos participantes do projeto para validá-lo deve revisar o DCP e outros documentos relevantes, tais como comentários das partes interessadas e possíveis impactos ambientais do projeto. O Comitê Executivo irá dizer se aceita ou não a linha de base e a metodologia de monitoramento propostas. Uma vez aceitas, o projeto pode ser registrado no Comitê Executivo. O registro é um pré-requisito para a verificação, certificação e emissão dos CER (FGV, 2002).

Uma vez registrado, o projeto passa para a fase de monitoramento, a ser feito de acordo com a metodologia previamente aprovada. Esse monitoramento irá acontecer seguindo um plano estabelecido pela metodologia e terá como resultados relatórios que serão submetidos para a OED para a verificação do projeto.

A verificação é a revisão periódica e independente realizada pela OED e o monitoramento posterior às reduções de GEE.

A certificação, por sua vez, é a garantia por escrito, dada pela EOD, de que durante um determinado período o projeto alcançou as reduções de GEE proposta. Com a certificação, é possível solicitar do Comitê Executivo a emissão dos CER.

Para efeitos do MDL, entende-se por atividades de projeto as atividades integrantes de um empreendimento que tenham por objeto a redução de emissões de GEE. As atividades de projeto devem estar exclusivamente relacionadas a determinados tipos de gases e aos setores/fontes de atividades responsáveis pela maior parte das emissões, conforme previsto no Anexo A do Tratado de Quioto. O Quadro 2.3 apresenta os setores e fontes de atividades de GEE.

Os projetos no âmbito do MDL apresentam algumas características peculiares, as quais devem ser apresentadas de forma clara e consistente para a quantificação das reduções reivindicadas. Tais características são descritas a seguir:

Adicionalidade: As reduções das emissões de GEE resultantes de cada atividade do projeto devem ser adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade do projeto certificado, ou seja, os projetos certificados deverão atender

ao critério de adicionalidade ambiental, como estipulado no item 5, do Artigo 12 do Tratado de Quioto, aplicável ao MDL (IPEA, 2000). Este artigo requer que as reduções na emissão de GEE sejam adicionais àquelas que ocorreriam na ausência das atividades do projeto certificado. Para a garantia do critério de adicionalidade, o mesmo item exige que as reduções de emissão de cada atividade do projeto sejam certificadas por entidades operacionais, a serem escolhidas pela Conferência das Partes. Tal procedimento faz-se necessário para confirmar que as reduções sejam reais e mensuráveis e para que tragam benefícios de longo prazo para a mitigação das mudanças climáticas. Assim, faz-se necessário avaliar, para todas as atividades do projeto, as emissões de GEE, essencialmente: CO₂, CH₄, NO_x, e mostrar que, caso o projeto não viesse a ser implementado tais emissões seriam maiores.

QUADRO 2.32 – SETORES E FONTES DE ATIVIDADES

SETORES	GEE	FONTES DE ATIVIDADES
Energia	CO ₂ - CH ₄ - N ₂ O	Setor Energético, Indústria de Transformação, Indústria de Construção, Transporte, Combustíveis sólidos, Petróleo e gás natural
Processos Industriais	CO ₂ - N ₂ O - HFCs - SF ₈	Produtos minerais, Indústria química, Produção de metais, Produção e consumo de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre, Uso de solventes
Agricultura	CH ₄ - N ₂ O	Fermentação entérica, Tratamento de dejetos, Cultivo de arroz, Solos agrícolas, Queimadas prescritas de cerrado, Queimadas de resíduos agrícolas
Resíduos	CH ₄	Disposição de resíduos sólidos, Tratamento de esgoto sanitário, Tratamento de efluentes líquidos, Incineração de resíduos

Fonte: FGV (2002)

Linha de Base: entende-se como linha de base, *baseline*, ou linha de referência ou cenário de referência, para um projeto, o nível atual e a evolução das emissões de GEE caso o projeto não fosse implementado. A linha de base é importante para que seja possível quantificar a redução dos GEE, requeridos pelo critério da adicionalidade ambiental.

Essa adicionalidade requer que, sejam comparadas as emissões de GEE oriundas do projeto implantado com as emissões, caso o projeto não fosse executado de forma ambientalmente satisfatória (IPEA, 2000).

A definição da linha de base é um problema complexo. Sua complexidade é consequência de que não se trata de mera comparação entre as emissões antes e após o projeto, é preciso investigar qual seria a evolução das emissões de GEE a médio e longo prazo, se o projeto não fosse implantado.

Infere-se do Tratado de Quioto que, a determinação de uma linha de base e das reduções resultantes de cada projeto deva obedecer a critérios estritos, com a abordagem específica por projeto. No entanto, é possível que venham a ser aceitos procedimentos de determinação padronizados, que trarão vantagens pela redução dos custos de elaboração dos projetos.

Consistência com critérios de relevância nacional: o item 2 do Artigo 12 do Tratado de Quioto estabelece que os objetivos do MDL são: 1) auxiliar os países não inclusos na relação do Anexo I a atingir o desenvolvimento sustentável e, 2) contribuir para o propósito principal da Convenção sobre Mudanças Climáticas que é fazer com que os países do Anexo I atendam seus limites quantificáveis de emissão e suas obrigações de redução citadas no Artigo 3 do Tratado.

O termo desenvolvimento sustentável é muito utilizado e parece ser bem compreendido, entretanto a sua definição é problemática. Como se entende que o desenvolvimento sustentável deva ser, em princípio, um objetivo de todos os governos, a tendência atual é delegar a cada país a responsabilidade de avaliar se um dado projeto, que eventualmente se enquadra no MDL, é de interesse nacional. Esse é o único ponto no Tratado de Quioto que exige o parecer e delega poder para os governos. Assim sendo, o governo tem autoridade para apoiar ou recusar projetos apresentados e negociados entre a iniciativa privada e governos exteriores.

Atendimento às características tecnológicas: apesar de não existir no Tratado de Quioto menção direta sobre a qualificação das tecnologias que os projetos de MDL devam atender, a experiência sobre negociações internacionais

de projetos do IPEA (2000), mostra que as chances de sucesso são muito maiores do que se o projeto propuser a adoção de tecnologia estabelecida e já praticada.

Para obter a aprovação de projeto no âmbito do MDL, os proponentes da atividade de projeto devem enviar à Secretaria Executiva da CIMGC os documentos listados nos Artigos 3 e 4 da Resolução nº 1 de 11 de setembro de 2003 e nos Artigos 1 e 5 da Resolução nº 2 de 02 de agosto de 2005, ambas elaboradas pela CIMGC. O DCP é o principal documento a ser apresentado ao Conselho Executivo por ocasião da solicitação de registro do projeto. As informações disponibilizadas devem ser apresentadas no formato estabelecido no Anexo III da Resolução nº 1, incluindo:

(a) A descrição do projeto, contendo o seu objetivo e uma descrição técnica do projeto;

(b) A metodologia da linha de base proposta:

(i) Emprego de uma metodologia aprovada:

- Uma declaração de qual metodologia aprovada foi selecionada;
- A descrição de como a metodologia aprovada será empregada no contexto do projeto;

(ii) Emprego de uma nova metodologia:

- A descrição da metodologia da linha de base e uma justificativa da escolha;
- A descrição dos parâmetros principais, das fontes de dados e suposições utilizados na estimativa da linha de base e na avaliação das incertezas;
- Projeções das emissões da linha de base;
- A descrição de como a metodologia da linha de base trata das fugas potenciais;

(c) Uma declaração da vida útil operacional estimada do projeto e o período de obtenção de créditos selecionado;

(d) A descrição de como as emissões antrópicas de GEE por fontes são reduzidas para níveis inferiores aos que teriam ocorrido na ausência da atividade de projeto do MDL registrada;

- (e) Documentação sobre a análise dos impactos ambientais, incluindo os impactos transfronteiriços;
- (f) As informações sobre as fontes de financiamento público;
- (g) Os comentários dos atores;
- (h) Plano de monitoramento;
- (i) Cálculos para estimar as emissões antrópicas de GEE por fontes da atividade de projeto do MDL dentro do limite do projeto;
- (j) Referências para embasar os itens acima, se forem o caso.

2.5 BIOGÁS

O biogás é gerado como resultado de processos físicos, químicos e microbiológicos que ocorrem dentro do material refugado. Os processos microbiológicos governam o processo de geração do gás, dada a natureza orgânica da maior parte dos resíduos (CHRISTENSEN et al., 2001). Esses processos são sensíveis ao meio-ambiente e, portanto, há numerosas condições naturais e antrópicas que afetam a população microbiana e, dessa forma, a taxa de produção do biogás. A massa de resíduo é responsável tanto pelos materiais sólidos (75-80% da massa) quanto pela umidade (20-25% da massa). Esta porcentagem é uma função do conteúdo orgânico do resíduo que é colocado no aterro.

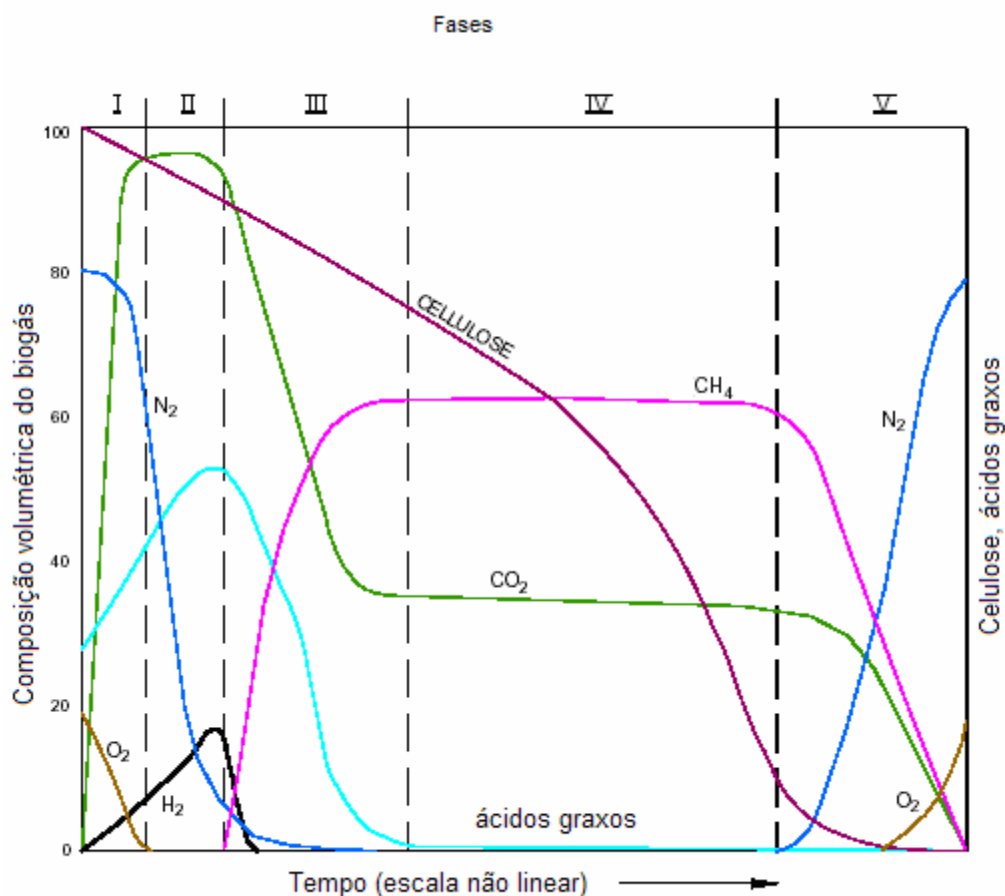
A qualidade do biogás depende do sistema microbiano, do substrato, resíduo, em decomposição e das variáveis específicas do aterro, como acesso a oxigênio para o aterro e o teor de umidade (BARLAZ et al, 1987). O biogás é tipicamente descrito como consistindo de aproximadamente 50 % de CH_4 e 50 % de CO_2 com menos de 1 % de outros componentes gasosos, inclusive sulfeto de hidrogênio e mercaptanas.

2.5.1 PRODUÇÃO DO BIOGÁS

A produção de biogás pode ser dividida em quatro fases que ocorrem durante a vida de um aterro, em função da biodegradabilidade do resíduo. Um gráfico das fases de geração de biogás pode ser visto na Figura 2.2. A duração de cada uma dessas fases é dependente de numerosos fatores incluindo o tipo de

resíduo, teor de umidade, conteúdo dos nutrientes, concentração de bactéria e nível de pH (ESMAP, 2004). O Quadro 2.4 sumariza a condição de cada fase e o tempo médio de duração.

FIGURA 2.2 – ANÁLISE QUALITATIVA TÍPICA DA GERAÇÃO DOS PRINCIPAIS GASES AO LONGO DAS FASES DE DEGRADAÇÃO EM UM ATERRO SANITÁRIO



Fonte: ESMAP (2004)

QUADRO 2.4 – FASES TÍPICAS DE PRODUÇÃO DO BIOGÁS EM UM ATERRO SANITÁRIO

Fases	CONDIÇÃO	PERÍODO TÍPICO
I	Aeróbia	Horas a 1 semana
II	Anóxica	3 meses a 3 anos
III	Anaeróbia, metanogênica, instável	8 a 40 anos
IV	Anaeróbia, metanogênica, estável	1 a 40 anos
V	Anaeróbia, metanogênica, declinante	10 a 80 anos

Fonte: ESMAP (2004)

No início da Fase I, fase aeróbia, o ar atmosférico é predominante na massa de resíduo. À medida que o O_2 vai sendo consumido pelas bactérias aeróbias, o CO_2 começa a ser gerado. Na Fase II e III, fases ácidas, a concentração de CO_2 representa a maior parte dos gases gerados no aterro devido aos processos acidogênicos e acetogênicos que resultam na formação de CO_2 e H_2 . No final da Fase III, metanogênica instável, a população das bactérias metanogênicas começa a crescer, caracterizando o início da geração de CH_4 .

O biogás é gerado na fase metanogênica, Fase IV, sendo composto basicamente pelo CH_4 e CO_2 , numa proporção de 45-60% e 55-40%, respectivamente. Ao final da degradação dos resíduos orgânicos, Fase V, a concentração destes gases tende a cair e condições aeróbias podendo vir a aparecer na massa de resíduo o N_2 e o O_2 a depender da susceptibilidade do aterro as condições atmosféricas, conforme o material de cobertura do aterro. Durante a fase de maturação, o chorume freqüentemente contém os ácidos húmico e fulvico, os quais dificultam o processo de degradação biológica (TCHOBANOGLOUS et al., 1993).

Resultados da pesquisa realizada por EL-FADEL et al. (1997) mostram que o potencial de geração de gases nos aterros varia de 0 à 400 m^3/ton de resíduo seco. Considerando a umidade média dos resíduos em 40%, estes valores caem para faixa de 0 à 240 m^3/ton de resíduo aterrado (base úmida). Por sua vez, AITCHISON (1996) afirmam que os resíduos urbanos apresentam capacidade de produção de gases de cerca de 200 m^3/ton de resíduo (base úmida) ao longo de todo processo de degradação.

As estimativas mais satisfatórias são obtidas em células experimentais pela melhor representatividade das condições ambientais de degradação. No entanto, a maior dificuldade dessa técnica é a medição da quantidade total de gases produzida no aterro, haja vista que perdas na captação e fugas laterais e de topo são sempre comuns. Em todos os outros métodos, sejam os estequiométricos, biodegradabilidade ou laboratoriais, a caracterização química (composição química) dos resíduos é fundamental para se chegar ao potencial teórico de produção do biogás em função de cada constituinte do resíduo.. Na falta desta

caracterização, a composição gravimétrica do resíduo pode ser utilizada indiretamente, no entanto, resultados poucos precisos são obtidos. A grande desvantagem destes métodos é de não reproduzir as condições de degradação encontradas no aterro.

As taxas de geração de CH₄ em função dos principais constituintes químicos servem indiretamente para estimar a produção total do biogás, uma vez que o percentual do CH₄ pode ser facilmente determinado e situa-se entre 45% à 60% do total de gases. O Quadro 2.5 apresenta um resumo das taxas de produção de CH₄ das frações biodegradáveis.

QUADRO 2.5 – TAXAS DE PRODUÇÃO DE CH₄ PARA CADA CONSTITUINTE QUÍMICO

Frações Biodegradáveis	Taxa de produção de CH ₄ (m ³ /kg seco da fração)		
	Wang (1997)	Shekdar (1997)	Themelis e Ulloa (2006)
Carboidratos	0,415	0,373	0,453
Proteínas	0,517	0,517	0,509
Lipídios	--	--	1,021

Algumas abordagens teóricas e experimentais são utilizadas para esta determinação. A abordagem teórica envolve o método estequiométrico, o qual assume uma equação geral da metanogênese para decomposição dos resíduos orgânicos, e o da biodegradabilidade, que baseia-se nas diferenças de taxas de biodegradação das frações do resíduo. A abordagem experimental é baseada em medições reais da geração de gases tanto em estudos laboratoriais quanto em células experimentais in situ (EL-FADEL et al., 1997).

A estimativa da produção total de gases é baseada na determinação das diversas frações que compõem o resíduo. As frações mais facilmente decompostas, frações orgânicas, são as que definem a quantidade de biogás que pode ser produzida por unidade de volume de resíduo. Em geral, as frações dificilmente degradáveis e as inorgânicas não são levadas em consideração nestas estimativas.

2.5.2 COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

A composição do resíduo é o fator mais importante na avaliação do potencial de geração de gás de um local. O volume potencial máximo de LFG é

dependente da quantidade e do tipo de conteúdo orgânico dentro da massa de resíduo (ESMAP, 2004), uma vez que os resíduos orgânicos em decomposição são a fonte de todo o biogás produzido. O Quadro 2.6 apresenta algumas características dos principais gases presentes no biogás.

QUADRO 2.6 – CARACTERÍSTICAS DOS GASES PRESENTES NO BIOGÁS EM UM ATERRO SANITÁRIO

Gás	Concentração típica	Densidade (kg/m ³)	Potencial calorífico (kJ/m ³)	Solubilidade em água (g/l)	Propriedades gerais
CH ₄	45-60%	0,717	35.600	0,0645	Inodor, incolor, asfixiante, inflamável
CO ₂	35-50%	1,977	--	1,688	Inodor, incolor, asfixiante
N ₂	0-10%	1,250	--	0,019	Inodor, incolor
O ₂	0-4%	1,429	--	0,043	Inodor, incolor
CO	<0,1%	1,250	12.640	0,028	Inodor, incolor, tóxico, inflamável
H ₂	<0,1%	0,090	10.760	0,001	Inodor, incolor, inflamável
H ₂ S	0-70 ppm	1,539	--	3,846	Incolor, tóxico

Fonte: MACIEL (2003).

Uma composição típica do gás pode ainda conter 350 constituintes traços que chegam a representar até 1% do total do LFG. A maioria destes constituintes são formados por compostos orgânicos, porém pode-se encontrar constituintes inorgânicos, como compostos metálicos voláteis: cádio, mercúrio, zinco e chumbo (UNITED KINGDOM, 2002). Alguns desses constituintes podem apresentar características de toxicidade bastante prejudicial à saúde humana. O Quadro 2.7 ilustra alguns dos constituintes tóxicos passíveis de detecção no biogás.

De acordo com PALMISANO e BARLAZ (1996), os constituintes inorgânicos podem afetar diretamente a degradação, pois em alguns casos estes estão dispostos “encapsulando” ou isolando os resíduos orgânicos e dificultando a ação das bactérias.

QUADRO 2.7 – CONSTITUINTES TRAÇOS NOCIVOS DETECTADOS NO BIOGÁS

NOME DO COMPOSTO	CONCENTRAÇÃO DETECTADA (ppm)	GRAU DE TOXICIDADE
Tolueno	758,0	Baixo
Hexano	25,0	Baixo
Xileno	664,0	Baixo
Benzeno	52,2	Médio
Cloreto vinílico	48,1	Médio
Metil furano	40,0	Médio
Tetracloro de carbono	68,3	Alto
Sulfeto de hidrogênio	700,0	Alto

Fonte: UNITED KINGDOM (2002)

2.5.3 FATORES QUE AFETAM A GERAÇÃO DOS GASES NOS ATERROS

A umidade é o fator limitante primordial na taxa de decomposição de resíduo (MCBEAN et al., 1995; REINHART, 1996). As condições de umidade dentro do aterro são uma função de muitos fatores. Aterros são tipicamente construídos e enchidos em padrão de camada seqüencial. Este fator é importante na compreensão de como a umidade se move para dentro e através do resíduo. O efeito de camada tende a resultar em características de fluxo substancialmente diferentes para o movimento de chorume e infiltração de água no aterro.

Outros fatores relevantes que influenciam a taxa de produção de LFG são o conteúdo dos nutrientes, conteúdo de bactéria, nível de pH, temperatura e os planos de operação e projeto específicos ao local.

Inúmeros são os fatores que afetam a geração de gases em aterros de resíduos sólidos. Segundo EL-FADEL et. al. (1997), os fatores mais comuns estão relacionados com a composição, umidade, temperatura e pH da massa de resíduo, além da disponibilidade de bactérias e nutrientes e presença de agentes inibidores na célula. Além das condicionantes citadas anteriormente, outros aspectos relacionados com a geometria e operação do aterro e com o ambiente externo à célula também são fatores determinantes na geração de gases.

O Quadro 2.8 mostra os principais fatores que afetam a geração de gases relacionados com as seguintes classificações: geometria e operação do aterro, características iniciais dos resíduos e do ambiente interno e externo à célula.

QUADRO 2.8 – PRINCIPAIS FATORES QUE AFETAM A GERAÇÃO DE GASES

FATORES	CARACTERÍSTICAS
Geometria e operação do aterro	Dimensão do aterro Impermeabilização Compactação do resíduo
Características iniciais dos resíduos	Composição do resíduo Umidade do resíduo
Ambiente interno	Umidade da massa na degradação pH nas células Temperatura Disponibilidade de bactérias Presença de agentes inibidores
Ambiente externo	Precipitação e infiltração Variação pressão atmosférica Temperatura Evapotranspiração Umidade relativa do ar

Fonte: MACIEL (2003)

2.5.3.1 Geometria e operação do aterro

As principais características da geometria do aterro para otimizar a geração dos gases são a altura da massa de resíduo e o sistema de impermeabilização da célula. A altura para predomínio das fases anaeróbias deve ser maior que a profundidade influenciada pelas condições atmosféricas. Segundo MACIEL (2003), os processos anaeróbios dominam, normalmente, em massa de resíduo com profundidade maior que 5 m. O sistema de impermeabilização da célula, por sua vez, atua reduzindo os efeitos das condições atmosféricas na massa de resíduo.

MACIEL (2003) diz que a operação do aterro também influencia os processos de decomposição dos resíduos. A redução do volume do resíduo por compactação e a utilização de pequenas áreas para um rápido fechamento das células, encurtarão o processo aeróbio. A compactação do resíduo apresenta outra vantagem, uma vez que quanto maior a densidade alcançada, mais acentuada é a produção de gás por unidade de volume.

2.5.3.2 Fatores característicos dos resíduos

A composição e umidade dos resíduos na chegada ao aterro são fatores importantíssimos na avaliação da geração dos gases. A composição do resíduo

afeta quantitativamente e qualitativamente a produção de LFG. A disponibilidade de frações mais facilmente degradáveis, como carboidratos, proteínas e lipídios, significa uma maior quantidade de substrato para a atuação de microorganismos. Desta forma, os resíduos com grande presença de matéria orgânica devem apresentar um maior potencial de produção de gases.

De acordo com EL-FADEL et al. (1997) e PALMISANO e BARLAZ (1996), a umidade da massa de resíduo é o principal fator que influencia a geração de gases nos aterros. Desta forma, a umidade de chegada dos resíduos é também muito importante, pois é esta que determinará a umidade inicial da massa de resíduos imediatamente após a conclusão do aterro. Como forma de manter a umidade dos resíduos adequada para atuação dos microorganismos nas estações secas do ano utiliza-se a técnica de recirculação do chorume. Segundo o U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS (1995), a umidade de maximização da atividade microbiana na produção do biogás varia de 50 a 60%. Por outro lado, JUCÁ et al. (1999) verificaram altas taxas de decomposição dos resíduos no Aterro da Muribeca para umidade variando entre 20 e 40%.

2.5.3.3 Aspectos do ambiente interno à célula

O Quadro 2.9 mostra os principais parâmetros relacionados com o ambiente interno da célula e sua influência na produção do biogás.

QUADRO 2.9 – PARÂMETROS DO AMBIENTE INTERNO E SUAS IMPLICAÇÕES NA GERAÇÃO DO BIOGÁS

FATORES DO AMBIENTE INTERNO	IMPLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DO BIOGÁS
Umidade da massa	Aumento da geração de biogás em umidades variando de 50-60%
pH	Maximização de produção de CH_4 – pH neutro (6,8 a 7,4)
Temperatura	Temperatura ótima para produção de biogás entre 35 – 45 °C
Disponibilidade nutrientes e bactérias	Favorecimento com excesso de nutrientes (nitrogênio, fósforo e traços). Presença de bactérias metanogênicas e acetanogênicas aumenta a geração do biogás
Agentes inibidores	Metais pesados e ácidos em excesso inibem a produção de gases

Fonte: MACIEL (2003)

As características do ambiente interno à célula estão associadas à capacidade de favorecimento ou inibição das atividades bacterianas.

2.5.3.4 Aspectos do ambiente externo à célula

A variação das condições externas provoca mudanças no ambiente interno do aterro. Essas alterações são ocasionadas principalmente pela entrada de O₂ para o interior da massa de resíduo e secundariamente por variações de temperatura. O ingresso de O₂ ocorre tanto na forma dissolvida, por meio de águas pluviais que infiltram pelas camadas argilosas, quanto na forma gasosa devido ao aumento da pressão atmosférica local. Neste último caso, o oxigênio presente na atmosfera percola pelo sistema de cobertura uma vez que a permeabilidade das argilas aos gases é elevada.

O grau de influência da temperatura irá depender do gradiente existente entre a temperatura ambiente e a temperatura da massa de resíduo nas diferentes épocas do ano. Em aterros localizados em regiões de clima tropical, onde o gradiente de temperatura é reduzido e varia muito pouco ao longo do ano, o efeito da temperatura é visto apenas nos primeiros metros. De acordo com JUCÁ et al. (2002), esta influência atinge apenas os 2,5 m iniciais no Aterro da Muribeca. Em regiões subtropicais, onde temperaturas negativas no inverno são comuns, esta profundidade pode ser significativamente maior.

2.5.3.5 Potencial de influência de alguns fatores na geração de gases

O potencial de influência de cada fator no favorecimento ou inibição das atividades bacterianas é de grande importância para o entendimento do comportamento da geração de gases nos aterros. O Quadro 2.9 sumariza a revisão bibliográfica realizada por EL-FADEL et al. (1997) sobre o referido tema.

Contrariamente ao exposto na Quadro 2.9, PALMISANO e BARLAZ (1996) mencionam que o pH apresenta um alto potencial de modificação das condições microbióticas, uma vez que alguns tipos de bactérias, como as metanogênicas, são bastante sensíveis às variações de pH. MOR et al. (2006) também discordam da importância da composição dos resíduos no potencial de geração de biogás, afirmando que a quantidade de fração orgânica é a principal determinante do potencial de geração de gases por volume de resíduo. Ainda em contradição com

Quadro 2.10, MELO (2003) verificou uma alta inibição causada por metais nos processos microbiológicos dos resíduos da Célula nº 4 do Aterro da Muribeca.

QUADRO 2.10 – POTENCIAL DE INFLUÊNCIA DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS NA GERAÇÃO DE GASES

PARÂMETROS	POTENCIAL DE FAVORECIMENTO
Composição do resíduo	Médio
Tamanho das partículas	Baixo
Temperatura	Baixo
pH	Médio
Nutrientes	Baixo
Bactérias	Baixo
Umidade	Alto
Hidrogênio	Baixo
	POTENCIAL DE INIBIÇÃO
Oxigênio	Alto
Sulfato	Baixo
Tóxicos	Médio
Metais	Baixo

Fonte: EL-FADEL et al. (1997).

Por outro lado, a literatura converge sobre a relevância da umidade na degradação dos resíduos. Segundo GEBERT e GROENGROEFT (2006), as taxas de degradação dos resíduos variam bastante com mudanças no teor de umidade. Como exemplo, citam que o tempo de decomposição de resíduos facilmente biodegradáveis aumenta de 3 para 15 anos modificando a condição de umidade de bastante úmido para seco.

2.6 RECUPERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS

O primeiro projeto de recuperação do gás de aterro para geração de energia foi realizado em Rolling Hills, Califórnia, no aterro de Palos Verdes em 1975. O gás era coletado, purificado e vendido para a Companhia de Gás Southern Califórnia. Outros projetos foram implantados ainda na mesma década, como: Mountain View, em 1978 e Monterey Park, em 1979. O primeiro projeto com aproveitamento do LFG em caldeira entrou em operação no início da década de 1980, sendo o primeiro aproveitamento do gás para geração de eletricidade realizada em Battleboro, Vermont, em 1982 (USEPA, 1996).

Segundo LAGERKVIST (1995), a Europa, em 1995, contava com vários países que já possuíam projetos de aproveitamento energético do biogás instalados, entre eles a Alemanha, com 112 plantas, a Suécia, com 56 plantas, a Holanda, com 22 plantas, além da Noruega e Dinamarca, com 9 plantas cada.

No Reino Unido os projetos de aproveitamento do gás de aterro foram iniciados em 1981 com o uso comercial do biogás substituindo combustíveis fósseis (MOSS, 1991). Em janeiro de 1993 já existiam no país cerca de 13 projetos com uso direto do biogás e 42 instalações gerando 72 MW de eletricidade (BROWN e MAUNDER, 1994).

Também são encontrados projetos de uso do gás de aterro em outros países como a Lituânia (KATINA et al., 2001) e a Jordânia (AL-DABBAS, 1998), ambos buscando a redução das emissões de GEE e a substituição de fontes de energia fósseis.

No Brasil poucos projetos de recuperação dos gases de aterros sanitários foram implantados sem os recursos oriundos do MDL. Dois destes projetos são relatados por DANESE (1981), sendo um deles da COMGÁS, que distribuía o gás de um aterro sanitário localizado no Km 14,5 da Rodovia Raposo Tavares para um conjunto residencial próximo ao local. O outro se refere ao aproveitamento do gás do Aterro Caju no Rio de Janeiro em 1977 pela CEG juntamente com a COMLURB, no qual o biogás coletado e depois de purificado, era adicionado ao gás craqueado de nafta que abastecia a cidade. A quantidade adicionada à rede era de cerca de 1000 m³/dia, com uma economia de nafta de aproximadamente 8000 l/dia. O projeto teve duração de 10 anos, sendo que em 1985 iniciou-se o aproveitamento do LFG para o abastecimento de táxis que utilizavam esse combustível (COMLURB, 2005).

Mais recentemente alguns projetos foram implantados, utilizando financiamentos estrangeiros através do mercado de créditos de carbono. O primeiro deles refere-se ao aproveitamento do gás gerado em um aterro localizado na cidade de Tremembé, no Estado de São Paulo, onde a empresa SASA Sistema Ambientais, que gerencia o local, utiliza o gás desde 2001, para evaporação do chorume do aterro (ESCOBAR, 2002). Um novo projeto prevê a geração de 50 a

100 mil KWH/mês de energia elétrica para suprimento do próprio aterro, que consome em média 30 mil kWh/mês, sendo o excedente vendido à distribuidora de eletricidade (JULIANI, 2002).

O aterro da região metropolitana de Salvador na Bahia, também possui um projeto de aproveitamento do gás gerado pela decomposição do resíduo. A empresa VEJA Bahia, que tem a concessão de operação do aterro de 1999 a 2020, prevê uma usina de geração termoelétrica com capacidade instalada de 45 MW no período de 2015 a 2021 (BATTRE, 2006).

Para a implantação de um projeto no âmbito do MDL, um aterro sanitário deve atender alguns requisitos mínimos, de forma a não causar danos à saúde pública e nem à segurança da comunidade do entorno, além de minimizar os impactos ambientais inerentes às atividades de disposição dos resíduos. Estes elementos básicos são representados pela infra-estrutura, monitoramento ambiental e geotécnico além dos procedimentos operacionais, como o recobrimento diário e o encerramento da área. Tais elementos são essenciais para toda atividade de disposição de resíduos classificada como aterro sanitário.

Os equipamentos adicionais utilizados para mitigar as emissões de CH₄ são agrupados e descritos didaticamente neste trabalho como sistemas para coleta e queima do biogás e tecnologias para geração ou recuperação energética, descritos a seguir:

2.6.1 INFRA-ESTRUTURA BÁSICA

A operacionalização do aterro deve seguir determinados procedimentos, que necessitam de inúmeras estruturas, tais como: **portaria, balança, área emergencial, refeitório, vestiários, equipamentos, área de empréstimo, cerca, oficina e almoxarifado.**

O **sistema de drenagem de águas pluviais** é parte integrante do projeto da infra-estrutura periférica do aterro e tem por finalidade interceptar e desviar o escoamento superficial das águas pluviais, evitando a sua infiltração na massa de resíduos.

O **sistema de drenagem de líquidos percolados** pode ser constituído por linhas de canaletas escavadas diretamente no solo, ou sobre a camada de aterro

impermeabilizante, conforme é citado por MONTEIRO et al. (2001). O principal objetivo desta drenagem é coletar e conduzir o líquido percolado, reduzindo as pressões sobre a massa de resíduo e, também, minimizando o potencial de migração para o subsolo. Esse sistema pode estar associado à drenagem de gases.

BARROS (1995) explica que o **sistema de drenagem de gases** é composto por poços verticais de 50 cm de diâmetro, espaçados, em média, de 50 a 60 m entre si, e executados em brita ou rachão. Existem dois métodos de se executar os drenos de gás: subindo o dreno à medida que o aterro vai evoluindo ou escavar a célula encerrada para implantar o dreno. Uma vez aberto o poço, o solo ao seu redor, num raio de aproximadamente dois metros, deve ser aterrado com uma camada de argila de cerca de 50 cm de espessura, para evitar que o gás se disperse na atmosfera. O topo do poço deve ser encimado por um queimador, normalmente constituído por uma manilha de concreto ou de barro vidrado colocada na posição vertical. A principal função é drenar os gases provenientes da decomposição da matéria orgânica.

Segundo COLMANETTI (2000), a **impermeabilização da base** de um aterro sanitário tem a função de proteger o aterro, evitando-se a contaminação do subsolo e aquíferos subjacentes, pela migração de percolados. Em regiões onde o solo apresenta coeficiente de permeabilidade em torno de 10^{-7} cm/s, poderá ser dispensada a presença desse equipamento. O material impermeabilizante deve apresentar algumas características, como: estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica, resistência às intempéries, compatibilidade físico-químico-biológica com os resíduos a serem aterrados e seus percolados. As geomembranas comumente utilizadas são de HDPE e de PVC. A espessura recomendada varia entre 1 a 2 mm.

2.6.2 MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO DO MACIÇO

MANDELI (1991) enfatiza a importância do monitoramento dos efluentes líquidos e gasosos gerados pela degradação da matéria orgânica. É uma prática fundamental, pois está diretamente relacionada à eficácia dos métodos

operacionais adotados, eficiência do equipamento e confiabilidade a todo processo de controle e recuperação.

As técnicas utilizadas para tratamento e recuperação do percolado podem ser tanto química, física quanto biológica; na própria área do aterro ou fora dele. No estado de São Paulo é prática comum tratar o chorume junto com o esgoto doméstico em estações de tratamento de efluentes. LIMA (1991) cita alguns processos que podem ser utilizados para o tratamento do chorume, mostrados no Quadro 2.10.

QUADRO 2.10 – PROCESSOS UTILIZADOS PARA O TRATAMENTO DO CHORUME

PROCESSO	DESCRIÇÃO
Recirculação ou irrigação	Consiste na infiltração do percolado, visando à atenuação do seu poder contaminante pelos organismos presentes na massa de resíduo.
Tratamento em lagoas de estabilização	Sistema fundamentado na biodegradação da matéria orgânica do chorume pela ação de bactérias aeróbias e anaeróbias.
Tratamentos químicos	O lixiviado pode ser tratado por processos envolvendo reações químicas como, por exemplo, neutralização, precipitação e oxidação.
Tratamento por filtros biológicos	Consiste na descarga contínua ou intermitente de chorume através de um meio biológico enriquecido. Os filtros biológicos podem ser aeróbios e anaeróbios.
Tratamento por processos fotossintéticos	Em países de clima tropical é possível utilizar plantas que absorvem metais e traços orgânicos presentes na água e em líquidos a serem tratados.

FONTE: LIMA (1991)

O CEMPRE (2000), cita algumas boas práticas relativas ao monitoramento geotécnico e ambiental da massa de resíduo. Os pontos críticos passíveis de controle são:

- Monitoramento Ambiental:
 - Águas subterrâneas;
 - Águas superficiais;
 - Qualidade do ar;

- Poluição do solo;
- Insetos e vetores de doenças;
- Ruído e vibração.
- Monitoramento Geotécnico:
 - Deslocamentos horizontais e verticais do maciço do aterro;
 - Nível e volume de descarga do chorume;
 - Pressão do biogás;
 - Índícios de erosão e trincas no maciço.

2.6.3 COBERTURA DAS CÉLULAS

O recobrimento da massa de resíduos é o procedimento que traz inúmeros benefícios ambientais, tais como a proteção da superfície das células, minimizando os impactos ambientais decorrentes, eliminação da proliferação de vetores, diminuição da taxa de geração de chorume, redução da exalação de maus odores, impedimento da catação de resíduos na área do aterro, permissão do tráfego de veículos coletores sobre o aterro e eliminação da saída descontrolada do biogás (CEMPRE, 2000). A frequência do recobrimento pode ser diária ou não, dependendo das necessidades individuais de cada aterro.

Para SEWELL (1998), a cobertura diária deve ser realizada, após o término de cada jornada de trabalho, com uma camada de cerca de 0,15 m de terra compactada. A cobertura intermediária, camada de solo que varia de 0,20 a 0,60m, é necessária em locais onde a superfície de disposição ficará inativa por períodos mais prolongados, próximos de um mês, aguardando, por exemplo, a conclusão de um patamar para início do seguinte.

2.6.4 ENCERRAMENTO DA ÁREA

Segundo LIMA (1991), o recobrimento definitivo ou o acabamento final do aterro é indispensável pela necessidade de se incorporar a área aterrada ao meio urbano, em condições de uso, sem causar incômodo à vizinhança.

Em aterros de menor porte, ou de profundidade até 5 m, os processos aeróbios predominam na massa de resíduos (MACIEL, 2003). Desta forma, é conveniente adotar coberturas mais permeáveis de modo a permitir uma maior

troca de O₂ com o meio ambiente. No caso de aterros sanitários de grande porte, onde a degradação anaeróbia prevalece, a cobertura deve funcionar evitando entradas incontroladas de O₂ para não alterar substancialmente a microbiologia dos resíduos. A camada final pode variar entre 0,60 a 1 m seguindo de uma fina camada de terra fértil, onde algumas espécies vegetais, resistentes à temperatura, possam ser cultivadas. Para SEWELL (1998), concluído o aterro sanitário, é preciso cobri-lo com, pelo menos, 0,50 m de terra compactada.

Os sistemas de cobertura final utilizados nos aterros podem ser de diferentes tipos, como por exemplo, camada homogênea de argila, de vários tipos/graduações de solo, argilosa com diferentes componentes geossintéticos e, mais recentemente, aquelas formadas com materiais alternativos, solos orgânicos, lodos, entre outros. No Brasil, a grande maioria dos aterros possui cobertura com camada homogênea de argila compactada. A vegetação é um elemento que deveria sempre estar associado à superfície das camadas, independentemente do sistema adotado, no intuito de evitar problemas de erosão e contração do solo (MACIEL e JUCÁ, 2002).

Além da função de minimizar a infiltração de líquidos para o interior da massa de resíduos e com isto evitar a geração excessiva de percolato sob várias condições climáticas, a cobertura tem a finalidade de minimizar a liberação aleatória de poluentes gasosos para o meio ambiente e as entradas de ar atmosférico no resíduo (KAMON et al, 2001).

DIDIER et al. (2000) salientam a falta de informação disponível na literatura em relação à eficiência de sistemas de cobertura como “barreira” de contenção aos gases. As normas brasileiras da ABNT referentes a aterros de resíduos sólidos urbanos não mencionam valores para o coeficiente de permeabilidade do solo aos gases gerados durante o processo de degradação.

O plano de encerramento da área é específico a cada aterro, pois leva em consideração o cenário onde a atividade de disposição está inserida. Deve apresentar procedimentos de controle e manutenção preventiva e corretiva para garantia da estabilidade física, química e biológica da massa de resíduos até que o local encontre-se em condições de utilização.

2.6.5 SISTEMA PARA COLETA E QUEIMA DE BIOGÁS

O princípio operacional do sistema de coleta ativo de biogás é bastante simples, consistindo na aplicação de um aspirador para extrair os gases da massa de resíduo o mais próximo possível à taxa em que o gás está sendo gerado dentro da área de influência do dreno ou da camada da forma mais prática (ESMAP, 2004).

Os tubos de sucção horizontais são instalados quando o resíduo ainda está sendo depositado no aterro. Desta forma o gás poderá ser extraído mais facilmente desde o início da sua produção, uma vez que o mesmo pode ser retirado antes do aterro ser coberto. (OLIVEIRA, 2000). Em aterros sanitários construídos conforme as normas nacionais vigentes, já está prevista a colocação desta tubulação para coleta do gás.

O'LEARY e WALSH (2006) afirmam que o número ideal de poços deve ser definido em função do equilíbrio entre o custo de instalação e o valor recebido pela recuperação do gás. O custo total de um sistema de coleta varia dependendo de um número de fatores específicos do local. Se o aterro sanitário for profundo, os custos de coleta tenderão a ser mais altos devido ao aumento no custo dos poços; e estes também aumentarão se houver a necessidade de aumentar o número de poços instalados. O Quadro 2.12 mostra os custos de um sistema de coleta com *flare* para aterros sanitários de 1, 5, e 10 milhões de toneladas de resíduo no local.

QUADRO 2.12 – CUSTOS DE UM SISTEMA DE COLETA (U\$ 1994)

QUANTIDADE DE RESÍDUOS	FLUXO ESTIMADO DE GÁS (MCF/DIA)	CUSTOS DE CAPITAL (X U\$1000)	CUSTOS DE O&M ANUAL
1 milhão de tonelada	642	628	89
5 milhões de toneladas	2.988	2.088	152
10 milhões de toneladas	5.266	3.599	218

FONTE: USEPA (1996)

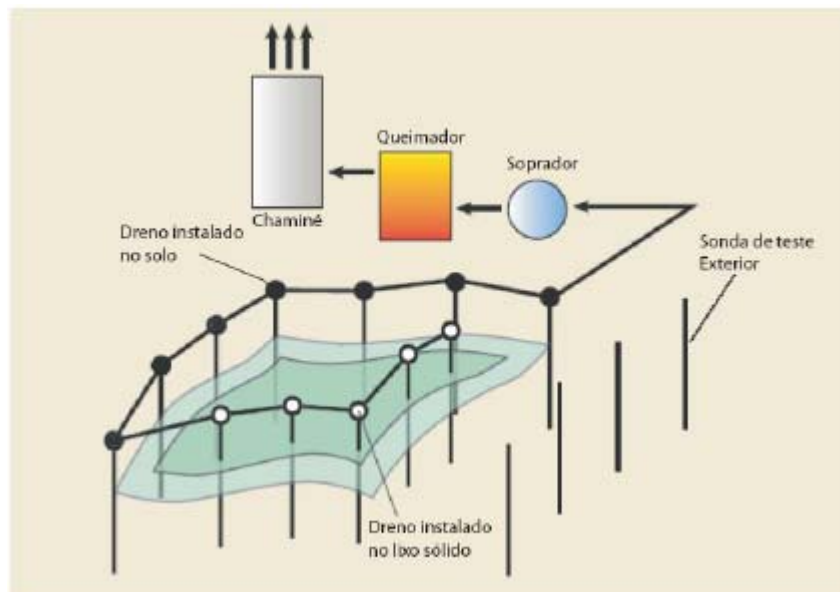
Um sistema padrão de coleta de biogás tem três componentes centrais: poços de coleta e tubos condutores, um sistema de tratamento, e um compressor. Além disso, a maioria dos aterros sanitários com sistema de recuperação energética terá um *flare* para queima do excesso de gás ou para uso durante os

períodos de manutenção dos equipamentos. (MUYLAERT et al., 2000; OLIVEIRA, 2000).

A coleta de gás normalmente começa após uma porção do aterro (chamada célula) ser fechada. Existem duas configurações de sistemas de coleta: poços verticais e trincheiras horizontais, sendo que os poços verticais é a forma mais usada para coleta. As trincheiras podem ser apropriadas para aterros sanitários profundos e podem ser usadas em áreas de aterro ativo. Independente do sistema de coleta usado, cada uma das pontas é conectada a uma tubulação lateral, que transporta o gás para um coletor principal.

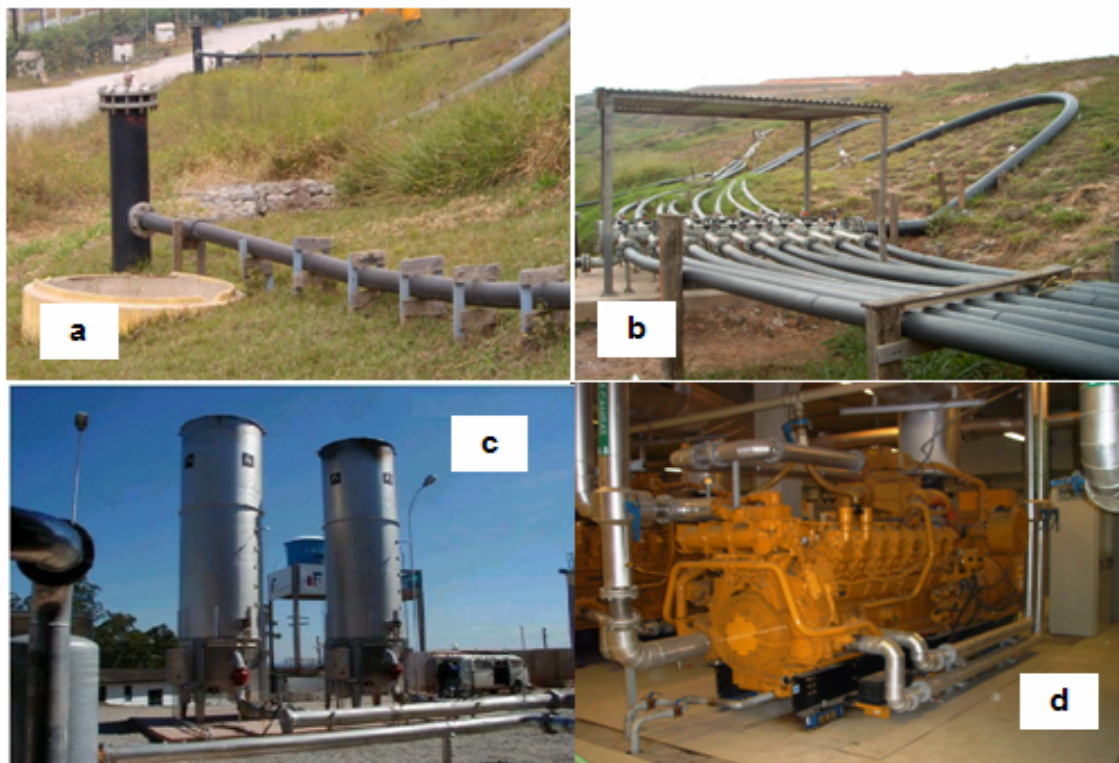
A Figura 2.3 representa um sistema típico de aproveitamento do biogás e a Figura 2.4 mostra os equipamentos utilizados para captação, queima e aproveitamento energético do biogás.

FIGURA 2.3 – SISTEMA TÍPICO DE APROVEITAMENTO DO BIOGÁS



Fonte: O'LEARY e WALSH (2006)

FIGURA 2.4 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA CAPTAÇÃO, QUEIMA E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS



a: dreno de biogás selado e conectado sistema de coleta de gás; b: Central de recebimento de biogás; c: queimadores; d: turbina para conversão energética

Fonte: BIOGÁS S.A. (2006)

Preferencialmente, o sistema de coleta deve ser planejado para que o operador possa monitorar e ajustar o fluxo de gás, quando necessário. (MUYLAERT et al., 2000) O gás é succionado do aterro por bombas ou é conduzido pelo compressor até a planta de utilização por meio de pressão nos tubos de transmissão.

A conexão de um poço com a bomba e o sistema de utilização pode ser feito de várias maneiras, sendo a mais utilizada a ligação dos poços a um tubo principal que percorre o aterro. O problema com esse sistema é a dificuldade envolvendo a regulação da quantidade e qualidade do gás. Uma outra dificuldade está relacionada a achar o local do vazamento quando todos os tubos estão

ligados a um grande sistema. Para uma operação mais segura economicamente e com melhores condições para os trabalhadores, a melhor solução é ter um tubo para cada poço e este ligado a uma bomba e a uma casa de regulação (HENRIQUES, 2004).

Há vários padrões de rede de tubulação projetados para facilitar a drenagem de líquidos e minimizar o comprimento da tubulação requerida para o sistema de coleta (ESMAP, 2004). A disposição dos drenos de coleta podem ser apresentadas em duas composições, a espinha de peixe e o cabeçote de anel. O arranjo espinha de peixe tem um único cabeçote principal com subcabeçotes que saem dele. Este arranjo representa o uso mais eficiente da tubulação, e pode ser projetado para minimizar a quantidade de condensado que se acumula no sistema de coleta de LFG. O material construtivo recomendado para a tubulação é o HDPE.

A eficiência do sistema de coleta mostra-se proporcional à eficiência do gerenciamento do chorume. O percolado que se acomoda na massa de resíduo dificulta a sucção do gás, podendo reduzir a quantidade estimada de biogás a ser coletado em até 50% (O'LEARY e WALSH, 2006).

Alguns parâmetros relevantes a compor um plano de monitoramento do sistema são as pressões negativa e diferencial, temperatura, composição do biogás, CH₄ e O₂, além da localização, na planta, das válvulas de controle.

2.6.5.1 Compressor

Este equipamento é necessário para que o gás dos poços de coleta seja comprimido antes de entrar no sistema de recuperação energética. O tamanho, tipo, e número de compressores necessários dependem da taxa do fluxo de gás e do nível desejado de compressão que tipicamente é determinado pelo equipamento de conversão energética (MUYLAERT et al., 2000).

2.6.5.2 Sistema de Tratamento de Condensado

Um importante componente de qualquer sistema de coleta de gás é o sistema de tratamento de condensado. O biogás apresenta umidade bastante elevada produzindo uma atmosfera úmida no interior dos drenos e tubulação de coleta. É importante que toda a tubulação seja projetada com a menor inclinação

possível para que a fase líquida não permaneça no interior dos tubos, mas flua no sentido de um dreno ou fossa próximos. A drenagem imprópria do condensado pode levar a bloqueios na tubulação que podem danificar vários componentes do sistema de coleta, limitando a quantidade de biogás que pode ser coletada (ESMAP, 2004).

Quando o biogás produzido pelo aterro sanitário passa através do sistema de coleta, é resfriado formando um condensado. Se o condensado não for removido, ele poderá bloquear o sistema de coleta e interromper o processo de recuperação de energia. O controle do condensado começa normalmente na célula de disposição de resíduos, onde tubos inclinados e conectores são utilizados para permitir a drenagem em tanques ou armadilhas de coleta. Estes sistemas são normalmente complementados por uma remoção de condensado pós coleta. Os métodos para a disposição do condensado podem ser: descarga no sistema público de esgoto, sistema de tratamento local, ou recirculação para o aterro sanitário. O melhor método para um aterro em particular dependerá das características do condensado, o qual depende dos componentes do resíduo local, das regulamentações vigentes, e do custo de tratamento e/ou disposição. (MUYLAERT et al., 2000).

Além da umidade excessiva, outro componente do biogás que deve ser removido é o H_2S . Normalmente a concentração do H_2S varia entre 4 e 500 ppmv, dependendo da composição química do resíduo depositado. Vários processos embasados na reação de precipitação entre íons metálicos e o H_2S foram desenvolvidos no intuito de inertizar poder corrosivo do H_2S . Os metais comumente utilizados para esse fim são o cobre e o ferro (MAAT et al., 2005).

2.6.5.3 Flare

O *flare* é um dispositivo para ignição e queima do biogás. *Flares* são considerados como um componente do sistema de recuperação energética, pois pode ser necessário durante as etapas de início e manutenção. Além disso, o *flare* pode ter o maior custo-efetividade para gradualmente aumentar o tamanho do sistema de recuperação de energia e para queimar o excesso de gás entre upgrades, isto é, antes da adição de um novo motor. Os projetos de *flare* incluem

flares abertos e enclausurados, estes mais caros, entretanto, muitas vezes preferíveis ou requeridos, porque podem proporcionar testes de concentração e podem estar relacionados a maiores eficiências de combustão (OLIVEIRA, 2000).

2.6.6 SISTEMA PARA GERAÇÃO OU RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA

O objetivo de um projeto de aproveitamento energético do biogás é, potencialmente, a geração de alguma forma de energia útil, como eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou, ainda, para abastecer gasodutos com gás de qualidade. No entanto, faz-se necessário o tratamento do biogás depois da coleta e, antes de ser usado no processo de conversão de energia, para remover algum condensado que não tenha sido coletado nos tanques de captura, assim como particulados e outras impurezas. Por exemplo, para o uso direto do gás em caldeiras, é necessário um tratamento mínimo através da remoção da umidade, enquanto um extensivo tratamento é necessário para remover o CO₂ para injeção em um gasoduto. As aplicações para a geração de energia incluem uma série de filtros para remover impurezas, que podem danificar os componentes do motor ou turbina e, com isso, reduzir a eficiência do sistema. Várias tecnologias podem ser utilizadas para maximizar o valor do biogás, no sentido da produção de energia. As mais importantes são (OLIVEIRA, 2000):

- Uso direto do gás de médio poder calorífico;
- Produção de energia / cogeração;
- Venda de gás de qualidade através de gasodutos.

A melhor configuração do sistema de conversão energética para um aterro sanitário dependerá de uma variedade de fatores, incluindo a viabilidade de um mercado de energia, os custos de projetos, as fontes potenciais de receita e várias considerações técnicas. O uso mais simples e normalmente de maior custo-efetividade do biogás é como um combustível de médio poder calorífico para caldeiras ou para uso em processos industriais, como por exemplo: operações de secagem, operações em fornos, produção de cimento e asfalto. Nestes projetos, o gás é transportado por gasoduto diretamente para um consumidor próximo, para ser utilizado em equipamentos de combustão novos ou já existentes, em

substituição ou como suplemento do combustível tradicionalmente usado. Somente baixa remoção de condensado e um tratamento de filtração são requeridos, mas pode ser necessária alguma modificação no equipamento de combustão existente (ESMAP, 2004).

Antes do LFG estar em condições de ser utilizado por um consumidor, é necessária a construção de um gasoduto para acessar a oferta de combustível, sendo que os custos variam de U\$ 250.000 a U\$ 500.000 por milha – ou variam de U\$ 155.000 a U\$ 310.000 por quilometro em países como EUA e Grã-Bretanha. Os custos dependem das diferenças de terreno, dos custos de permissão para passagem e de outras especificidades locais. Assim, a proximidade do centro consumidor é crítica para esta opção. Apesar dos ajustes na caldeira de queima serem tipicamente feitos por encomenda, os custos totais de instalação variam de U\$ 120.000 para uma caldeira 10.000 lb/hora a U\$ 300.000 para uma caldeira 80.000 lb/hora nesses países. Pode-se considerar que os custos de construção do gasoduto respondem por um terço do total (MUYLEAERT et al., 2000).

Um uso vantajoso economicamente do biogás é como combustível para a geração de energia elétrica, vantajosa porque traz valor agregado para o LFG. A co-geração de eletricidade e energia térmica (vapor) a partir do biogás pode ser uma alternativa ainda melhor, pois a eficiência da geração elétrica isolada varia de 20 a 50% e, com o uso da co-geração, podem ser obtidas eficiências mais altas devido à disponibilidade do vapor resultante do processo de geração. Este vapor pode ser utilizado localmente para aquecimento, refrigeração, para outras necessidades de processo, ou ainda transportado por tubo para uma indústria ou comércio próximo, obtendo um segundo rendimento para o projeto (USEPA, 1996).

Existem várias tecnologias para a geração de energia elétrica: motores de combustão interna, turbinas de combustão e turbinas a gás com utilização do vapor - ciclo combinado. No futuro, outras tecnologias como células combustíveis tornar-se-ão comercialmente viáveis e poderão utilizar o biogás (USEPA, 1996). O

Quadro 2.13 apresenta uma comparação entre estas tecnologias de geração de energia.

Uma terceira opção de projeto é a depuração do biogás para um produto de alto poder calorífico (gás natural) para injeção em um gasoduto. Devido ao alto custo de capital para esta opção, a mesma só terá custo-efetividade para aterros sanitários com substancial recuperação de gás, isto é, pelo menos 4 milhões de pés cúbicos/dia, ou seja, 113 mil m³/dia (MUYLAERT et al, 2000). Esta aplicação requer um tratamento de gás para remover CO₂ e impurezas relativamente intensivo. Em adição, as companhias de gás requerem que as injeções de gás em seus sistemas de gasodutos atendam a exigentes padrões de qualidade, o que pode requerer controles de qualidade adicionais. De qualquer forma, esta pode ser uma opção atrativa para proprietários de aterros sanitários, desde que seja possível utilizar todo o LFG que é recuperado. A depuração do gás exigirá significativa compressão a fim de atender a pressão no gasoduto no ponto de conexão. Gasodutos de alta pressão requerem de 300 a 500 psig, enquanto os de média e baixa podem requerer de 10 a 30 psig.

QUADRO 2.13 - TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

CARACTERÍSTICAS	MOTORES COMBUSTÃO INTERNA	TURBINAS DE COMBUSTÃO	TURBINAS COM UTILIZAÇÃO DO VAPOR
Tamanho Típico do Projeto (MW)	> 1	> 3	> 8
Necessidades de GDL (m3/dia)	> 17,7	> 56,6	> 141,9
Custos de Capital Típicos (US\$ / kW)	1.000 – 1.300	1.200 – 1.700	2.000 – 2.500
Eficiência Elétrica (%)	25 - 35	20 – 28	20 – 31
Potencial de Cogeração	Baixo	Médio	Alto
Necessidades de Compressão (Pressão Entrada (atm))	Baixo (0,1 – 2,4)	Alto (> 11,2)	Baixo (0,1 – 0,3)
Vantagens	Baixo Custo; Alta Eficiência; Tecnol. mais Comum	Resistente à Corrosão; Baixo Custo O&M; Pqno Espaço Físico; Baixa Emissão NOx	Resistente à Corrosão; Pode controlar Composição e Fluxo de Gás

Fonte: adaptado USEPA (1996)

Outras aplicações do biogás incluem o seu uso local, principalmente no caso de pequenos aterros sanitários, aquecimento de casas, produção de CO₂ para indústrias locais ou o uso como combustível veicular, como gás natural ou metanol comprimido (OLIVEIRA, 2000).

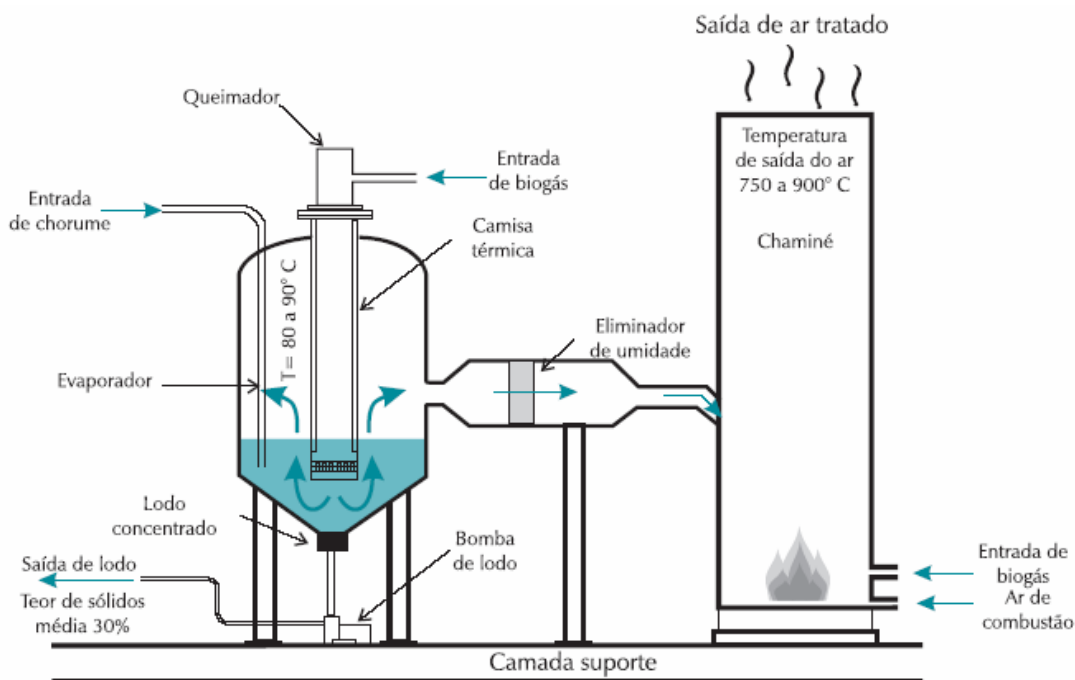
HENRIQUES (2004), comenta que em países como os Estados Unidos, o uso como combustível veicular está em fase inicial de comercialização, com apenas alguns projetos desenvolvidos. O sucesso desses usos também dependerá do tamanho do aterro, da qualidade do gás e de outras especificidades locais.

2.6.7 EVAPORAÇÃO DO CHORUME

No Brasil, atualmente o uso mais comum do biogás como fonte energética em aterros sanitários é no sistema de evaporação do chorume. Segundo MONTEIRO et al. (2001), no processo de evaporação, o percolato é enviado para um tanque metálico, o evaporador, onde é aquecido a uma temperatura entre 80 e 90°C, o que faz com que parte da fração líquida se evapore, concentrando o teor de sólidos do chorume. O lodo adensado, com cerca de 30% de material sólido, sai pela parte inferior do evaporador e é vazado no aterro. O vapor quente, quando sai do evaporador, passa por um filtro retentor de umidade e vai para uma câmara de aquecimento final, de onde é lançado, seco, na atmosfera. A Figura 2.5 apresenta um esquema típico de evaporador de chorume.

A grande vantagem deste processo é seu baixo custo operacional, pois o combustível utilizado para o processo de evaporação é o biogás captado no próprio aterro.

FIGURA 2.5 – SISTEMA TÍPICO PARA EVAPORAÇÃO DO CHORUME



Fonte: MONTEIRO et al. (2001)

2.7 INDICADORES AMBIENTAIS PARA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Com o objetivo de auxiliar a formulação de políticas e a tomada de decisões, teve início, na década de 90, a elaboração de indicadores de sustentabilidade, nas mais diversas áreas relacionadas ao desenvolvimento das sociedades.

A partir da publicação do relatório da II Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD, o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade atinge um novo patamar. Passam a ser realizados eventos internacionais para discutir quais os conceitos e as metodologias que devem ser utilizados de forma consensual para medir a adequação das atividades à responsabilidade inter-geracional.

O termo indicador é definido pela OECD (1998) como um parâmetro ou valor derivado de parâmetros que aponta, fornece informações ou descreve o estado de um fenômeno, ambiente ou área e cujo significado excede aquele diretamente associado ao seu valor. Os indicadores têm a função de síntese e são

desenvolvidos para propostas específicas. Parâmetro, por sua vez, é definido como uma propriedade que pode ser medida ou observada.

HANNOURA (2006) define indicadores como um modelo, no sentido de uma medida, uma indicação da realidade, não de um objetivo a ser alcançado ou imitado. Sua interpretação é que baliza seu significado, isto é, a carga semântica que traz em seu bojo dependerá do contexto no qual estarão inseridos.

É importante ressaltar que os indicadores têm a capacidade de sintetizar a informação e simplificar o processo de comunicação. Existem diferentes interpretações do termo, entre elas:

- Conjunto de parâmetros ou indicadores agregados ou ponderados (OECD, 1998);
- Resultado da combinação de diferentes variáveis ou parâmetros em um único valor, atribuindo um peso relativo a cada componente (BAKKES et al., 2006);
- Método estatístico o qual resume grande quantidade de informação relacionada e que utiliza algum processo sistemático para atribuir pesos relativos, escalas e agregação de variáveis em um resultado único (USEPA, 1995).

No processo de tomada de decisão, os indicadores podem auxiliar a sintetizar um grande volume de informação técnica, a definir temas prioritários e medidas necessárias, a identificar problemas e áreas de ação, a fixar objetivos e metas de qualidade ambiental e, a medir e divulgar informações sobre tendências, evolução e condições do ambiente e dos recursos naturais (WINOGRAD, 1995).

Por serem abrangentes, os indicadores ambientais podem ser utilizados como uma ferramenta de apoio ao desenvolvimento sustentável, embora nem todos os problemas ambientais são relevantes neste contexto (PERIS-MORA, 2005).

O uso de indicadores ambientais como indicadores de desenvolvimento sustentável requerem uma adaptação ou reavaliação, pois podem apresentar lacunas em relação a aspectos econômicos e sociais necessários à análise do desenvolvimento sustentável, ou ainda, pode realçar aspectos de menor importância. Cabe ainda ressaltar que a falta de consenso na definição de

sustentabilidade e desenvolvimento sustentável tem-se mostrado problemática em termos operacionais (CRABTREE e BAYFIELD, 1998), o que dificulta a seleção de um conjunto de indicadores abrangentes.

2.7.1 CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE INDICADORES

A OECD (1998) apresenta alguns critérios para a seleção de indicadores ambientais, os quais estão reunidos em três grupos denominados básicos: *relevância política*, *capacidade de análise* e *mensurabilidade*.

Em relação à *relevância política* e utilidade para os usuários, um indicador deve apresentar um quadro representativo das condições ambientais, das pressões sobre o ambiente ou das respostas da sociedade, além de ser simples, fácil de interpretar e capaz de mostrar tendências através do tempo. É aconselhável ser sensível a mudanças no ambiente e considerar as atividades humanas, proporcionando uma base para comparações internacionais ou, no mínimo, ter abrangência nacional ou ser aplicado regionalmente, porém com importância nacional. Também é importante a apresentação de limites ou valores de referência associados, para que o usuário possa saber o significado do seu valor.

Em relação à *capacidade de análise*, um indicador deve ser teoricamente bem fundamentado em termos técnicos e científicos, baseado em padrões e consensos internacionais, além do seu uso ser compatível em modelos econômicos, prognósticos e sistemas de informação.

Em relação à *mensurabilidade*, um indicador deve ser alimentado por dados facilmente coletados ou disponíveis a uma relação custo/benefício razoável, adequadamente documentados e atualizados em intervalos regulares.

A OECD (1998) ressalva que esses critérios, por descreverem um indicador ideal, dificilmente são encontrados na prática. Portanto, embora sejam demonstrativos de qualidade, não devem ser considerados de forma absoluta, sem uma análise mais detalhada do contexto em que são utilizados.

Na elaboração da informação ambiental e seleção dos indicadores, deve-se considerar que o melhor conjunto depende dos objetivos do trabalho, os quais são definidos em função das necessidades dos usuários. Metas e objetivos

incertos ou ambíguos podem levar ao uso de variáveis inadequadas, medidas no local errado, no período errado e com pequena precisão e confiabilidade (OECD, 1998). Portanto, os critérios para seleção de indicadores podem assumir diferentes pesos em função dos diferentes propósitos de uso (BAKKES et al., 2006).

Dessa forma, os indicadores devem ser parte de um processo e não um fim em si, priorizando o uso da informação e não sua obtenção (HEINEMANN et al., 1999). Uma de suas principais funções é a comunicação. A informação deve ser elaborada para atender o usuário e, portanto, deve ser compreendida por ele. Os indicadores são apenas ferramentas de análise e, muitas vezes, precisam ser complementados por informações adicionais para evitar interpretações errôneas. Em alguns casos, para compreendê-los é necessária a complementação com textos e análises. Ou ainda, com ferramentas que permitam sua visualização (OECD, 1998; WINOGRAD, 1995).

A saber, a importância da apresentação de padrões que permitam estabelecer comparações entre os valores desejáveis e os obtidos (BAKKES et al., 2006); as informações devem ser compatíveis com a escala de trabalho e a abrangência da área de estudo (WINOGRAD, 1995).

Os indicadores devem ser relatados e interpretados dentro de seu contexto, considerando as condições ecológicas, geográficas, sociais, econômicas e estruturais nas quais eles se inserem (OECD, 1998). Quando for importante a análise da evolução, os indicadores devem ter a capacidade de expressar as mudanças em uma escala de tempo compatível com os problemas (GILBERT, 1996). Devem ser cientificamente válidos, considerando-se que são representativos de uma realidade mais complexa. Esse modelo e sua métrica devem ser elaborados e refinados quando necessário (HEINEMANN et al., 2006).

Outro critério muitas vezes colocado como importante é sua padronização e uso por diversos países. A OECD (1998) salienta que a uniformidade das informações é necessária para facilitar estudos comparativos e elaboração de políticas integradas, seja entre locais, regiões ou países. Nesses casos, os indicadores que podem ser uniformizados apresentam maior utilidade. Porém não

há um método simples para a padronização ou a comparação entre parâmetros ambientais, principalmente devido à diversidade de definições e métodos de medida.

BAKKES et al. (2006) esclarecem que essas ferramentas, por serem específicas do processo ao qual fazem parte, são adequadas em alguns casos e não o são em outros. Dessa forma, não há um único conjunto de indicadores ambientais universais. Alguns temas de abrangência global, por exemplo, a proteção da camada de ozônio ou o efeito estufa, requerem comparações internacionais. No entanto, a decisão que envolve questões de abrangência nacional, regional ou local pode requerer um conjunto específico de indicadores, como, por exemplo, o conjunto de indicadores desenvolvido pelo Centro Clima¹ para dar suporte à análise de sustentabilidade realizada pela CIMGC, descritos a seguir.

2.7.2 CRITÉRIOS E INDICADORES DE ELEGIBILIDADE PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS CANDIDATOS AO MDL

O Artigo 12.2 do Tratado de Quioto define a finalidade do MDL como sendo assistir as Partes não pertencentes ao Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, além de assistir às Partes Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões.

O Acordo de Marraqueche (UNFCCC 2006d), firmado na COP-7, estabeleceu que a OED credenciada pelo Comitê Executivo deve receber dos participantes do projeto uma aprovação escrita, obtida a partir das ANDs de cada Parte envolvida. A confirmação de que o projeto contribui para o desenvolvimento sustentável do país hospedeiro tem que ser incluída.

Tendo em vista o exposto acima, a AND do país hospedeiro, terá a responsabilidade de verificar se o objetivo do Artigo 12.2 do Tratado foi atingido,

¹ O Centro Clima, Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, foi criado em dezembro de 2000, através da Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos do Ministério do Meio Ambiente, por meio de convênio com a COPPE/UFRJ. As ações do MMA na área de mudança do clima estão concentradas no referido Centro e no Núcleo de Mudanças Climáticas da SQA.

no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável. No caso do Brasil, a CIMGC tem essa incumbência.

Apesar das interpretações variarem em relação aos conceitos de desenvolvimento sustentável, o Ministério do Meio Ambiente entendeu que a Comissão Interministerial necessita de critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade para a avaliação nacional dos projetos. A falta de parâmetros de avaliação poderia levar à diversas interpretações quanto a sustentabilidade dos mesmos.

Com a finalidade de apoiar o MMA em relação à análise de projetos que contribuam para a redução da concentração de GEE na atmosfera, o Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, Centro Clima, foi requisitado pela SQA/MMA a estabelecer critérios de avaliação para projetos de redução de GEE. Esses critérios serviram como proposta de discussão no âmbito da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, tendo em vista que uma de suas competências é definir critérios de elegibilidade para projetos de MDL adicionais àqueles formulados pelo Comitê Executivo Internacional (BRASIL, 2006a). Esta definição deve adequar-se tanto à Convenção Quadro sobre Mudança do Clima como à política brasileira de desenvolvimento sustentável.

Os critérios estabelecidos pelo Centro Clima tiveram como base o trabalho desenvolvido por LA ROVERE e THORNE, (1999). A proposta original estabeleceu 4 critérios de elegibilidade de caráter eliminatório, os quais foram reduzidos para 2 pelo Centro Clima. Os 8 indicadores de sustentabilidade e os 3 indicadores de viabilidade operacional, ambos de caráter classificatório, foram mantidos. A proposta para priorização dos projetos de MDL apresentada pelo Centro Clima ao MMA contempla os critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade, apresentados no Quadro 3.3.

A utilização do biogás gerado em aterros sanitários para produzir energia é prática comum em outros países com tecnologia mais avançada, no entanto os aterros sanitários brasileiros iniciaram as atividades de captação e queima do biogás motivados pelo incremento financeiro advindo do Tratado de Quioto através do MDL. A implementação desse instrumento econômico no Brasil, a viabilidade técnica e econômica para a mitigação do CH₄ em atividades de disposição de resíduos mostravam-se uma incógnita que esta pesquisa teve por objetivo elucidar.

A importância deste trabalho está baseada na apresentação dos desdobramentos do Tratado de Quioto no Brasil, incluindo as tecnologias adotadas no país para a mitigação do CH₄, além dos benefícios ambientais provenientes da captação do biogás.

OBJETIVOS

GERAL

Este trabalho teve por objetivo avaliar a potencialidade de implementação do MDL em aterros sanitários brasileiros quanto à sustentabilidade local e ambiental.

ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo principal deste trabalho foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar a situação atual das atividades de projeto de MDL em aterros sanitários no Brasil;
- Identificar os aterros sanitários com projetos em MDL validados e disponibilizados pelos organismos oficiais, nacionais e internacionais;
- Comparar as características de cada projeto de MDL entre os aterros sanitários escolhidos como estudo de caso;
- Avaliar a capacidade de recuperação do biogás em cada projeto;
- Verificar as tecnologias utilizadas para a recuperação do biogás;

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo e, visando um melhor entendimento dos resultados apresentados, a metodologia foi concebida para ser aplicada em cinco fases, identificadas a seguir:

Fase 1: Revisão bibliográfica sobre o tema abordado neste estudo;

Fase 2: Identificação da situação atual do MDL no Brasil;

Fase 3: Identificação dos aterros sanitários brasileiros com projetos em atividade no MDL e seleção para visita técnica;

Fase 4: Quantificação das emissões de GEE em aterros sanitários na linha de base e das emissões reduzidas através de projetos de MDL;

Fase 5: Análise das tecnologias de mitigação de GEE em aterros sanitários brasileiros.

Para este estudo foi realizado um diagnóstico da situação em relação aos desdobramentos do MDL em aterros sanitários brasileiros, através de consultas a órgãos oficiais nacionais e internacionais, visitas técnicas e aplicação do questionário base. Ainda foi utilizado o conjunto de indicadores desenvolvido pelo Centro Clima para dar suporte à avaliação dos aterros sanitários brasileiros, segundo os critérios de adicionalidade e sustentabilidade.

3.1 ESTRUTURAÇÃO DAS FASES

3.1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta fase do trabalho envolveu uma ampla análise dos dados disponibilizados pelos órgãos oficiais nacionais e internacionais, sobre a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, o Tratado de Quioto e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo com seu desdobramento no Brasil e no Mundo. O estado da arte de projetos para aterros sanitários brasileiros, as características do biogás gerado pela degradação biológica da matéria orgânica e os sistemas utilizados para coleta, tratamento e queima do biogás, além de apresentar sucintamente as tecnologias para aproveitamento energético do CH₄.

3.1.2 IDENTIFICAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL DO MDL NO BRASIL

A identificação foi realizada segundo a disponibilidade do Documento de Concepção de Projeto pelo MMA e UNFCCC.

A pesquisa apurou quantas atividades de projeto já foram submetidas, aprovadas, aprovadas com ressalva, ou estão em revisão na CIMGC e no UNFCCC. Na esfera nacional, as atividades de projeto são consideradas **submetidas** somente após a verificação, pela Secretaria Executiva, de que todos os documentos referentes a essas atividades de projeto, exigidos em conformidade com as resoluções da CIMGC, tenham sido devidamente entregues e, assim, essa documentação será tornada pública em meio eletrônico na página do Ministério da Ciência e Tecnologia. As atividades de projeto cuja contribuição para o desenvolvimento sustentável for considerada adequada, mas que apresentem erros de edição ou quaisquer incongruências consideradas de menor relevância pelos membros da Comissão, serão consideradas **aprovadas com ressalva**. Já as atividades que necessitem de esclarecimentos quanto à descrição da contribuição para o desenvolvimento sustentável ou que apresentem erros de edição ou quaisquer incongruências que os membros da Comissão considerem relevantes, serão consideradas **em revisão**.

Na Internet, o local oficial da convenção Quadro das Nações Unidas disponibiliza os DCPs que estão em atividade no ciclo do projeto, conforme elencado:

Atividades de projeto registradas - são apresentados os projetos que estão na fase inicial do ciclo, ou seja, apenas registrados no Comitê Executivo, no período compreendido entre 18 de novembro de 2004 e 11 de setembro de 2006.

Pedido para o registro das atividades do projeto - fornece as atividades do projeto que solicitaram o registro e que estão, atualmente, sob a consideração do Comitê Executivo. Se nenhuma revisão for pedida, estas atividades serão registradas no sistema, automaticamente.

Validação – em relação aos requisitos para o MDL, esta etapa corresponde ao processo de avaliação independente de um projeto por uma EOD, com base no

DCP. Os projetos brasileiros que estão devidamente registrados e disponíveis para comentários públicos são 5 e nenhum deles é relacionado a aterros sanitários.

Monitoramento - Inclui o recolhimento e armazenamento de todos os dados necessários para calcular a redução das emissões de GEE, de acordo com a metodologia de linha de base estabelecida no DCP.

Etapa Final - é referente à consideração, pelo Conselho Executivo, que todas as etapas foram cumpridas; que as reduções das emissões de GEE decorrentes das atividades de projeto são reais, mensuráveis e de longo prazo e, portanto, podem dar origem a RCEs.

3.1.3 IDENTIFICAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS COM PROJETOS EM ATIVIDADE NO MDL E SELEÇÃO PARA VISITA TÉCNICA

Para o desenvolvimento deste estudo, em relação às visitas técnicas aos aterros sanitários brasileiros com atividade no MDL, foi realizada uma seleção baseada, principalmente, nas tecnologias para mitigação de GEE em aterros sanitários. Os locais visitados atenderam aos seguintes critérios:

- Disponibilidade da empresa responsável para atender a solicitação de visita técnica e disponibilização de pessoal qualificado para acompanhar a visita e responder o questionário;
- Identificação da fase do projeto:
 - Os equipamentos para coleta e queima do biogás estavam instalados e operando?
 - Os equipamentos para coleta e queima do biogás estavam em fase de instalação?

Em função de limitações financeiras, para este estudo foram selecionados 4 aterros para visita técnica, após o que foi estabelecido um cronograma de viagens. Detalhes como a data da visita, a localização geográfica e a situação do projeto são apresentadas no Quadro 3.1.

A visita técnica ao Aterro Sanitário de Adrianópolis foi parte das atividades desenvolvidas durante a disciplina de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, do curso de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR.

QUADRO 3.1 – CRONOGRAMA DE VIAGEM

DATA	ATERRO SANITÁRIO	LOCAL	SITUAÇÃO DO PROJETO
24.08.06	ESTRE	Paulínia – SP	em operação
25.08.06	Anaconda	Santa Isabel – SP	em implantação
	SASA	Tremembé - SP	em operação
26.08.06	Lara	Mauá – SP	em implantação

Para o levantamento das informações necessárias foi criado um questionário, baseado no modelo desenvolvido por RAMOS (2002). Este questionário foi aplicado aos aterros visitados e foram consideradas diversas informações referentes à origem do resíduo depositado, infra-estrutura existente, parâmetros sócio-econômicos e legais, além das características próprias para mitigação de GEE, como mostra o Quadro 3.2.

Em função dos critérios decisórios especificados para os aterros sanitários com projeto de MDL em atividade, a pesquisa de campo visou dirimir dúvidas, obter informações e ampliar os conhecimentos sobre as áreas em estudo. Para tanto, a pesquisa foi levada a efeito através da associação de técnicas, tendo sido composta por:

1. Pesquisa de campo: nesta etapa do trabalho observou-se os locais de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, os procedimentos diários adotados, a infra-estrutura, além das técnicas e equipamentos para coleta e queima do biogás;
2. Entrevista: durante as visitas, as perguntas especificadas no questionário serviram para a abordagem das questões relevantes a serem elucidadas foram esclarecidas, entretanto quando qualquer dúvida ainda precisou ser esclarecida, a técnica adota foi o contato através de correio eletrônico.

As perguntas pré-estabelecidas foram padronizadas e deram origem ao questionário base, o qual pode ser apreciado em sua totalidade no Anexo 4.

QUADRO 3.2 – QUESTIONÁRIO BASE

QUESTÕES	REFERÊNCIA
1 – 4	Dados gerais
5 -9	Parâmetros técnicos relacionados à unidade de tratamento de resíduos de serviços de saúde
10 – 12	Parâmetros técnicos relacionados à unidade de processamento de entulho
13 – 15	Parâmetros técnicos relacionados à unidade de processamento de resíduos industriais
16 – 18	Parâmetros técnicos relacionados à unidade de processamento de resíduos provenientes de portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários
19 – 21	Parâmetros técnicos relacionados à unidade de processamento de resíduos agrícolas
22 – 42	Parâmetros técnicos relacionados à gestão de aterro sanitário
43 – 46	Parâmetros sócio-ambientais
47 – 48	Parâmetros legais
49 - 57	Parâmetros técnicos relacionados a mitigação de GEE

3.1.4 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE EM ATERROS SANITÁRIOS NA LINHA DE BASE E DAS EMISSÕES REDUZIDAS ATRAVÉS DE PROJETOS DE MDL

3.1.4.1 Estimativa das emissões de GEE na linha de base dos aterros sanitários visitados

O Modelo de Decaimento de Primeira Ordem (USEPA, 1996) é um método consagrado na literatura, o qual pode ser utilizado para quantificar a geração de biogás durante a vida útil de um aterro. A expressão numérica é a seguinte:

$$LFG = 2 * L_0 * R * (e^{-kt} - e^{-kc}) \quad (3.1)$$

Onde:

LFG =	biogás liberado.....	(m ³ /ano)
L ₀ =	quantidade potencial teórica de CH ₄ gerado..	(m ³ /tonelada)
R =	taxa de disposição de resíduos.....	(toneladas/ano)
t =	tempo desde a abertura do aterro.....	(anos)
c =	tempo desde o fechamento do aterro.....	(anos)
k =	taxa de geração de gás de aterro.....	(ano ⁻¹)

As variáveis R, t e c foram coletadas em campo, na oportunidade da visita técnica e encontram-se listadas no Quadro 4.7 Os valores referentes às variáveis k e L₀ foram padronizados para todos os cálculos, sendo considerado os valores padrão para estas variáveis (USEPA, 1996): L₀ = 169,70 e k = 0,05/ano.

As emissões de CH₄, expressas em toneladas por ano, foi determinada a partir da expressão numérica 3.2:

$$M = \frac{0,016 * LFG}{22,4} \quad (3.2)$$

Onde:

M = emissões de CH₄..... (tonelada/ano)
 0,016 = peso molecular do CH₄..... (tonelada/kmol)
 22,4 = volume molecular do CH₄ a 0°C..... (m³/ano)

As emissões de GEE são calculadas em toneladas equivalentes de CO₂, através da Equação 3.3:

$$ER = 21 * M \quad (3.3)$$

Onde:

ER = emissão de GEE na linha de base..... (tCO₂e /ano)
 21 = GWP do CH₄..... (tCO₂e /tCH₄)

3.1.4.2 *Quantificação das emissões de GEE reduzidas através dos projetos de MDL*

As metodologias elaboradas pelo Comitê Executivo do MDL e disponibilizadas pelo UNFCCC, abrangem várias informações a serem implementadas no projeto além do cálculo estimativo das emissões a serem reduzidas. Tais informações abrangem a linha de base, a adicionalidade e o monitoramento a ser implantado. No tocante desta pesquisa, apenas os modelos numéricos das metodologias AM0003, ACM0001 e AM0011, utilizadas pelos aterros sanitários visitados foram considerados.

AM0003: Análise Simplificada para Projetos de Captura de Gás de Aterro Sanitário

A redução de GEE alcançada pela atividade do projeto (ER_y) durante um dado tempo é a diferença entre a quantidade de CH₄ mitigada no projeto (MD_{projeto,y}) e a quantidade de CH₄ mitigada sem o projeto (MD_{linhadabase,y}), vezes o potencial de aquecimento global do CH₄ (GWP), como mostra a Equação 3.4.

$$ER_y = (MD_{projeto,y} - MD_{linhadabase,y}) * GWP_{CH_4} \quad (3.4)$$

A quantidade de CH₄ destruída na atividade do projeto (MD_{projeto,y}) é a quantidade de biogás que poderia ser queimada ou destruída na ausência do projeto (MD_{linhadabase,y}) considerando a eficiência do sistema de coleta (EAF) que

poderia ser imposta pela legislação atual ou circunstâncias similares quando do início do projeto. A Equação 2 mostra a relação:

$$MD_{baseline,y} = MD_{projeto,y} * EAF \quad (3.5)$$

Substituindo a Equação (3.5) na Equação (3.4), a quantidade de CH₄ mitigada sem o projeto (MD_{linhadabase,y}) não é necessária para a quantificação da redução de GEE, como é visto na Equação 3.6:

$$ER_y = MD_{projeto,y} (1 - EAF) * GWP_{CH_4} \quad (3.6)$$

ER_y é a redução de GEE mensurada em tCO_{2e}. MD_{projeto,y} é a quantidade de CH₄ destruída pelo projeto mensurada em tCH₄. EAF é o fator de ajuste de eficiência, expresso como um decimal, seu valor padrão é 0,20. O valor aprovado para potencial de aquecimento global, GWP para o CH₄ até dezembro de 2012 é 21.

A quantidade de CH₄ destruída pela atividade do projeto é determinada pelo monitoramento da quantidade de CH₄ queimado sistematicamente e usado para gerar eletricidade, como mostra a Equação 3.7:

$$MD_{projeto,y} = MD_{flared,y} + MD_{eletricidade,y} \quad (3.7)$$

$$MD_{flares,y} = LFG_y * w_{CH_4,y} * FE * d_{CH_4} \quad (3.8)$$

Na Equação 3.8, LFG_y é a quantidade de biogás queimada sistematicamente e mensurada em m³, w_{CH₄} é a fração de CH₄ mensurada periodicamente, FE é a eficiência de queima e d_{CH₄} é a densidade do CH₄, expressa em tCH₄/m³CH₄.

A quantidade de CH₄ destruída pela geração de eletricidade é a quantidade de eletricidade gerada (EG_y), mensurada em MWh; HR é a taxa de calor mensurada em GJ/MWh e EC_{CH₄} é a quantidade de energia mensurada em GJ/tCH₄. A Equação 3.9 mostra a relação entre as variáveis.

$$MD_{eletricidade,y} = EG_y * HR / EC_{CH_4} \quad \dots(3.9)$$

ACM0001: Metodologia consolidada de linha de base para atividades de projetos com gás de aterro

A redução de emissões de GEE obtida pela atividade do projeto durante um determinado ano “y” (ER_y) corresponde à diferença entre a quantidade de CH_4 realmente destruída/queimada durante o ano ($MD_{project,y}$) e a quantidade de CH_4 que teria sido destruída/queimada durante o ano na ausência da atividade do projeto ($MD_{reg,y}$), vezes o valor aprovado do PAG para o CH_4 (GWP_{CH_4}), mais a quantidade líquida de eletricidade deslocada durante o ano (EG_y), multiplicada pela intensidade de emissões de CO_2 da eletricidade deslocada ($CEF_{electricity,y}$), mais a quantidade de energia térmica deslocada durante o ano (ET_y) multiplicada pela intensidade de emissões de CO_2 da energia térmica deslocada ($CEF_{thermal,y}$). A Equação 3.10 apresenta a relação entre as variáveis.

As reduções de emissões relacionadas com a eletricidade e a energia térmica, ou seja, o segundo e o terceiro termo da Equação 3.10, aplicam-se somente ao caso (c), onde o gás captado é usado para produzir energia.

$$ER_y = (MD_{projeto,y} - MD_{reg,y}) * GWP_{CH_4} + EG_y * CEF_{eletricidade,y} + ET_y * CEF_{termica,y} \quad (3.10)$$

ER_y é medida em toneladas de equivalentes de CO_2 (tCO_2e). $MD_{project,y}$ e $MD_{reg,y}$ são medidas em tCH_4 . O valor aprovado do PAG do CH_4 (GWP_{CH_4}) para o primeiro período de compromisso é $21 tCO_2e/tCH_4$. EG_y é medida em MWh. A intensidade das emissões de CO_2 , $CEF_{electricity,y}$, é medida em tCO_2e/MWh ; a energia térmica é medida em TJ e a $CEF_{thermal,y}$ é medida em termos tCO_2e/TJ .

Nos casos em que $MD_{reg,y}$ for dada ou definida como uma quantidade, essa quantidade será usada. Nos casos em que as exigências contidas em normas regulamentadoras ou contratos não especificarem $MD_{reg,y}$, um “Fator de Ajuste” (AF) deve ser usado e justificado, levando-se em conta o contexto do projeto, como relaciona a Equação 3.11.

$$MD_{reg,y} = MD_{projeto,y} * AF \quad (3.11)$$

O CH_4 destruído pela atividade do projeto durante um ano é determinado pelo monitoramento da quantidade de CH_4 realmente queimada e/ou do gás usado

para gerar eletricidade e/ou produzir energia térmica, quando for o caso de uma das parcelas relacionadas na Equação 3.12.

$$MD_{projeto,y} = MD_{flared,y} + MD_{eletricidade,y} + MD_{thermal,y} \quad (3.12)$$

A Equação 3.13 relaciona os dados a serem coletados para a parcela $MD_{flared,y}$ que é a quantidade de CH_4 destruída pela queima. $LFG_{flare,y}$ é a quantidade de biogás queimada durante o ano, medida em m^3 , $w_{CH_4,y}$ é a fração média de CH_4 do biogás, medida durante o ano e expressa como fração, em $m^3 CH_4/m^3 LFG$, FE é a eficiência da queima, ou seja, a fração do CH_4 destruída e d_{CH_4} é a densidade de CH_4 expressa em tCH_4/m^3CH_4 .

$$MD_{flared,y} = LGF_{flared,y} * w_{CH_4} * d_{CH_4} * FE \quad (3.13)$$

A quantidade de CH_4 destruída na geração de eletricidade, $MD_{eletricidade,y}$ é calculada através da Equação 3.14, cujas variáveis são a quantidade de biogás fornecida ao gerador de eletricidade, $LFG_{eletricidade,y}$, multiplicada pela fração e densidade do CH_4 .

$$MD_{eletricidade} = LGF_{eletricidade} * w_{CH_4} * d_{CH_4} \quad (3.14)$$

A quantidade de CH_4 destruída para gerar energia térmica, $MD_{thermal,y}$, é a quantidade de biogás alimentada à caldeira, $LFG_{thermal,y}$ multiplicada pela fração e densidade do CH_4 , apresentada na Equação 3.15.

$$MD_{thermal,y} = LFG_{thermal,y} * w_{CH_4} * d_{CH_4} \quad (3.15)$$

AM0011: Recuperação de gás de aterro com geração de eletricidade e sem captura ou destruição de CH_4 no cenário da linha de base

A Equação 3.16 quantifica a redução na emissão de GEE alcançada pela atividade do projeto durante um período (ER_y) como sendo a quantidade de CH_4 atualmente destruída durante o período ($MD_{projeto,y}$) multiplicado pelo PAG do CH_4 (GWP_{CH_4}). ER_y é mensurado em tCO_2e , $MD_{projeto,y}$ em tCH_4 . O GWP_{CH_4} é 21 tCO_2e/tCH_4 .

$$ER_y = MD_{projecty} * GWP_{CH_4} \quad (3.16)$$

O CH₄ destruído pela atividade do projeto (MD_{projecty}) é a soma do CH₄ queimado e/ou usado para evaporar o chorume ou para gerar eletricidade, apresentado na Equação 3.17.

$$MD_{projeto,y} = CH_{4flared,y} + CH_{4leachate,y} + CH_{4eletricidade,y} \quad (3.17)$$

As variáveis CH_{4flared,y}, CH_{4leachate,y}, e CH_{4electricity,y} são mensuradas em m³ e determinadas pela fração do volume de CH₄ usado em cada uma das propostas. O volume pode então ser convertido em tCH₄ usando o peso molecular do CH₄.

3.1.5 ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS DE MITIGAÇÃO DE GEE EM ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS

A análise das tecnologias de mitigação de GEE deu-se através dos indicadores de sustentabilidade, baseados na “**Proposta Revisada de Critérios e Indicadores de Elegibilidade para Avaliação de Projetos Candidatos ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**”, elaborado pelo Centro Clima e pelo Núcleo de Trabalho em Mudanças Climáticas da SQA (LA ROVERE e THONE, 2006), para apoiar o MCT na análise de projetos que contribuam para a redução da concentração de GEE na atmosfera.

A proposta do Centro Clima estabeleceu 2 critérios de elegibilidade e 10 indicadores de sustentabilidade ambiental, todos de caráter classificatório. Esses critérios e indicadores são apresentados no Quadro 3.3.

Para alcançar os objetivos específicos desta pesquisa, os indicadores listados no Quadro 3.3 nortearam as atividades, no intuito de analisar as tecnologias especificadas sob a ótica da sustentabilidade ambiental. No entanto, não foram utilizados todos os indicadores, uma vez que o indicador 9 aplica-se ao DCP como um todo e não apenas à tecnologia de mitigação.

QUADRO 3.3 – CRITÉRIOS E INDICADORES PROPOSTOS PELO CENTRO CLIMA

CRITÉRIOS E INDICADORES	CARACTERÍSTICAS AVALIADAS
Critério 1: Setores de atividade de projetos qualificáveis para o MDL	Os projetos que utilizam tecnologias e técnicas que contribuam para: <ul style="list-style-type: none"> • Eficiência energética no uso final; • Eficiência energética na expansão da oferta de energia; • Serviços energéticos através de energia renovável ou do uso de gás natural em substituição de combustíveis fósseis; • Aproveitamento energético das emissões de CH₄ provenientes da disposição de resíduos; • Redução nas emissões de GEE no setor industrial; • Florestamento e reflorestamento a longo-prazo; • Redução nas emissões de GEE provenientes da fermentação entérica de rebanhos.
Critério 2: Reduções de emissões reais e mensuráveis em relação ao cenário de referência	Projetos cujas emissões sejam mensuráveis são passíveis de qualificação para o MDL.
Indicador 1: Contribuição para a mitigação das mudanças climáticas globais	Este indicador mede a mudança no nível de emissões ou de seqüestro de carbono do projeto em relação ao cenário de referência.
Indicador 2: Contribuição para a sustentabilidade ambiental local	Indica os impactos ambientais locais associados ao projeto em relação ao cenário de referência.
Indicador 3: Contribuição para a geração líquida de empregos	Indica a mudança no nível de empregos comparando-se o cenário do projeto com o cenário de referência.
Indicador 4: Impactos na distribuição de renda	Indica os efeitos diretos e indiretos sobre a qualidade de vida das populações de baixa renda.
Indicador 5: Contribuição para a sustentabilidade do balanço de pagamento	Indica os gastos em moeda estrangeira, comparados com o cenário de referência.
Indicador 6: Contribuição para a sustentabilidade macroeconômica	Indica as mudanças no nível de investimentos públicos em relação ao cenário de referência.
Indicador 7: Custo-efetividade	Indica o nível de mudança nos custos das emissões de carbono evitadas ou seqüestradas em relação ao cenário de referência.
Indicador 8: Contribuição para a auto-suficiência tecnológica	Indica o nível de gastos em moeda estrangeira, relativo à aquisição de tecnologia, em comparação com o cenário de referência.
Indicador 9: Internalização, na economia nacional, dos benefícios provenientes dos CER's.	Visa avaliar a alocação dos benefícios advindos da venda de créditos.
Indicador 10: Potencial de inovação tecnológica	Procura avaliar o grau de inovação tecnológica do projeto em relação ao cenário de referência e às tecnologias empregadas em áreas de atividades passíveis de comparação.

Fonte: BRASIL (2006a)

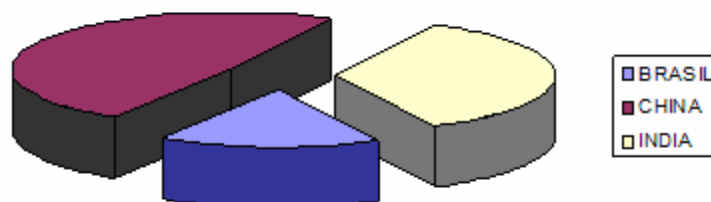
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 PANORAMA DOS PROJETOS EM MDL PARA ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS

Uma atividade de projeto entra no sistema do MDL quando o seu DCP correspondente é submetido para validação a uma EOD. Ao completar o ciclo de validação, aprovação e registro, a atividade registrada torna-se efetivamente uma atividade de projeto no âmbito do MDL.

Em 25 de agosto de 2006, um total de 1086 projetos encontravam-se em alguma fase do ciclo de projetos do MDL dos quais 268 registrados pelo Conselho Executivo no UNFCCC e 818 em alguma outra fase do ciclo. Atualmente, o Brasil ocupa o segundo lugar em número de atividades de projeto com 182 projetos, com a Índia em primeiro lugar, com 387 e a China em terceiro, com 133 projetos (BRASIL, 2006b). A Figura 4.1 mostra a situação atual das atividades de projeto.

FIGURA 4.1 – PROJETOS NO CICLO DO MDL NO MUNDO



Fonte: Adaptado BRASIL (2006b)

Em termos de reduções de emissões projetadas, o Brasil ocupa o terceiro lugar, com uma previsão de redução de 184 milhões de tCO₂e, o que corresponde a 12% do total mundial, para o primeiro período de obtenção de créditos, igual a 7 anos para projetos prorrogáveis. A China ocupa o primeiro lugar, com 542 milhões de tCO₂e a serem reduzidas, seguida pela Índia, com 389 milhões de tCO₂e, o que corresponde a 33% e 24% do total mundial, respectivamente, de emissões projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos. Dividindo-se as

massas de CO₂ a serem reduzidas no primeiro período de obtenção de créditos pelo número de anos obtém-se uma estimativa anual de redução esperada.

No cenário global, o Brasil ocupa a terceira posição entre os países com maiores reduções anuais de emissões de GEE, com uma previsão de 24,6 milhões de tCO₂e/ano, o que equivale a 12% do total mundial, correspondente a 202 milhões de tCO₂e. Para esta situação, a China encontra-se em primeiro lugar, com 76 milhões de tCO₂e/ano, o que representa 37% do total e, em segundo, a Índia, com redução prevista de 40 milhões de tCO₂e/ano, o que corresponde a quase 20% do total mundial.

Como pode ser observado nos Quadros 4.1 e 4.2, o maior número de projetos brasileiros foi desenvolvido nas áreas de geração elétrica e de co-geração com biomassa, o que representa a maioria das atividades de projeto (55%). No entanto, esses projetos prevêem a redução de menos de 25% do total das emissões.

QUADRO 4.1 – DISTRIBUIÇÃO DOS PROJETOS BRASILEIROS NA CIMGC POR ESCOPO DE ATIVIDADE EM AGOSTO DE 2006

Projetos na CIMGC	Número de projetos	Redução anual de emissão (tCO ₂)	Redução de emissão no 1º período de crédito (tCO ₂)	Número de projetos	Redução anual de emissão	Redução no 1º período de crédito
Geração Elétrica	25	1.584.568	12.335.240	20 %	8 %	8 %
Co-geração com Biomassa	53	2.749.251	20.065.375	42%	14 %	13 %
Substituição de Combustíveis	8	563.317	4.157.168	6 %	3 %	3 %
Disposição e manejo de despejos	19	1.581.594	15.816.453	15 %	8 %	11 %
Indústria Química	1	17.137	119.960	1 %	0 %	0 %
Aterros Sanitários	19	7.665.471	55.471.953	15 %	38 %	37 %
Redução de N ₂ O	1	5.961.165	41.728.155	1 %	30 %	28 %
Total	126	20.122.503	149.694.304	100 %	100 %	100%

Fonte: BRASIL (2006b)

Os escopos de atividades que prevêm a redução de maiores quantidades de CO₂e são os relacionados a aterros sanitários e aqueles relacionados à redução de N₂O, totalizando 110 milhões de tCO₂e a serem reduzidas no primeiro período de obtenção de créditos, o que representa 61% do total de redução de emissões das atividades de projeto brasileiras (BRASIL, 2006b).

Atualmente, no Brasil, existem 22 projetos no âmbito do MDL desenvolvidos em aterros sanitários, com o objetivo de reduzir as emissões de GEE através da mitigação de emissões de CH₄ em aproximadamente 53 milhões de tCO₂e nos próximos 10 anos.

QUADRO 4.2 – DISTRIBUIÇÃO DOS PROJETOS BRASILEIROS EM VALIDAÇÃO POR ESCOPO DE ATIVIDADE EM AGOSTO DE 2006

Projetos em Validação	Número de projetos	Redução anual de emissão (tCO ₂)	Redução de emissão no 1º período de crédito (tCO ₂)	Número de projetos	Redução anual de emissão	Redução no 1º período de crédito
Geração Elétrica	41	2.597.291	19.614.400	23 %	11 %	11 %
Cogeração com Biomassa	59	3.172.589	22.694.012	32 %	13 %	12 %
Substituição de Combustíveis	13	1.591.289	11.353.182	7 %	6 %	6 %
Disposição e manejo de despejos	22	1.749.102	17.176.585	12 %	7 %	9 %
Aterros Sanitários	22	9.113.746	68.319.683	12 %	37 %	37 %
Redução de N ₂ O	1	5.961.165	41.728.155	1 %	24 %	23 %
Indústria Química	1	17.137	119.960	1 %	0 %	0 %
Recuperação de CH ₄	14	293.695	2.579.432	8 %	1 %	1 %
Eficiência energética	9	70.700	629.449	5 %	0 %	0 %
Total	182	24.566.714	184.214.858	100%	100%	100%

Fonte: BRASIL (2006b)

O Registro de um projeto validado como atividade no MDL representa a aceitação formal pelo Conselho Executivo. O Brasil apresenta 61 projetos em fase

inicial, sendo 9 relativos a aterros sanitários. Solicitando registro, há 10 projetos brasileiros estão nesta fase, sendo 1 deles específico para aterros sanitários. Esse registro é pré-requisito para as fases seguintes, que são:

- Monitoramento: recolhimento e armazenamento de todos os dados necessários para calcular a redução das emissões. O Brasil apresenta 32 projetos em fase de monitoramento, sendo 2 relativos a aterros;

- Validação: processo periódico e independente de auditoria para revisar os cálculos sobre a redução de emissões;

- Emissão de certificados: após a verificação, o Conselho Executivo certifica que uma determinada atividade de projeto atingiu um determinado nível de redução e emite os RCEs. Atualmente, existem 25 projetos brasileiros encontram-se nesta fase, sendo 1 para aterro sanitário, indicando que cumpriram todas as exigências e recebem o CER. O Quadro 4.3 apresenta a situação dos aterros sanitários brasileiros no MMA e no UNFCCC.

QUADRO 4.3 – PROJETOS DE MDL EM ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS

ABREVIATURA	UF	PROJETO	MCT ¹	UNFCCC ²
PROGAS	RS	Projeto de Gás de Aterro SIL	a	v
PBGAGE	SP	Projeto Bandeirantes de Gás de Aterro e Geração de Energia	a	m
ANACONDA	SP	Projeto de Gás do Aterro Anaconda	a	v
CAIEIRAS	SP	Redução de Emissões de Gás de Aterro de Caieiras	a	v
MARCA	ES	Projeto de Energia a partir de Gás de Aterro Sanitário da Marca	a	v
LARA	SP	Projeto de Gás de Aterro em Energia no Aterro da Lara	a	v
NOVAGERAR	RJ	Projeto de Energia a partir de Gases de Aterro Sanitário – NovaGerar	a	v
SALVADOR	BA	Projeto de Gerenciamento de Gás de Aterro de Salvador	a	c
SÃO JOÃO	SP	Projeto São João de Gás de Aterro e Geração de Energia	a	v
SASA	SP	Projeto de Recuperação de Gás Onyx – SASA	a	m
PROGAE	SP	Projeto de Recuperação de Gás de Aterro ESTRE – Paulínia	a	v
PROGAQ	SP	Projeto de Gás de Aterro Quitauna	ar	v
PROGAEI	SP	Projeto de Gás de Aterro ESTRE Itapevi	ar	v
PROGATA	SP	Projeto de Gás de Aterro Terrestre Ambiental	ar	v
BRAGANÇA	SP	Projeto de Gás de Aterro de Bragança - EMBRALIXO/ARAÚNA	ar	v
AURÁ	PA	Projeto de Gás de Aterro Sanitário do Aurá	ar	v
CANABRAVA	SP	Projeto de Gás de Aterro Sanitário Canabrava – Salvador	ar	v
ALTO TIETÊ	SP	Projeto de captura de Gás de Aterro Sanitário Alto-Tietê	r	v
MANAUS	AM	Projeto de Gás de Aterro Sanitário de Manaus	r	v
EPLGP	SP	Projeto de Gás de Aterro ESTRE Pedreira (EPLGP)	-	v
NATAL	RN	Projeto de captura de Gás de Aterro de Natal	-	v
CTRW	SP	Projeto de redução de emissões em aterro sanitário CTRW	-	v

1: a = aprovado; ar = aprovado com ressalvas; r = revisão, - = não há informação disponível

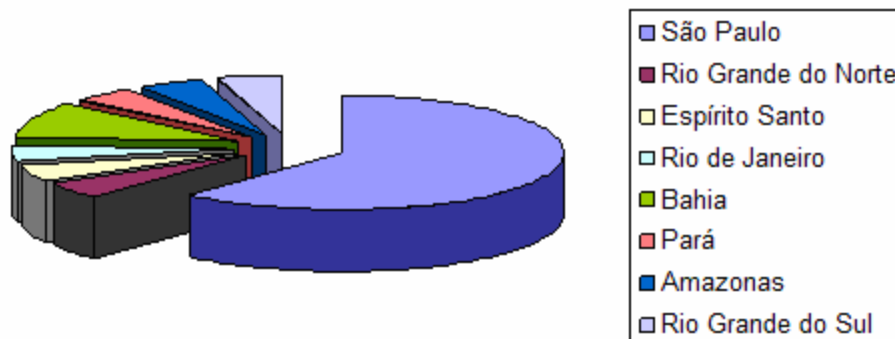
2: r = registrado; rr = requerendo registro; m= monitoramento; v = validação; c = certificados

Atualmente, um total de 11 projetos em aterros sanitários encontram-se devidamente aprovados pela CIMGC, como é apresentado no Quadro 4.3. Desta condição, pode-se deduzir que esses empreendimentos são sustentáveis à luz dos critérios adotados pelo MMA para este fim. Os 11 projetos restantes ainda estão em análise no âmbito nacional, o que não impede que outras fases do ciclo sejam atingidas sem prejuízo das obrigações inerentes a cada etapa.

Entre os projetos aprovados pela CIMGC, apenas os desenvolvidos nos aterros sanitários de Bandeirantes e Tremembé estão em fase de monitoramento, enquanto os 19 restantes encontram-se em validação. Entretanto, até o momento, apenas o Projeto de Gerenciamento de Gás de Aterro de Salvador concluiu todas as etapas do ciclo do MDL e possui o Certificado de Redução de Emissões de GEE.

A distribuição dos projetos em aterros sanitários por estado é apresentada na Figura 4.2. Pode-se observar que a região Sudeste predomina em número de projetos, neste cenário, o Estado de São Paulo, isoladamente, detém 60%, do total, seguido da região Nordeste, com o Estado da Bahia sendo responsável por 10% das atividades relativas à mitigação do CH₄.

FIGURA 4.2 – DISTRIBUIÇÃO POR ESTADO BRASILEIRO DOS PROJETOS DE MDL EM ATERROS SANITÁRIOS



Fonte: Adaptado Brasil (2006b)

QUADRO 4.4 – PAÍSES INVESTIDORES NO MDL EM ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS

PARTE ENVOLVIDA	PROJETO
Japão	CAIEIRAS, MARCA, SALVADOR
Reino Unido	MARCA, SALVADOR, AURÁ, MANAUS
Irlanda do Norte	SALVADOR
Netherlands	NOVAGERAR, SASA
França	SASA
Alemanha	ALTO TIETÉ
Canadá	CANABRAVA
não há	PROGAS, PBGAGE, ANACONDA, LARA, SÃO JOÃO, PROGAE, PROGAQ, PROGAEI, PROGATA, BRAGANÇA, EPLGP, NATAL, CTRW

4.2 VISITAS TÉCNICAS

Em função dos critérios decisórios especificados para os aterros sanitários com projeto em MDL em atividade, a pesquisa de campo visou dirimir dúvidas, obter informações e ampliar os conhecimentos sobre as áreas em estudo. As visitas técnicas tiveram por objetivo a observação dos locais de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, os procedimentos diários adotados, a infraestrutura, além das técnicas e equipamentos para coleta e queima do biogás.

Devido ao desconhecimento do grande número de projetos de MDL em atividade em aterros sanitários brasileiros, em cada aterro visitado, de um total de 5, as pessoas responsáveis pelo atendimento e pelas respostas ao questionário relutaram em apresentar dados específicos sobre a implantação do projeto, alegando o pioneirismo de cada um no país. Os equipamentos não puderam ser fotografados, tendo sido disponibilizadas apenas as imagens que não comprometeriam o caráter inovador do projeto. De todos os aterros visitados, apenas o Aterro Anaconda não contribuiu com fotos.

Com a finalidade de expor clareza e transparência no trabalho com os dados coletados durante as visitas, as informações obtidas foram selecionadas conforme os objetivos da pesquisa e são apresentadas nos Quadros 4.5 a 4.8. As questões contidas no Questionário Base são apresentadas na íntegra no Anexo 4.

Os dados coletados são apresentados cronologicamente, de acordo com a ocorrência das visitas, sendo relatado primeiramente a unidade de Adrianópolis, situado no estado do Rio de Janeiro, seguido pela unidade ESTRE e, consecutivamente, os aterros de Tremembé, Santa Isabel e Mauá, esses situados no estado de São Paulo.

A visita técnica ao Aterro Sanitário de Adrianópolis foi parte das atividades desenvolvidas durante a disciplina de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, do curso de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR.

4.2.1 APRESENTAÇÃO DOS ATERROS VISITADOS

4.2.1.1 Aterro Sanitário de Adrianópolis – NovaGerar

A NovaGerar é uma *joint venture* entre a EcoSecurities, uma empresa financeira ambiental, especializada em questões de mitigação de GEE e a S.A Paulista, uma firma de engenharia e construção civil sediada na cidade de São Paulo. A S.A. Paulista gerencia uma das maiores estações de transferência de resíduos domésticos da América do Sul, o Transbordo Ponte Pequena, responsável por 60% de todo o resíduo doméstico da cidade de São Paulo.

Em 2001, a S.A. Paulista recebeu uma concessão de 20 anos da Empresa Municipal de Limpeza Urbana, da Prefeitura de Nova Iguaçu, responsável pela coleta e descarte de resíduos urbanos, para gerenciar os aterros sanitários de Marambaia e Adrianópolis, oficialmente denominados Lixão de Marambaia e Aterro Sanitário de Adrianópolis, no Estado do Rio de Janeiro e, também, para explorar o potencial de gás de aterro sanitário desses locais. Como parte desta concessão, a S.A. Paulista está contratualmente obrigada a descomissionar e reabilitar o local do Lixão Marambaia, aberto em 1986 e com operação encerrada no final de 2002, com aproximadamente 2 milhões de toneladas de lixo depositadas. A área de Adrianópolis teve o início das operações em 2003 e está recebendo uma quantidade de 1.600 toneladas de resíduos urbanos por dia, em média.

O objetivo do projeto é explorar a coleta de gás de aterro sanitário e as atividades de utilização de aterros sanitários, gerenciados pela S.A. Paulista. Isto

envolve o investimento em um sistema de coleta de gás, sistema de drenagem do chorume e uma usina modular de geração de eletricidade em cada local do aterro sanitário, com a capacidade total final esperada de 12 MW. Para o caso da geração e energia elétrica, o CH₄ do gás de aterro sanitário está previsto para ser utilizado em fase futura, com a intenção de projeto de exportação para a rede de distribuição de energia. O excesso de biogás será queimado durante os períodos em que não for produzida eletricidade.

Este projeto pretende reduzir as emissões de GEE mediante a coleta e combustão do biogás captado no Aterro Sanitário de Adrianópolis, além de gerar e fornecer eletricidade para a rede regional, prevista para uma segunda etapa. O Projeto pretende evitar as emissões de CO₂ da usina, emitido pelo uso de combustível não renovável. As reduções de emissão de carbono decorrentes da substituição da geração de eletricidade com base em combustível fóssil não serão reivindicadas pelo projeto.

4.2.1.2 Aterro Sanitário de Paulínia – ESTRE

O aterro ESTRE Paulínia iniciou sua operação em maio de 2000. A área do aterro sanitário é de 705.000 m² e sua capacidade é de 6,5 milhões de toneladas de resíduo. No momento, o gás do aterro é coletado somente por um sistema passivo, sem queima sistemática e monitorada do CH₄.

O objetivo do Projeto de Recuperação de Gás de Aterro ESTRE é melhorar o sistema operacional passivo em operação, de modo a aumentar sua eficiência de coleta de gás e queimar em flares sistematicamente, monitorando continuamente a operação. A essência do projeto é evitar a emissão de CH₄ oriundo do aterro sanitário da ESTRE no município de Paulínia. Reduções de emissão são reivindicadas pela captura de gás de aterro ativa do sistema de recuperação de gás instalado no aterro, e queimado. A quantidade estimada de redução de GEE no projeto é de 1.487.775 toneladas de CO₂e para o primeiro período de crédito, 7 anos, resultando uma média estimada de redução de emissões de 212 539 tCO₂e.

4.2.1.3 Aterro Sanitário de Tremembé – SASA

O aterro sanitário está localizado na Cidade de Tremembé – São Paulo. Ele é operado pela SASA subsidiária brasileira da ONYX. O aterro sanitário está dividido em duas áreas de despejo. A área existente (Aterro 1) possui capacidade de 850 000 m³ e não será mais usada para despejo de resíduos. A nova área (Aterro 3) possui capacidade total de 1.700.000 m³ e receberá aproximadamente 180.000 toneladas/ano de resíduo comercial e municipal. A nova área será preenchida em 4 fases até 2012. O projeto de MDL proposto consiste na instalação de uma rede de recuperação de gás de aterro sanitário sobre futuras áreas de despejo do local, com a otimização do sistema de extração de gás de aterro sanitário. Contempla a perfuração de poços adicionais de extração, interconexão de drenagens horizontais objetivando o aumento da capacidade de queima do gás de aterro sanitário e o aumento da capacidade do processo de evaporação de chorume. Um estudo de viabilidade para avaliar uma possível extensão do projeto, a fim de enviar a eletricidade para a rede pública de distribuição está em fase de conclusão.

O gás de aterro recuperado é principalmente utilizado para a evaporação do percolato de aterro. No estágio posterior, alguma energia elétrica poderá ser gerada, contudo a geração de eletricidade será somente para utilização no local. Esta situação não foi considerada na proposta do projeto de atividade de MDL.

A montagem do projeto se iniciou em dezembro de 2000 e incluiu a instalação de rede de tubulações para conectar os drenos existentes no Aterro 1. Em março de 2001 a instalação foi finalizada dando início à operação do evaporador e do flare.

4.2.1.4 Aterro Sanitário de Santa Isabel – Anaconda

O aterro sanitário Anaconda em Santa Isabel, Estado de São Paulo, começou a operar no ano 2000 e a expectativa é fechá-lo em 2030. O aterro sanitário recebe em média 419 toneladas/dia de resíduos, que totalizam 152.935 toneladas/ano. Até 2006, o biogás do aterro sanitário é coletado apenas através

de um sistema passivo, e se dará vazão ao biogás coletado e ocasionalmente queimado no topo dos poços para segurança e controle do cheiro.

O Projeto de Gás do Aterro Sanitário Anaconda planeja instalar um sistema de coleta e queima de biogás. Conectando os drenos verticais existentes e queimando o gás do aterro sanitário coletado, espera-se que o projeto aumente em 75% a eficiência da coleta de biogás e queima de todo o biogás coletado.

Assim, é esperado que o projeto evite as emissões de CH₄ do aterro sanitário administrado pela Anaconda Ambiental. A quantidade estimada de redução de GEE do projeto é de 812.374 toneladas de CO₂e durante o primeiro período de 7 anos de créditos renováveis iniciando-se em 1º de janeiro de 2006 (em média 116.050 toneladas de CO₂e por ano).

4.2.1.5 Aterro Sanitário de Mauá – Lara

O Projeto de Gás de Aterro em energia, localizado no Município de Mauá, Estado de São Paulo, envolve a captura do gás de aterro emitido a partir dos resíduos sólidos municipais da área metropolitana de São Paulo, os quais já foram depositados no Aterro da Lara e que ainda serão ali dispostos até a data planejada para o fechamento do aterro em 2014.

A atividade de projeto contempla um sistema ativo de coleta de gás, melhorias na drenagem do percolado e no sistema de cobertura do aterro, e a instalação de plantas de geração de eletricidade e de queima de gás, a serem desenvolvidas em duas fases:

- Primeira fase (2005-2006): Instalação e operação de um sistema de captura e queima de gás, com um motor a gás piloto, e geração de 1 MW de energia para uso no projeto;

- Segunda fase (2007-2008): geração de energia de até 10 MW, através da instalação de motores a gás e geradores de energia adicionais. A energia adicional gerada alimentará a rede elétrica local, através de um acordo de compra de Energia.

4.2.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS COLETADOS EM CAMPO

Os dados coletados através do questionário base na oportunidade da visita técnica foram tabelados e geraram os quadros apresentados nesta seção com o intuito de facilitar a comparação entre os valores obtidos.

Os aterros sanitários foram identificados por números, de acordo com a informação a seguir:

- 1 – Adrianópolis;
- 2 – ESTRE – Paulínia;
- 3 – SASA;
- 4 – Anaconda;
- 5 - Mauá.

QUADRO 4.5 – DADOS GERAIS DOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS

ATERROS SANITÁRIOS	DATA DA ENTREVISTA	ENTREVISTADO	FORMAÇÃO ACADÊMICA	CARGO/FUNÇÃO
1	10/05/05	Priscila Zidan	Engenheira Química	Coordenadora de Meio Ambiente
2	24/08/06	Bruno Tyaki Caldas	Engenharia Ambiental	Coordenador do SGA
3	25/08/06	Larissa Dias	Engenheira Ambiental	Engenheira de Vendas
4	25/08/06	André Leonel Leal	Engenheiro Mecânico	Projetista
5	26/08/06	Priscila Bolcchi	Administradora	Gerente de Produção

QUADRO 4.6- UNIDADES COM COLETA SELETIVA

AS	COLETA SELETIVA	UNIDADE DE TRIAGEM
1		
2	x	x
3		
4		
5	x	x

De acordo com o Quadro 4.6, dos aterros estudados, observa-se que em apenas dois dos cinco, as áreas municipais relacionadas apresentam coleta seletiva e é realizada a triagem para a separação dos materiais recicláveis com algum valor econômico. Nos aterros de Adrianópolis, Tremembé e Santa Isabel o volume de resíduos disposto nas células é superior aos ESTRE e Lara, conforme

pode ser visto no Quadro 4.8. Esta diferença traz implicações nas estimativas teóricas da quantidade de biogás gerado pois, para efeito de cálculos, considera-se apenas a quantidade diária de resíduo disposto, negligenciando-se a fração orgânica do resíduo.

O Quadro 4.7 mostra que todos os aterros estudados recebem, além do resíduo municipal, o resíduo industrial de Classe IIB, (ABNT, 2004). Entretanto, apenas os resíduos domésticos podem ser considerados para a quantificação do biogás, uma vez que a fração orgânica nos resíduos provenientes da construção civil, do serviço de saúde e de indústrias é muito pequena quando não é nula.

QUADRO 4.7 – ORIGEM DO RESÍDUO SÓLIDO DEPOSITADO NOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS

AS	DOMÉSTICO	CONSTRUÇÃO	SERVIÇO DE SAÚDE	INDUSTRIAL
1	x	x	x	x
2	x		x	x
3	x	x	x	x
4	x			x
5	x	x		x

Através das informações apresentadas no Quadro 4.8, pode ser observado que o tempo de vida útil dos aterros visitados varia de 9 anos, para o aterro SASA a 30 anos, para o aterro Anaconda. Também pode ser observado que a taxa diária de resíduos depositados é variável; o aterro ESTRE, de Paulínia, recebe 4 vezes mais que a quantidade depositada nos aterros SASA e Anaconda. Alguns parâmetros, como a altura da massa de resíduos e a periodicidade de compactação, são uniformes para todos os aterros estudados, pois são procedimentos já contemplados em um sistema de controle e garantia da qualidade para a atividade de disposição de resíduos.

No Quadro 4.8, também pode ser observada a inexistência de estudos relativos à geração de biogás no cenário de referência, pois não existe monitoramento da massa de resíduo quanto às variáveis de modelos numéricos para a quantificação do biogás. Outra informação relevante obtida é a falta de exigência do método de impermeabilização do fundo do aterro. O aterro Anaconda

tem o seu fundo impermeabilizado apenas com argila, sem contemplar a manta de PEAD, o que é observado nos outros aterros que pleiteiam os créditos de carbono.

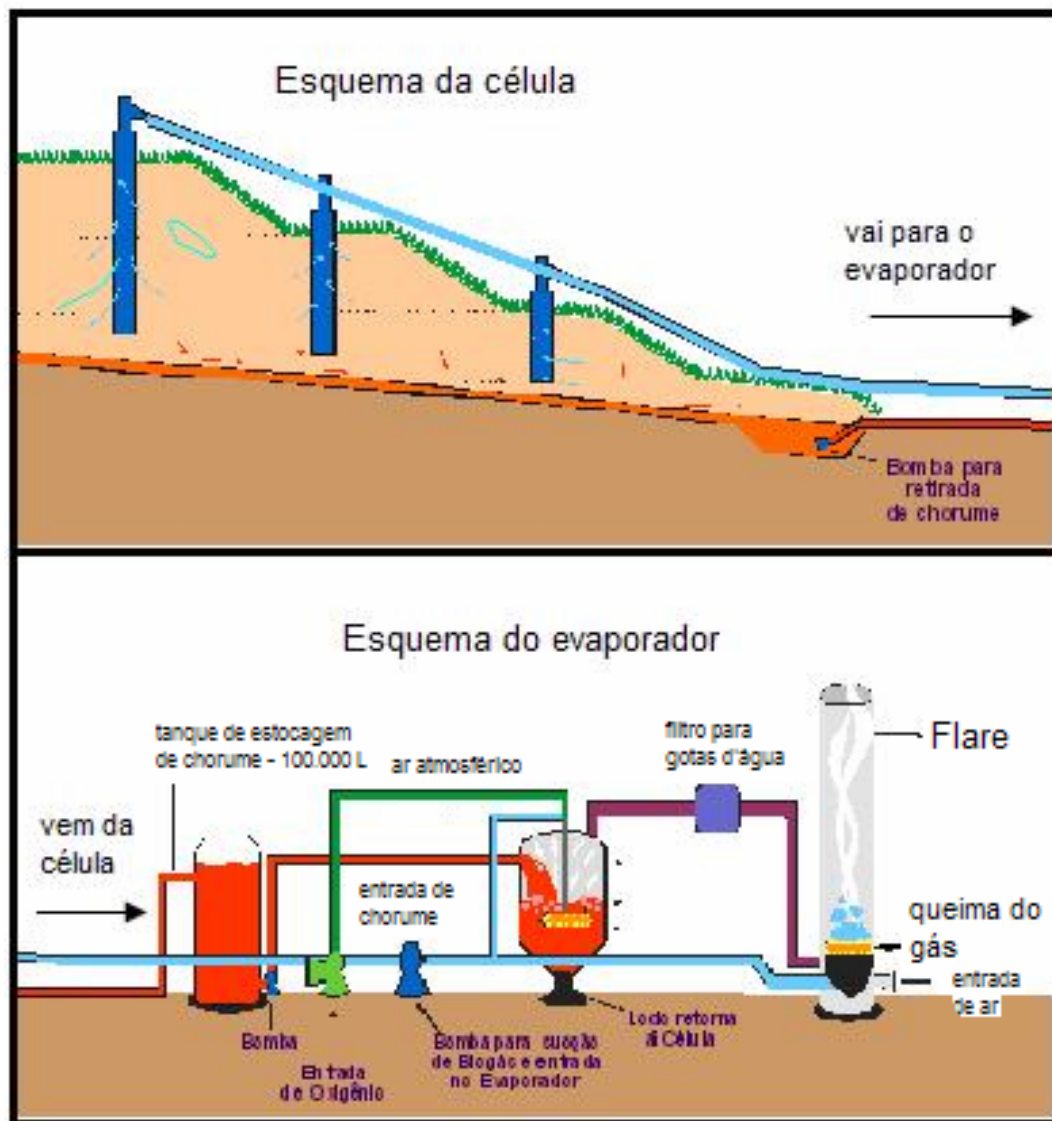
QUADRO 4.8 – PARÂMETROS TÉCNICOS RELACIONADOS ÀS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DE ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS

Atividade	Aterros Sanitários				
	1	2	3	4	5
Tempo de operação (anos)	3	6	3	6	19
Vida útil prevista (anos)	16	20	6	24	8
Área (m ²)	1.200.000	705.000	800.000	200.000	650.000
Volume diário (ton)	1.600	2.000	500	500	1.500
Altura média da massa de lixo (m)	5	5	5	5	5
Forma de disposição	Vala	Área	Vala	Vala	Vala
Periodicidade de compactação	Diária	Diária	Diária	Diária	Diária
Dispositivo para controle e monitoramento do maciço	Marcos Superficiais, Piezômetros, Poços de monitoramento	Marcos Superficiais, Piezômetros, Poços de monitoramento	Marcos Superficiais, Piezômetros, Poços de monitoramento	Marcos Superficiais, Piezômetros, Poços de monitoramento	Marcos Superficiais, Piezômetros, Poços de monitoramento
Método de impermeabilização do fundo	Geomembrana	Geomembrana	Geomembrana	Argila	Geomembrana
Tecnologia de tratamento do chorume	Evaporação	Tratamento com esgoto sanitário	Evaporação	Tratamento com esgoto sanitário	Lodos Ativados
Monitoramento da Temperatura, pH e umidade na massa de resíduos	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há
Identificação da fração orgânica dos resíduos	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há
Procedimentos para evitar colmatação dos drenos	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há

Ainda são apresentadas no Quadro 4.8, as técnicas utilizadas para tratamento e recuperação do percolado nos aterros visitados. Tais práticas diferem

entre si seja pelo local onde ocorre o tratamento, seja pela técnica utilizada. O aterro da Lara é o único que apresenta estrutura física própria para tal atividade, enquanto que os aterros Anaconda e ESTRE enviam o chorume para ser tratado junto com o esgoto sanitário. Já nos aterros de Adrianópolis e Tremembé o percolato é evaporado, através do calor contido no LFG. A Figura 4.4 apresenta o esquema básico para evaporação do chorume gerado no aterro sanitário de Tremembé.

FIGURA 4.4 – ESQUEMA BÁSICO PARA A EVAPORAÇÃO DO CHORUME DO ATERRO DE TREMEMBÉ



Fonte: ONIX (2006)

4.3 ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE GEE NA LINHA DE BASE DOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS

Em projetos de gás de aterro, as emissões da linha de base são determinadas após o fato pelo monitoramento da quantidade de gás de aterro captado. Como tal, a estimativa das emissões da linha de base como parte do DCP não é relevante. No entanto, de modo a facilitar a futura venda dos créditos com a redução da emissão de carbono a partir desses projetos, as metodologias para quantificação das reduções de CH₄ oferecem alguma orientação para a estimativa de redução de emissões sem a atividade do projeto.

O Acordo de Marraqueche traz algumas regras e procedimentos acerca do cenário de referência, entre as quais destacam-se a transparência com relação à escolha de aproximações, metodologias, parâmetros, fonte de dados, fatores e incertezas.

Assim, o Modelo de Decaimento de Primeira Ordem (USEPA, 1996) é um método consagrado na literatura, o qual pode ser utilizado para quantificar a geração de biogás durante a vida útil de um aterro. A expressão numérica utilizada para tal estimativa é apresentada no Capítulo 3 – Metodologia, na seção 3.1.4.1.

Utilizando as expressões numéricas descritas, foi possível estimar teoricamente as emissões de CH₄ para os aterros visitados, bem como a quantidade de tCO₂e na ausência do projeto de MDL. O Quadro 4.9 apresenta os valores encontrados.

QUADRO 4.9 – EMISSÕES NO CENÁRIO DE REFERÊNCIA DOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS

ATERRO	LFG (m³/ano)	M² (t/ano)	ER³ (tCO₂e/ano)
NOVAGERAR	17.667.413,02	12.619,58	265.011
ESTRE	97.866.382,85	69.904,56	1.467.995
SASA	29.883.247,66	21.345,18	448.248
ANACONDA	133.938.540,91	95.670,39	2.009.078
LARA	205.348.615,74	146.677,58	3.080.229
Total	484.704.200,17	346.217,29	7.270.563

² M = metano

³ ER = quantidade de GEE mitigada, em toneladas de dióxido de carbono equivalente

4.4 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE REDUZIDAS ATRAVÉS DOS PROJETOS DE MDL

Atualmente, as tecnologias utilizadas para a mitigação do CH₄ em aterros sanitários brasileiros são:

- combustão do biogás;
- recuperação energética, através da evaporação do chorume – EVAP;
- energia elétrica.

Segundo as informações coletadas junto ao UNFCCC e ao MCT, atualmente existem 22 aterros sanitários brasileiros com projetos de mitigação do CH₄ em atividade no MDL. As tecnologias adotadas para este fim são apresentadas no Quadro 4.10.

QUADRO 4.10 – TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA MITIGAÇÃO DO CH₄ EM ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS

TECNOLOGIA	PROJETOS
Combustão	PROGAS, ANACONDA, CAIEIRAS, LARA, SALVADOR, PROGAE, PROGAQ, PROGAEI, PROGATA, BRAGANÇA, AURÁ, CANABRAVA, ALTO TIETÊ, MANAUS, EPLGP, NATAL, CTRW
EVAP	NOVAGERAR, SASA
Conversão energética	PBGAGE, MARCA, SÃO JOÃO

Como pode ser observado, a combustão do CH₄ é a tecnologia mais empregada nos aterros com vistas à captação de recursos oriundos do MDL. A utilização do biogás como fonte energética está sendo empregada em 2 aterros, o NovaGerar e o SASA, para evaporação do chorume. A conversão do CH₄ em energia elétrica é a tecnologia menos empregada, uma vez que a política para o comércio de energia advinda de fontes alternativas ainda não está definida no território brasileiro.

As metodologias adotadas para quantificar as reduções de emissão e monitorar o processo de conversão nos aterros sanitários visitados são apresentadas no Quadro 4.11.

QUADRO 4.11 - METODOLOGIAS ADOTADAS NOS PROJETOS DE MDL EM ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS

Projeto	Tecnologia	Metodologia
NOVAGERAR	Evaporação	AM0003
ESTRE	Combustão	AM0003
SASA	Evaporação	AM0011
ANACONDA	Combustão	ACM0001
LARA	Combustão	AM0003

O Quadro 4.11 mostra que as tecnologias empregadas no projeto NovaGerar e no projeto SASA têm a mesma finalidade, no entanto as metodologias adotadas para a quantificação das emissões a serem reduzidas são diferentes. A mesma relação é observada nos projetos de combustão do CH₄.

Vale salientar que as metodologias elaboradas pelo Comitê Executivo do MDL abrangem várias informações a serem disponibilizadas no projeto além do cálculo estimativo das emissões a serem reduzidas. Tais informações abrangem a linha de base, a adicionalidade e o monitoramento a ser implantado, com objetivo de confirmar as reduções reivindicadas.

A seguir, são apresentadas algumas considerações acerca dos respectivos modelos numéricos contemplados nas metodologias disponibilizadas pelo UNFCCC.

4.4.1 MODELOS NUMÉRICOS PARA A QUANTIFICAÇÃO DAS REDUÇÕES DE GEE

4.4.1.1 AM0003: *Análise Simplificada para Projetos de Captura de Gás de Aterro Sanitário*

A metodologia foi desenvolvida de forma específica para o Projeto de Aproveitamento do Gás de Aterro Sanitário da NovaGerar. Conseqüentemente, todas as condições para seu uso foram reunidas nesse projeto. A metodologia de linha de base AM0003 é baseada na premissa de que a análise de investimento pode ser vista como uma operacionalização apropriada e prática da abordagem de linha de base definida e pode identificar adequadamente “um curso de ação economicamente atrativo” conforme indicado por esta abordagem. É aplicável a atividades de projeto de captura de gás de aterro onde:

- a) O gás capturado é queimado; ou

b) O gás capturado é usado para gerar eletricidade, mas nenhuma redução de emissão é pleiteada por deslocar ou evitar geração de eletricidade por outras fontes.

Ambos os casos são aplicáveis aos projetos de gás de aterro em energia da LARA e ESTRE. Durante a 1ª fase o gás capturado é queimado, enquanto durante a fase 2 o gás capturado é usado para gerar eletricidade, mas nenhuma redução de emissão é pleiteada por deslocar ou evitar a geração de eletricidade por outras fontes. Esta metodologia é aplicável somente onde a única saída plausível é um cenário de referência e o projeto proposto.

Uma típica característica de projetos de gás de aterro em energia é que as emissões não liberadas para a atmosfera podem ser diretamente monitoradas, isto é, as emissões de linha de base não são conhecidas e, portanto, nenhum monitoramento das emissões de linha de base é exigido.

Deste modo, a metodologia utiliza o monitoramento direto das reduções de emissão da atividade de projeto. As reduções de emissão devidas à atividade de projeto são monitoradas e calculadas como diferenciais, em uma metodologia de dois passos levando em conta a combustão do CH₄ em geração de eletricidade e combustão do CH₄ em flares.

O total das reduções de emissão é a soma de resultados da etapa 1 (combustão do CH₄ em geradores de energia) e etapa 2 (combustão do CH₄ em flares). A soma é descontada por um Fator de Ajuste de Efetividade, isto é, um fator apropriado para refletir o nível de queima que ocorreria se o projeto adotasse o sistema de coleta de gás exigido por agências reguladoras no início do projeto. O Fator de Ajuste de Efetividade precisará ser revisado ao fim de cada período de crédito de linha de base (por exemplo, para a primeira vez após 7 anos), através da estimativa da quantidade de queima de GEE naquele ponto no futuro.

Em linha com a metodologia aprovada, o Fator de Ajuste de Efetividade é ajustado para 20% como padrão para o primeiro período de crédito de 7 anos. A metodologia é aplicável para todas as atividades de projeto de gás de aterro que não estão pleiteando créditos para sua produção de eletricidade.

4.4.1.2 ACM0001: Metodologia consolidada de linha de base para atividades de projetos com gás de aterro

A metodologia aprovada foi desenvolvida para casos tais como o do Aterro Sanitário da Ambiental Anaconda, onde o cenário atual é a liberação parcial ou total de gases na atmosfera, e onde o projeto prevê apenas a captura e a queima do gás gerado.

Esta metodologia se aplica às atividades de projetos de captação de gás de aterro em que o cenário da linha de base é a emissão parcial ou total do gás para a atmosfera e as atividades do projeto compreendem situações como:

- a) O gás captado é queimado; ou
- b) O gás captado é usado para produzir energia (por exemplo, eletricidade/energia térmica), mas não se reivindica nenhuma redução de emissões por se deslocar ou evitar o uso de energia de outras fontes¹; ou
- c) O gás captado é usado para produzir energia (por exemplo, eletricidade/energia térmica) e reduções de emissões são reivindicadas por se deslocar ou evitar a geração de energia a partir de outras fontes. Nesse caso, deve-se fornecer uma metodologia de linha de base para a eletricidade e/ou energia térmica deslocada ou usar uma já aprovada, inclusive a ACM0002 “Metodologia Consolidada para a Geração de Energia Elétrica Conectada à Rede a partir de Fontes Renováveis”. Se a capacidade de eletricidade gerada for inferior a 15 MW, e/ou a energia térmica deslocada for inferior a 54 TJ (15 GWh), podem ser usadas as metodologias de pequena escala.

Não é necessário contabilizar efeitos de vazamento através do Fator de Ajuste de Efetividade com esta metodologia, pois esta variável está relacionada ao CH₄ destruído na linha de base.

4.4.1.3 AM0011: Recuperação de gás de aterro com geração de eletricidade e sem captura ou destruição de CH₄ no cenário da linha de base

A metodologia escolhida destina-se especificamente a projetos de recuperação de gás de aterro. Ela foi aprovada com base na primeira versão do DCP do aterro SASA, submetida e aprovada em conformidade com a referência

NM0021: Metodologia Cerupt para Recuperação de Gás de Aterro para o Projeto de Recuperação de Gás de Aterro da Onyx.

De acordo com a metodologia, a base para o monitoramento da redução de emissão é a medição da quantidade e composição de gás de aterro recuperada para combustão. A metodologia escolhida é aplicável para a destruição do CH₄ por meio de um evaporador de chorume e/ou sistema de queima. No projeto atual, a geração de eletricidade é prevista no futuro, mas não foi incluída nesta atividade de projeto.

Esta metodologia é aplicável à captura de biogás e geração de eletricidade onde:

- a) A linha de base é a liberação para a atmosfera do biogás;
- b) Não existem normas regulamentando a emissão de biogás;
- c) O gás capturado é usado para evaporar o chorume e/ou gerar eletricidade para ser usada no próprio site e/ou queima controlada.
- d) Redução de emissões associadas com a geração da eletricidade deslocada não gera créditos de carbono.

A quantidade de GEE mitigada em cada aterro estudado, expressa em tCO₂e, foi estimada em cada respectivo DCP, conforme a metodologia adotada. Os modelos numéricos para a quantificação são apresentados na seção 3.1.4.2. O Quadro 4.12 apresenta as toneladas de carbono mitigadas em cada projeto visitado.

QUADRO 4.12 – EMISSÕES PROJETADAS NOS DCPs ESTUDADOS

ATERRO	ER (tCO ₂ e para o 1º período)	ER ⁴ (tCO ₂ e/ano)
NOVAGERAR	4.690.931	670.133
PROGAE	1.487.906	212.558
SASA	490.441	70.063
ANACONDA	812.374	116.053
LARA	1.324.509	189.216
	8.806.161	1.258.023

Fonte: AAE (2006); ECOSECURITIES (2005); ESTRE (2006); LARA (2006); ONIX (2006)

⁴ ER = quantidade de GEE mitigada, em toneladas de dióxido de carbono equivalente

Comparando-se os Quadros 4.9 e 4.12, os quais apresentam, respectivamente, as tCO₂e emitidas pelo aterro na linha de base, ou seja, na ausência da atividade do projeto e as tCO₂e mitigadas pela atividade do projeto, é possível concluir que as toneladas reivindicadas representam apenas uma parcela das emissões estimas para o cenário de referência nesta pesquisa.

Uma linha de base ou cenário de referência que apresente níveis altos de emissões é atraente para os financiadores do projeto, uma vez que estes poderão obter maiores quantidades de CERs. Para o país anfitrião, um cenário de referência com altos níveis de emissões também é conveniente devido à sua maior facilidade em atrair os projetos MDL. Em decorrência dos benefícios provenientes do estabelecimento de um cenário de referência deste tipo existe um risco de se superestimar a projeção da linha de base com a conseqüente criação de créditos artificiais de redução de emissões. Este fato leva ao desvio do objetivo original da Convenção Quadro e do Tratado de Quioto.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS PARA MITIGAÇÃO DO CH₄

As tecnologias, para mitigação do CH₄ em aterros sanitários, consideradas neste trabalho foram a queima controlada do biogás e a evaporação do chorume. Tais tecnologias foram comparadas segundo os indicadores estabelecidos pelo Centro Clima e adotados pela CIMGC e apresentados no Quadro 3.3, com a finalidade de avaliar a sustentabilidade local dos projetos brasileiros, independente do seu escopo. Desta forma, os indicadores foram utilizados para conferir uniformidade às informações coletadas e disponibilizadas neste trabalho, facilitando estudos comparativos e possibilitando a avaliação da tecnologia mais adequada ao cenário de disposição de resíduos que por ventura a contemplar a recuperação do biogás.

Assim, a **mitigação das mudanças climáticas globais** é alcançada através das duas tecnologias, em relação ao cenário de referência. No entanto, a quantidade reduzida em cada processo é proporcional à quantidade de biogás coletado e enviado ao sistema. Esta quantidade é característica de cada site de disposição, em função da composição do resíduo depositado, do número de

drenos verticais e sua área de influência para captação, além de outros fatores como a umidade e pH da massa de resíduos.

As emissões em relação ao cenário de referência ou linha de base foram calculadas neste trabalho utilizando o Modelo de Decaimento de Primeira Ordem para todos os projetos de aterros sanitários visitados no intuito de uniformizar os valores encontrados. As reduções reivindicadas pelos projetos estudados foram adotadas conforme disponibilizadas no respectivo DCP, ou seja, não foi conferida a mesma uniformidade dos valores citados uma vez que foram utilizados modelos numéricos diferentes para estimar as possíveis reduções em cada projeto.

A queima controlada do LFG contribui para a mitigação das mudanças climáticas uma vez que reduz o potencial de aquecimento global deste insumo energético pela conversão do CH_4 em CO_2 . O controle do processo é o diferencial necessário para a quantificação das toneladas equivalentes de CO_2 , caracterizando a adicionalidade necessária aos DCPs.

A evaporação do chorume através do calor cedido pelo biogás também reduz o potencial de aquecimento global como ocorre na combustão. A adicionalidade é igualmente interpretada pelo controle do processo, uma vez que possibilita a quantificação da conversão do CH_4 em CO_2 .

Quanto à **sustentabilidade ambiental local**, foi possível elencar os principais impactos ambientais locais associados ao projeto em relação ao cenário de referência, os quais são apresentados no Quadro 4.13.

Através da coleta e combustão do gás de aterro, os aterros sanitários reduzem tanto os efeitos ambientais globais quanto os efeitos ambientais locais das liberações sem controle. Os principais componentes do gás de aterro, CH_4 e CO_2 não têm cor nem cheiro. A principal preocupação ambiental global sobre estes compostos é o fato de que eles são GEE. Embora a maioria das emissões de gás de aterro seja rapidamente diluída na atmosfera, em espaços confinados há risco de asfixia e/ou efeitos tóxicos se houver LFG em altas concentrações. O biogás também contém mais de 150 traços de componentes que podem causar tanto efeitos ambientais globais quanto efeitos ambientais locais tais como odores, desprendimento da camada de ozônio da estratosfera e criação de ozônio ao nível

do solo. Através da administração adequada dos aterros, os riscos de efeitos tóxicos na comunidade e no ambiente do local são mitigados.

Operacionalmente, o gerenciamento adequado do biogás irá reduzir o potencial de incêndios e a liberação associada de produtos da combustão incompleta. Isso também beneficia o pessoal que trabalha no ambiente do aterro, que não fica exposto aos riscos relacionados a incêndios. Com a queima do gás, a população que vive no entorno do aterro sanitário terá condições de vida mais saudável.

QUADRO 4.13 – IMPACTOS LOCAIS RELACIONADOS ÀS TECNOLOGIAS DE MITIGAÇÃO DO CH₄

IMPACTOS AMBIENTAIS	COMBUSTÃO	EVAPORAÇÃO
Poluição sonora	Aumento em ruído do site associado com a queima, apesar de que os motores são enclausurados para reduzir as emissões de ruído. Os impactos são prováveis de serem marginais, dado ruído tipicamente associado com operações no aterro.	Aumento mínimo no ruído do local, pois os motores são alojados para reduzi-lo. Este impacto é secundário, visto que o ruído geralmente está associado à operação dos aterros.
Poluição visual	O posicionamento de instalações para queima no site do aterro melhora a presença visual do site, entretanto, os impactos são esperados de serem marginais dada a intrusão visual atualmente associada com as operações de disposição de resíduos.	A colocação de instalações para recuperação de energia no local do aterro aumenta a presença visual do local, entretanto, os impactos são secundários visto que a intrusão visual atualmente está associada às operações de disposição de resíduo.
Contaminação de recursos hídricos	Coleta e tratamento de chorume convencionais, o chorume é tratado separadamente do biogás.	A água presente no chorume é evaporada, assim não há lançamento de efluente proveniente do sistema de tratamento.
Poluentes atmosféricos	Podem ser liberados os seguintes poluentes atmosféricos: CO, SO _x , NO _x .	Liberação de compostos orgânicos e indícios de quantidades de materiais tóxicos, inclusive mercúrio e dioxinas.

Quanto à **geração líquida de empregos** os investimentos em reciclagem e coleta seletiva, utilizando a mão-de-obra de catadores, trazem benefícios sociais além de aumentar a fração orgânica do resíduo disposto no aterro.

O aproveitamento do biogás pode diminuir o número de catadores, e dependendo do investimento feito, haveria a erradicação desta “profissão”. Isso é potencialmente possível e depende do engajamento das autoridades e do apoio da população.

As tecnologias para mitigação do CH₄ em aterros sanitários consideradas neste trabalho apresentam baixo potencial para gerar empregos, necessitando de mão-de-obra especializada. O número de empregos gerados é pequeno, porém a mudança social pela qual passam as pessoas que dependem financeiramente da atividade de disposição de resíduos é radical, o que é de suma importância no contexto nacional, onde a população em sua grande maioria, vive à margem da sociedade.

Quanto aos **impactos na distribuição de renda**, as conseqüências sócio-econômicas trazidas pela tecnologia de queima controlada em projeto em relação ao cenário de referência, não se mostram positivas, uma vez que não é verificada a contribuição para a disponibilidade de serviços e para o desenvolvimento de atividades produtivas que possam causar melhorias na qualidade de vida e na geração de renda das comunidades.

A evaporação do chorume gera benefícios à medida que traz recursos externos para gerar empregos diretos (na instalação, operação e manutenção do sistema) e também indiretos (construção, suporte, entre outros). Por outro lado, diminui a mão-de-obra necessária para manutenção do sistema de tratamento de chorume.

Quanto à **contribuição para a sustentabilidade do balanço de pagamento**, a tecnologia para queima controlada de biogás está disponível no mercado brasileiro, assim não apresenta dependência de bens e serviços externos, incluindo tecnologias e equipamentos ou insumos demandados ao longo da duração do projeto. Os gastos em moeda estrangeira não são necessários para operação do sistema, indicando maior sustentabilidade do balanço de pagamento.

Os evaporadores em operação nos aterros visitados, NovaGerar e SASA, contaram com tecnologia estrangeira para sua viabilização. Os projetos foram subsidiados pela Holanda.

Quanto à **sustentabilidade macroeconômica**, não foram evidenciados investimentos públicos para os projetos estudados, sejam aqueles que utilizam a tecnologia EVAP ou que apenas queimam o biogás.

Quanto à **auto-suficiência tecnológica**, o sistema de captação do biogás apesar de ser um sistema de simples construção, tem características inovadoras no sistema nacional de gerenciamento de resíduos. Grande parte do sistema de *flare* implantado é de tecnologia nacional, e a sua manutenção se dá no Brasil. Ademais, a atividade de projeto proporciona treinamento e maior conhecimento para os empregados que operam o sistema. Sendo o sistema ainda novo, imagina-se uma melhoria contínua nesse tipo de atividade, proporcionando ao Brasil maiores oportunidades de investimento.

Na evaporação de chorume, o grau de dependência tecnológica externa é acentuado, uma vez que a origem dos equipamentos bem como a sua assistência técnica dependem, ainda, do mercado internacional. O desenvolvimento de tecnologias domésticas pode diminuir o grau de dependência tecnológica externa e conseqüentemente, reduzir os gastos em moeda estrangeira, aumentando o nível da sustentabilidade tecnológica.

Quanto ao **potencial de inovação tecnológica**, a queima controlada não é uma prática totalmente inovadora no país, mas atualmente não há nenhuma atividade sendo realizada. Sendo assim, a implantação desta rota passa a ser uma excelente oportunidade de retomar esta prática e viabilizar este tipo de sistema. É possível sua replicabilidade em diversos aterros brasileiros, uma vez que se trata de uma tecnologia simples, que pode ser repetida sem dificuldades, quando dominada.

O sistema de captação e oxidação térmica do biogás para evaporação de chorume é uma novidade no Brasil, apesar de tecnologicamente ser um sistema de simples construção. Os sistemas implantados no Brasil são importados da Holanda.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos maiores desafios com que se defronta a sociedade moderna é o equacionamento da questão dos resíduos urbanos. Além do expressivo crescimento da geração de resíduos sólidos, sobretudo nos países em desenvolvimento, observam-se, ainda, ao longo dos últimos anos, mudanças significativas em suas características. Essas mudanças são decorrentes, principalmente, dos modelos de desenvolvimento adotados e da mudança nos padrões de consumo.

O crescimento populacional aliado à intensa urbanização, acarreta a concentração da produção de grandes quantidades de resíduos e a existência, cada vez menor, de áreas disponíveis para a disposição desses materiais. Somam-se a esses fatos as questões institucionais, que tornam cada vez mais difícil para os municípios dar um destino adequado às quantidades de resíduos produzidas.

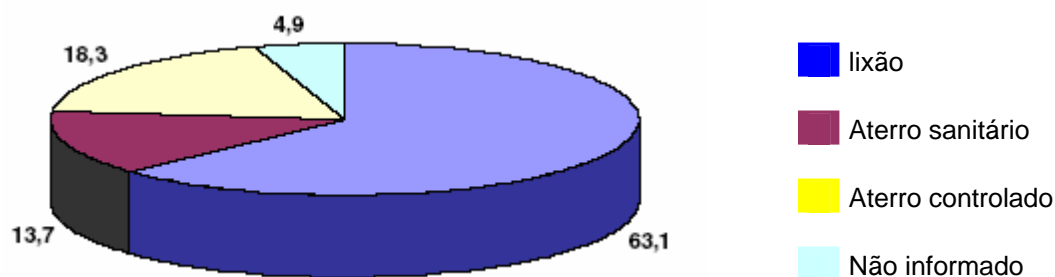
De acordo com os resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico sobre resíduos sólidos no Brasil (IBGE, 2000), o país produz 228.413 toneladas de resíduos por dia, o que corresponde ao equivalente populacional de a 1,35 kg/hab.dia. Entretanto, apesar das tendências de reciclagem e diminuição da produção de resíduos, visando a redução das quantidades a serem dispostas em aterros, a situação no país é peculiar. A maior parte dos resíduos produzidos no país é enviada para áreas sem controle, os lixões, que são em sua maioria, espaços abertos sem qualquer infra-estrutura para evitar acidentes e ameaças ambientais.

A Figura 5.1 apresenta a situação atual da destinação dos resíduos no país, dados válidos de acordo com o censo de saneamento de 2000.

A recuperação do biogás, associada ao seu uso energético, pode não ser solução final para a questão do gerenciamento dos resíduos no Brasil, todavia é a melhor opção que se apresenta para o momento. Portanto, esforços devem ser feitos visando a minimização da geração de resíduos e o aumento da prática da

reciclagem. Inúmeras são as alternativas tecnológicas encontradas na literatura propondo soluções para o gerenciamento dos resíduos urbanos; no entanto, boa parte delas necessitam de recursos para sua efetivação. Os processos de incineração para resíduos urbanos, por exemplo, está relacionado ao elevado custo de implantação.

FIGURA 5.1 – DESTINO FINAL DO RESÍDUO MUNICIPAL POR MUNICÍPIO (%)



Fonte: IBGE (2000)

No entanto, os custos relativos à captação e aproveitamento do biogás são amortizados, seja pela receita advinda da venda dos créditos ou pela diminuição da energia comprada. O biogás é considerado uma fonte de energia renovável e, portanto, sua recuperação e seu uso energético apresentam vantagens ambientais, sociais, estratégicas e tecnológicas significativas. A captação do biogás com aproveitamento do seu potencial energético ou não, acaba por ser um forte candidato a projetos de comercialização de créditos de carbono. Tanto este fato é verdade que muitos países da União Européia, por exemplo Holanda, Reino Unido e Japão estão comprometidos com a redução das emissões de GEE e estão investindo significativamente em projetos de geração de energia com captação do biogás.

Em alguns países da Europa, a energia gerada a partir do biogás é tratada de forma diferenciada. Em países como a Alemanha, a Espanha, a Itália e a Inglaterra existem políticas especiais de incentivos para aumentar a geração de energia a partir do biogás. Em linhas gerais, a aplicação dessa política visa por em prática um instrumento de desenvolvimento sustentável.

Neste momento, em que o primeiro passo está sendo em direção de fontes alternativas de energia, a implantação do aproveitamento do potencial energético

do biogás depende, certamente, de incentivos do governo através de políticas de incentivo à compra de “energia verde”, isto é, aquela relacionada à captação e aproveitamento do biogás de aterros sanitários. A necessidade destes incentivos baseia-se nas vantagens associadas a essa prática, e sua implantação irá colaborar para a formação de um mercado de carbono no país. Neste contexto, o estabelecimento de políticas de incentivo ao uso energético do biogás adequadas, poderá permitir a implementação de um programa de larga escala no país que, eventualmente, poderá colaborar para a viabilização da nacionalização dos equipamentos e tecnologias necessárias ao aproveitamento energético do biogás.

A disponibilidade de biogás é imediata, assim a sua recuperação apresenta conseqüências benéficas, seja por reduzir as emissões de GEE, seja por colaborar com a viabilidade econômica do saneamento urbano. Uma vez que apenas aterros bem gerenciados têm condições de implementar tal ação, essa geração de energia também servirá como incentivo ao bom gerenciamento sanitário. Aterros bem gerenciados necessitam de poucas obras de impermeabilização e captação.

De uma forma geral, a recuperação do biogás apresenta as seguintes vantagens:

(a) Para a sociedade:

- geração de empregos e eliminação ou redução de sub-empregos;
- geração de biogás descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável que tem sido tratada como resíduo;
- colaboração para a viabilidade econômica do saneamento básico.

(b) Para as prefeituras:

- possibilidade de receita extra, proveniente da comercialização da energia gerada pelo biogás;
- colaboração para a viabilidade econômica do tratamento dos resíduos domésticos;
- menor rejeição social das instalações de saneamento, uma vez que elas passam a ser gerenciadas de forma mais adequada, representando um exemplo a ser seguido.

(c) Para os gerenciadores de aterros:

- redução nos gastos com a aquisição da energia elétrica;
- possibilidade eventual de venda de eletricidade à rede de distribuição;
- possibilidade de uso de processos de co-geração, ou seja, a geração de eletricidade tem como sub-produto o calor, a ser utilizado no tratamento do chorume na própria área do aterro, ou mesmo ser vendido a terceiros como o caso do aterro de Caieiras, em SP,

(d) Para o meio ambiente:

- redução das emissões de CH₄;
- possível redução do consumo de combustíveis fósseis, no caso de aproveitamento energético;
- redução na geração de odor devido às boas práticas de gerenciamento, dos aterros;
- possível melhoria nas condições dos lixões, que representam mais de 60% da situação atual de disposição de resíduos domésticos no país.

5.2 DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE DCPs

Na descrição de projetos de MDL deve-se ter a preocupação em incluir várias características, como os aspectos técnicos, financeiros e ambientais que servirão para responder algumas das questões relativas à sustentabilidade e à adicionalidade do projeto. As informações sugeridas para a preparação do projeto são listadas a seguir:

1. descrever, em um parágrafo, qual o propósito do projeto e como se pretende atingi-lo;
2. citar a localização geográfica do projeto;
3. apresentar uma descrição estimativa de custo do investimento inicial;
4. estimar e detalhar os custos operacionais, incluindo manutenção dos equipamentos, do projeto, se possível, em base anual;
5. fornecer uma estimativa de vida útil do projeto, de preferência em anos;

6. mencionar a experiência anterior, se houver, do proponente do projeto neste setor de atividade ou em setores relacionados ao projeto;

7. estimar a participação financeira própria no investimento;

8. estimar possíveis rendas decorrentes da operação e o tempo de retorno da receita. O ideal seria a definição de um cronograma de investimentos, gastos e receitas do projeto ano a ano;

9. citar possíveis indicadores econômicos que serão utilizados no projeto para medir seu grau de sucesso, além da Taxa Interna de Retorno e do Tempo de Retorno Simples ou Composto, e do Valor Presente Líquido do Projeto se houver algum;

10. mencionar, possíveis obstáculos para o sucesso do projeto, caso sejam conhecidos;

11. mencionar possíveis interessados em participar como sócios ou como financiadores do projeto;

12. caso seja do conhecimento, mencionar possíveis fontes de poluição do ar, das águas e do solo associados à implementação do projeto e se existem mecanismos que possam ser utilizados para mitigá-las;

13. informar, caso seja possível, as possibilidades de replicação do projeto na mesma região, em regiões específicas do Brasil, ou até mesmo em outros países;

14. para projetos de produção de energia, citar o tipo de combustível a ser utilizado, água, petróleo, gás natural, carvão, biomassa, energia solar, energia eólica ou energia geo-térmica, a quantidade a ser utilizada e eventuais custos para disponibilizar o combustível ao local em que será consumido;

15. para projetos nos setores industriais de edificações e de transportes, que objetivem a substituição da fonte de energia, fornecer a quantidade e o tipo do insumo energético em uso, além da quantidade e tipo do insumo energético a ser utilizado após a finalização do projeto;

16. descrever potenciais impactos socioeconômicos positivos e negativos causados pelo projeto na região de sua implementação, caso sejam de seu conhecimento.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

Na atualidade, a sociedade se depara com um grande desafio a ser mediado entre seus diversos atores, no que concerne à gestão dos seus resíduos. O Brasil, a exemplo de outros países em mesmo estágio de desenvolvimento, tem uma expressiva produção de resíduos, com cerca de 160.000 t/dia de resíduos sólidos urbanos, que representa um pouco mais de 45 milhões de toneladas por ano. A maior parte destes resíduos ainda tem destino inadequado, sendo vetores de doenças e de poluição do meio ambiente.

Uma solução que se apresenta para o cenário atual do país são as tecnologias de gás de aterro, haja vista as suas inúmeras alternativas de uso. O uso do biogás se apresenta como uma tecnologia ambientalmente atrativa, considerando a realidade da gestão dos resíduos no Brasil, uma vez que sua aplicação com fins energéticos pode ocorrer imediatamente, devido à existência de inúmeros locais de disposição de resíduos sólidos, os que liberam CH₄ sem controle.

A utilização do biogás também apresenta outros efeitos positivos, visto que a conversão em energia possibilita a recuperação do capital e incrementa a viabilidade econômica da planta. De maneira geral, pode-se dizer que o impacto ambiental negativo advindo da captação do biogás é inexistente em comparação com o benefício global gerado.

Assim, é possível concluir que os projetos de MDL desenvolvidos em aterros sanitários são viáveis tanto ambientalmente, quanto economicamente, haja vista o incremento econômico oriundo da venda dos créditos de carbono adquiridos pela mitigação do CH₄. Cada tonelada de carbono estava cotada, em agosto de 2006, entre \$ 15 e \$ 18 euros, sendo que em agosto de 2005, eram \$ 5 euros. O mercado de créditos de carbono está trazendo o incentivo financeiro necessário para que as atividades relativas à disposição de resíduos se estabeleçam sem comprometer a qualidade ambiental do seu entorno, atendendo, assim, as premissas do desenvolvimento sustentável.

CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS

AAE - Anaconda Ambiental Empreendimentos. **Projeto de Gás do Aterro Anaconda** < www.mct.gov.br > Acesso em 20 abr. 2006.

ABNT. NBR **10.004** - "Resíduos Sólidos - Classificação." 2004.

AITCHISON E. Methane generation from UK landfill sites and its use as an energy resource. **Energy Conversion and Management**, v. 37, n. 6/8, p. 1111 – 1116, jun./ago. 1996.

AL-DABBAS, M. Reduction of methane emissions and utilization of municipal waste for energy in Amman. **Renewable Energy**, v. 14, n. 14, p. 427 – 434, 1998.

AMARAL, W.A.N. Mudanças climáticas, mercado de carbono e potencialidades do Brasil para desenvolvimento de projetos para Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. **Preços Agrícolas**, v.14, n.155, p.7 – 9, 1999.

BAKKES J.A.; BORN G.J. van den; HELDER J.C.; SWART R.J.; HOPE C.W.; PARKER J.D.E. **An overview of environmental indicators: state of the art and perspectives**. < <http://www.rivm.nl> > Acesso em 17 set. 2006.

BARLAZ M. A.; MILKE M. W.; HAM R. K. Gas production parameters in sanitary landfill simulators. **Waste Management & Research**, v. 5, n. 1, p. 27-39, 1987.

BARROS, R. T. de V. Limpeza Pública. In:____ **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**, 2. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG,1995. p. 181-208.

BATTRE – Bahia Transferência e Tratamento de Resíduos S.A. **Projeto de Gerenciamento de Gás de Aterro de Salvador, Bahia**. < www.mct.gov.br > Acesso em 20 abr. 2006.

BIOGÁS S.A. **Projeto Bandeirantes de Gás de Aterro e Geração de Energia**. < <http://www.mct.gov.br>> . Acesso em 20 abr. 2006.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Proposta Revisada de Critérios e Indicadores de Elegibilidade para Avaliação de Projetos Candidatos ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. < www.mct.gov.br > Acesso em 20 ago. 2006a.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. < www.mct.gov.br > Acesso em 09 set. 2006b.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Efeito Estufa e a Convenção sobre a Mudança do Clima**. Assessoria Especial de Meio Ambiente & Ministério da Ciência e Tecnologia, 1999.

Bolsa de Valores do Rio de Janeiro. < <http://www.bolsarj.com.br>>. Acesso em 20 de nov. 2006.

BROWN, K. A; MAUNDER, D. H. Exploitation of landfill gas: a UK perspective. **Water Science & Technology**, v. 30, n. 12, 1994. < <http://www.iwaponline.com> > Acesso em 07 mai. 2006.

CAMPOS, C. P. de. **A Conservação das Florestas no Brasil, Mudança do Clima e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. Rio de Janeiro, 2001. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CAPOOR, K; AMBROSI, P. **State and trends of the carbon market 2006**. Washington DC, < <http://www-wds.worldbank.org> > Acesso em 13 ago. 2006.

CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2. ed. São Paulo: IPT, 2000.

CHRISTENSEN T. H.; KJELDSSEN P.; BJERG P. L.; JENSEN D. L.; CHRISTENSEN J. B.; BAUN A.; ALBRECHTSEN H.; HERON G. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, v 16, n 7/8, jun. 2001.

CIMGC. **Resolução nº 1**. 11 de set. 2003. < <http://www.mct.gov.br> > . Acesso em 13 set. 2006.

CIMGC. **Resolução nº2**. 10 de ago. 2005. < <http://www.mct.gov.br> > . Acesso em 13 set. 2006.

COLMANETTI, J. P. **Comportamento de Filtros Geotêxteis em Sistemas de Drenagem para Resíduos Sólidos Municipais**. Brasília, 2000. 173 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília.

COMLURB. **Potencial Energético do Biogás de Aterros**. < <http://www.rio.rj.gov.br/> > Acesso em 09 mai. 2005.

CONTI, J. B. Considerações sobre as Mudanças Climáticas Globais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, 2005.

CRABTREE B.; BAYFIELD N. Developing sustainable indicators for mountain ecosystems: a study of the Cairngorms, Scotland. **Journal of Environmental Management**, v. 52, p 1 – 14, jan. 1998.

DANESE, M. **Geração e Utilização de Biogás**. São Paulo: IPT, 1981.

DIDIER G.; BOUAZZA A.; CAZAUX D. Gas Permeability of Geosynthetic Clay Liners. **International Journal of Geotextiles & Geomembranes**, v. 18, p. 235 - 250, abr. 2000.

ECOSECURITIES, SA Paulista. **Projeto de Aproveitamento do Biogás de Aterro Sanitário – NovaGerar**. < www.mct.gov.br > Acesso em 17 abr. 2005

EI-FADEL M.; FINDIKAKIS A.N.; LECKIE J.O. Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. **Journal of Environmental Management**, v. 50, n. , p. 1-25, 1997.

ESCOBAR, H. No Combate ao Efeito Estufa, Brasil Sai na Frente. **O Estado de São Paulo**, 08 set. 2002.

ESMAP – Energy Sector Management Assistance Programme. **The World Bank Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean**. Ontário, 2004.

ESTRE – Empresa de Saneamento e Tratamento de Resíduos Ltda. **Projeto de Recuperação de Gás de Aterro ESTRE – Paulínia.** < www.mct.gov.br > Acesso em 07 mai. 2006

FGV – Fundação Getúlio Vargas. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: guia de orientação.** Rio de Janeiro, 2002.

GEBERT J.; GROENGROEFT A. Passive landfill gas emission – Influence of atmospheric pressure and implications for the operation of methane-oxidising biofilters. **Waste Management**, v. 26, n. 3, p. 245-251, 2006.

GILBERT A. Criteria for sustainability in the development of indicators for sustainable development. **Chemosphere**, v. 33, n. 9, p. 1739 – 1748, nov. 1996.

GUINÉE, J. B.; HEIJUNGS, R. A proposal for the definition of resource equivalency factors for use in product life-cycle assessment. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 14, n. 5, p. 917 – 925, 1995.

HANNOURA A. P.; COTHREN G. M.; KHAIRY W. M. The development of a sustainable development model framework. **Energy**, v. 31, n. 13, p. 2269 – 227, out. 2006.

HEINEMANN, D.; HIGGINS, J.; MCALPINE G.; RAISON J.; RYAN, S.; SAUNDERS D. **A guidebook to environmental indicators.** Austrália: CSIRO, 1999. < <http://www.csiro.au> > Acesso em 23 set. 2006.

HENRIQUES, R M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica.** Rio de Janeiro, 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2000.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Summary for Policymakers.** 2001. < www.ipcc.ch/pub.htm > Acesso em 09 jun. 2006.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** v 3, 1994. < www.ipcc.ch/pub.htm > Acesso em 18 out. 2006.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO E O FINANCIAMENTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL.** Brasília: IPEA, 2000.

IVIG – Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais. **Contribution to a country driven assessment of capacity building needs relevant to the Kyoto Protocol in developing countries.** < <http://www.ivig.coppe.ufrj.br> > Acesso em 09 jun. 2006-

JUCÁ, J.F.T.; MONTEIRO, V. E. D.; MELO M. C. Monitorio Ambiental de La Recuperación del Vertedero de Residuos Sólidos de Muribeca, Brasil. **Revista Residuos**, v 64, 2002.

JULIANI, D. Brasileiras competem em concorrência holandesa. **Gazeta Mercantil**. São Paulo, 2 set. 2002.

KAMON M.; KATSUMI T.; BENSON C. H.; FOOSE G. J. Performance-based design of landfill liners. **Engineering Geology**, v. 60, n.1/4, p. 139 – 148, jun. 2001.

LAGERKVIST, A. The landfill gas activity of the IEA bioenergy agreement. **Biomass and Bioenergy**, v. 9 n. 15, p. 399 – 413, 1995.

Lara Co-Geração e Comércio de Energia. **Projeto de Gás de Aterro em Energia no Aterro da Lara**. < www.mct.gov.br > Acesso em 40/04/2006.

LA ROVERE, E. L.; THORNE, S.. **Criteria and Indicators for Appraising Clean Development Mechanism (CDM) Projects**. Paris: Helio International, 1999. < <http://www.helio-international.org> > Acesso em 15 set. 2006.

LIMA, L.M.Q. **Tratamento de Lixo**. 2. ed. São Paulo: Hemus, 1991.

MAAT H. ter; HOGENDOORN J.A.; VERSTEEG G.F. The removal of hydrogen sulfide from gas streams using an aqueous metal sulfate absorbent Part I. The absorption of hydrogen sulfide in metal sulfate solutions. **Separation and Purification Technology**, v. 43, p 183 – 197, 2005.

MACIEL, F.J.; JUCÁ, J. F. T. **Gases monitoring methodology applied in Muribeca Solid Waste Landfill**. Proceedings of the Fourth International Congress on Environmental Geotechnics, 2002, Rio de Janeiro: ICEG, 2002. p. 263-269.

MACIEL, F.J. **Estudo da Geração, Percolação e Emissão de Gases no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca/PE**. Recife, 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco.

MANDELLI, S.; Lima, L.; Ojima, M. **Tratamento de Resíduos Sólidos: Compêndio de Publicações**. Caxias do Sul: Departamento de Engenharia Química, 1991.

MCBEAN, E.A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR G. J. **Solid Waste Landfill Engineering and Design**. Englewood Cliffs: Prentice Hall PTR, 1995.

MELO, M.C. **Uma Análise de Recalques Associada a Biodegradação no Aterro de Resíduos Sólidos da Mureca**. Recife, 2003. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco.

MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO M. A. F. de; BRITO J. C. X. de; ALMEIDA T. P. F. de; MANSUR G. L. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MOR, S.; RAVINDRA K.; VISSCHER A. DE; DAHIYA, R.P; CHANDRA A. Municipal solid waste characterization and its assessment for potential methane generation: A case study. **Science of The Total Environment**, v. 371, n 1/3, p. 1-10, 2006.

MOSS, H.D.T. The commercial use of landfill gas in the United Kingdom. **Renewable Energy**, v. 4, n. 3, p. 15 – 17, abr. 1991.

MUYLAERT, M. S; SALA, J; FREITAS, M. A. V. de. **Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL - do Protocolo de Quioto - Estudos de Caso**. Rio de Janeiro: COPPE, 2000.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. **Towards sustainable development: environmental indicators**. Tradução Ana Maria S. F. Teles. Salvador : Centro de Recursos Ambientais, 1998.

O'LEARY, P.; WALSH, P. **Landfill Gas Movement, Control and Energy Recovery**. < <http://images.wasteage.com/files/121/landfill3.pdf>. > Acesso em 12 mai. 2006.

OLIVEIRA, L.B. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e abatimento de emissões de gases do efeito estufa**. Rio de Janeiro, 2000. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ONIX. **Projeto de recuperação de gás Onyx – SASA**. < www.mct.gov.br > Acesso em 16/04/2006.

PALMISANO, A.C.; BARLAZ, M.A. **Microbiology of solid waste**. Boca Raton, Flórida, USA: CRC Press, 1996.

PERIS-MORA E.; OREJAS J.M. D.; SUBIRATS A.; IBÁÑEZ S.; ALVAREZ P. Development of a system of indicators for sustainable port management. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, n. 12, p.1649 – 1660, dez. 2005.

RAMOS, S. I. P. **Sistematização Técnico-Organizacional de Programas de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos em Municípios do Estado do Paraná**. Curitiba, 2004. 211 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – DHS, Universidade Federal do Paraná.

REINHART, D. The Impact of Leachate Recirculation on Municipal Solid Waste Landfill Operating Characteristics. **Waste Management & Research**, LOCAL, v. 14, n. 4, p 337 – 346, 1996.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. Piracicaba, 2003. 196 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

SANTOS, L.M.M. **Avaliação Ambiental de Processos Industriais**. Ouro Preto:ETFOP, 2002.

SEWELL, G.H. **Administração e Controle da Qualidade Ambiental**. São Paulo: EPU, 1998.

SHEKDAR, A. V. A strategy for the development of landfill gas technology in India. **Waste Management & Research**, v. 15, n. 3, p. 255 – 266, 1997.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN H.; VIGIL S. **Integrated Solid Waste Management**. New York: MacGraw-Hill, 1993.

THEMELIS N.J.; ULLOA P. A. Methane generation in landfills. **Renewable Energy**, v.33 , n. 7, p. 1243 - 1257, abr. 2006.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Landfill off-gas collection and treatment system**. 1995. < <http://www.usace.army.mil> > Acesso em 20 dez. 2005.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Convenção sobre Mudança do Clima**. < <http://unfccc.int/2860.php> > Acesso em 10 set. 2006a.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Protocolo de Quioto**. <<http://unfccc.int/2860.php> > Acesso em 10 set 2006b.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Overview of Project Activity Cycle**. < <http://unfccc.int/2860.php> > Acesso em 10 set. 2006c.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Marrakesh Accords and Marrakesh Declaration**. <<http://unfccc.int/2860.php>> Acesso em 10 de set. 2006d.

UNITED KINGDOM – Environmental Agency. **Guidance on Landfill Gas Flaring**. 2002. < www.environment-agency.gov.uk > Acesso em 25 mai. 2006.

USEPA. **Conceptual framework to support development and use of environmental information in decision-making**. 1995. < <http://www.epa.gov> > Acesso em 13 de set. 2005.

USEPA. **Turning a Liability into as asset: A Landfill Gas-to-energy Project Development Handbook**. USA: 1996. < <http://www.epa.gov>> Acesso em 08 de nov. 2005.

WANG, Y. Methane potential of food waste and anaerobic toxicity of leachate produced during food waste decomposition. **Waste Management & Research**, v. 15, n. 2, p 149-167, 1997.

WINOGRAD, M. **Environmental Indicators for Latin America and the Caribbean: Tools for Sustainability**. International Center for the Environment and Public Policy. Sacramento, 1995. < <http://www.ciat.cgiar.org/indicators> > Acesso em 14 set. 2006.

ANEXOS

Anexo 1 – Partes do Anexo I da Convenção do Clima

Alemanha	Islândia
Austrália	Itália
Áustria	Japão
Belarus	Letônia
Bélgica	Liechtenstein
Bulgária	Lituânia
Canadá	Luxemburgo
Comunidade Européia	Mônaco
Croácia	Noruega
Dinamarca	Nova Zelândia
Eslováquia	Países Baixos
Eslovênia	Polônia
Espanha	Portugal
Estados Unidos da América	Reino Unido da Grã-Bretanha e
Estônia	Irlanda do Norte
Federação Russa	República Tcheca
Finlândia	Romênia
França	Suécia
Grécia	Suíça
Hungria	Turquia
Irlanda	Ucrânia

Fonte: UNFCCC, (2006b)

Anexo 2 – Setores e Categorias para redução dos GEE

GASES DE EFEITO ESTUFA

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Hidrofluorcarbonos (HFCs)
- Perfluorcarbonos (PFCs)
- Hexafluoreto de enxofre (SF₆)

SETORES/CATEGORIAS DE FONTES

ENERGIA

Queima de combustível

- Setor energético
- Indústrias de transformação e de construção
- Transporte
- Outros setores
- Outros

Emissões fugitivas de combustíveis

- Combustíveis sólidos
- Petróleo e gás natural
- Outros

PROCESSOS INDUSTRIAIS

- Produtos minerais
- Indústria química
- Produção de metais
- Outras produções
- Produção de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre
- Consumo de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre
- Outros

USO DE SOLVENTES E OUTROS PRODUTOS

AGRICULTURA

- Fermentação entérica
- Tratamento de dejetos

- Cultivo de arroz
- Solos agrícolas
- Queimadas prescritas de savana
- Queima de resíduos agrícolas
- Outros

RESÍDUOS

- Disposição de resíduos sólidos
- Tratamento de esgoto
- Incineração de resíduos
- Outros

Fonte: UNFCCC, (2006b)

Anexo 3 – Compromisso de redução ou limitação quantificada de emissões (porcentagem do ano base ou período).

PARTES	%	PARTES	%
Alemanha	92	Islândia	110
Austrália	108	Itália	92
Áustria	92	Japão	94
Bélgica	92	Letônia	92
Bulgária	92	Liechtenstein	92
Canadá	94	Lituânia	92
Comunidade Européia	92	Luxemburgo	92
Croácia	95	Mônaco	92
Dinamarca	92	Noruega	101
Eslováquia	92	Nova Zelândia	100
Eslovênia	92	Países Baixos	92
Espanha	92	Polônia	94
Estados Unidos da América	93	Portugal	92
Estônia	92	República Tcheca	92
Federação Russa	100	Romênia	92
Finlândia	92	Suécia	92
França	92	Suíça	92
Grécia	92	Ucrânia	100
Hungria	94	Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte	92
Irlanda	92		

Anexo 4 – Questionário Base

Data:

Local:

Entrevistado:

Formação Acadêmica:

Cargo/Função:

Coordenadas:

1. O município possui coleta seletiva?
2. A central de tratamento possui uma unidade de triagem?
3. Existe um Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos?
4. Qual a origem do resíduo sólido depositado no aterro?
 Doméstico Público Serviço de Saúde Industrial
 Construção Comercial Portos, Aeroportos, Rodoviários Agrícola

PARÂMETROS TÉCNICOS RELACIONADOS À UNIDADE DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

5. Qual a taxa de resíduos de saúde recebida pelo aterro?
6. Qual a classe dos resíduos de saúde depositados no aterro?
7. Características do sistema de tratamento e desinfecção dos resíduos de saúde:
8. Qual o indicador de eficiência do sistema?
9. Qual a capacidade de tratamento/desinfecção?

PARÂMETROS TÉCNICOS RELACIONADOS À UNIDADE DE PROCESSAMENTO DE ENTULHO

10. Qual a taxa de resíduos da construção civil saúde recebida pelo aterro?
11. Qual a composição gravimétrica deste material?
12. Quais os equipamentos utilizados na reciclagem do entulho?

PARÂMETROS TÉCNICOS RELACIONADOS À UNIDADE DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

13. Qual a taxa de resíduos proveniente de instalações industriais recebida pelo aterro?
14. Qual o grau de periculosidade do resíduo?

15. Quais os procedimentos utilizados para determinar o grau de periculosidade do resíduo?

PARÂMETROS TÉCNICOS RELACIONADOS À UNIDADE DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS PROVENIENTES DE PORTOS, AEROPORTOS E TERMINAIS RODOVIÁRIOS E FERROVIÁRIOS

16. Qual a taxa de resíduos proveniente de portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários recebida pelo aterro?

17. Qual o grau de periculosidade do resíduo?

18. Quais os procedimentos utilizados para determinar o grau de periculosidade do resíduo?

PARÂMETROS TÉCNICOS RELACIONADOS À UNIDADE DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS

19. Qual a taxa de resíduos proveniente de atividades agrícolas recebida pelo aterro?

20. Qual o grau de periculosidade do resíduo?

21. Quais os procedimentos utilizados para determinar o grau de periculosidade do resíduo?

PARÂMETROS TÉCNICOS RELACIONADOS À GESTÃO DE ATERRO SANITÁRIO

22. Qual a idade do aterro?

23. Qual a área ocupada pelo aterro?

24. Quantidade diária de resíduo depositado no aterro:

25. Qual a fração de matéria orgânica do resíduo?

26. Qual a altura média da massa de lixo?

27. Qual a forma de disposição (vala, rampa...)?

28. Qual a periodicidade de compactação da massa de resíduo?

29. Qual a espessura da camada de lixo espalhada, após compactação?

30. Qual a taxa de compactação de lixo?

31. Qual a procedência do material de cobertura?

32. Existe dispositivo para controle planialtimétrico da cota do aterro?

33. Como são identificadas as falhas na compactação e qual é a medida corretiva?

34. Existe monitoramento do maciço de resíduos?

35. Estruturas existentes:

- () portaria () escritório () área emergencial ()
refeitório
() balança () vestiário () equipamentos () cerca
vegetal
() área de empréstimo () outros _____

36. Profundidade e fluxo do lençol freático:

37. Presença de nascentes, principais bacias e mananciais de abastecimento público:

38. Monitoramento da água subterrânea (medidores de vazão, análises físico-químicas e biológicas):

39. Qual o tratamento dado ao chorume gerado pela decomposição biológica do resíduo? Existe recirculação? Qual o volume médio diário de chorume gerado?

40. Descrição do sistema de drenagem e coleta de percolados (forma de distribuição de drenos, dimensionamento do sistema de drenagem – vazão a ser drenada)

41. Existe registro de dados pluviométricos da região?

42. Já foi avaliada a disponibilidade de nutrientes para que ocorra a reação de biodegradabilidade do lixo?

PARÂMETROS SÓCIO-AMBIENTAIS

43. Qual a distância de comunidade/habitações circunvizinhas ao local de destinação final dos resíduos?

44. Quantos postos de trabalho foram gerados através do projeto?

45. Quais os programas de educação ambiental destinados à comunidade?

46. Quais as ações desenvolvidas para inclusão social dos catadores?

PARÂMETROS LEGAIS

47. Dispositivo legal que obriga a queima dos gases:

48. Procedimentos relativos à segurança do trabalho (CIPA, PPRA....):

PARÂMETROS TÉCNICOS RELACIONADOS AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS

49. Qual a metodologia adotada para estimar a quantidade de biogás gerado?

50. Qual a quantidade mínima necessária de biogás gerada pelo aterro para que seja viável economicamente a implantação de um sistema de aproveitamento energético?
51. Quais os parâmetros de processo que são monitorados com a finalidade de avaliar o desempenho do sistema de aproveitamento energético?
52. Quais as emissões atmosféricas oriundas do aproveitamento do biogás?
53. Quais os procedimentos para gerenciamento dos resíduos líquidos produzidos?
54. Descrever os sistemas de controle e segurança contra acidentes empregados na unidade:
55. Descrição do sistema de drenagem e coleta de gases:
56. Técnicas de eliminação de impurezas corrosivas presentes no biogás:
57. Medidas para evitar colmatação dos tubos de drenagem verticais (componentes da colmatação: carbonatações – entulho – formação de bolsões pastosos – rx bio).