

Fábio Viana de Abreu

**POTENCIAL DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS
EM ATERROS SANITÁRIOS NO BRASIL**

Monografia apresentada como
requisito parcial para a obtenção do
grau de Especialista em Energias
Renováveis com Ênfase em Biogás.

**Orientadora: Prof^a. MSc. Janaina
Camile Pasqual**

**Co-orientador: Prof. MSc. Cícero
Bley Junior**

Foz do Iguaçu, PR - Brasil
2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE

533.73 A162p	Abreu, F ábio Viana de. Potencial de aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários no Brasil . / Fábio Viana de Abreu . -- Foz do Iguaçu, 2013. 126 f.: il. Monografia (Especialização em energias renováveis com ênfase em biogás) – Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu, PR, 2013. Bibliografia. Orientador: Profa. MSc. Janaina Camile Pasqual Co-orientador: Prof. MSc. Cícero Bley Junior 1. Biogás. 2. Energias renováveis. I. Título.
-----------------	--

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e familiares que proporcionaram os sustentáculos básicos para realização dessa Especialização, estimulando e apoiando o meu desenvolvimento acadêmico, pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

A Prof^a Janaina Camile Pasqual, por aceitar o desafio de orientar essa monografia.

Ao Prof. Cícero Bley Junior, por co-orientar esse trabalho e acreditar no meu potencial, apoio e estímulo na busca de novos conhecimentos.

Aos outros professores do curso de Especialização em Energias Renováveis da Unila por seus ensinamentos e conhecimentos transmitidos.

Agradeço aos funcionários da Unila pela qualidade dos serviços prestados, em especial a Andrea Teixeira.

Aos colegas do curso de Especialização em Energias Renováveis da Unila, que nos encontros presenciais realizamos contatos profissionais e pessoais duradouros e de qualidade.

Aos colegas da área de Materiais e Universidade Petrobras, em especial aos meus superiores hierárquicos diretos Heyder Carvalho, Daniel Sztern, Tarcisio Secioso, Antonio Ezequiel Rodriguez e Rafael Brandão que sempre apoiaram e incentivaram a realização dessa Especialização. Por fim, agradeço ao Coordenador do Comitê Educacional de Biocombustíveis e Biotecnologias da Universidade Petrobras, Fernando Martins Torres.

RESUMO

A geração de energia a partir do biogás é uma maneira de produzir energia elétrica limpa, buscando reduzir os impactos globais gerados pela queima dos resíduos sólidos urbanos. A contribuição ambiental mais significativa é a redução de emissões dos gases de efeito estufa (GEE), por meio da conversão do metano gerado em dióxido de carbono. De acordo com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), os países denominados desenvolvidos podem adquirir créditos de carbono dos países em desenvolvimento (que possuam projetos verdes) para cumprir suas metas ambientais. Essa alternativa de obtenção de receitas é um dos objetos deste estudo. São estudadas as tecnologias de conversão energética, com a análise da melhor alternativa para a conversão energética do biogás em aterros sanitários e na agropecuária no Brasil. São apresentados estudos comparativos e os resultados demonstraram que os grupos geradores, utilizando motores de combustão interna (ciclos Otto ou Diesel), são mais viáveis tanto no viés técnico quanto econômico para conversão energética do biogás de aterros sanitários no Brasil por meio de Unidades Termoelétricas a biogás.

Palavras-Chave: Biogás, Geração Distribuída e Aterros Sanitários.

ABSTRACT

Power generation through biogas is a way to produce clean electric power, seeking to reduce the global impacts generated by the burning of municipal solid waste. The most significant environmental contribution is to reduce emissions of greenhouse gases (GHG) emissions by converting methane to carbon dioxide generated. According to the Clean Development Mechanism (CDM), the so-called developed countries can buy carbon credits from developing countries (which have green projects) to meet its environmental goals. This alternative of raising revenue is an object of this study. Are studied energy conversion technologies, with the analysis of the best alternative to energy conversion of biogas in landfills and agriculture in Brazil. Comparative studies are presented and the results showed that the generators using internal combustion engines (Otto or Diesel cycles) are more viable in both the technical bias and economic energy for conversion of landfill gas in Brazil through the Thermoelectric Biogas Units.

Key Words: Biogas, Distributed Generation and landfill.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	Avaliação do Impacto Ambiental
AL	América Latina
APA	Agência de Proteção Ambiental
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico
CER/s	Certificado de Emissão Reduzida
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico
CO ₂	Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico
COD	Carbono Orgânico Degradável
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPs	Comissão das Partes
CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
CTR NI	Centro de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu
DOE	Entidade Operacional Designada
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELETRORAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA-EUA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
EVTE	Estudo de Viabilidade Técnico e Econômico
FAPERJ	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
GDL	Gás do Lixo
GEE	Gases de efeito estufa
GIMGC	Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
GIRSU	Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos
H ₂ S	Gás Sulfídrico
HDPE	Tubulação de polietileno de elevada densidade
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Meio Ambiente
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LFG	Gás de aterro
LFGTE	Desenvolvimento de projetos para gerar energia através do biogás
MBRE	Mercado Brasileiro de Redução de emissões
MCI	Motor a Combustão Interna
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MW	Megawatt
MWh / kWh	Megawatt-hora / Kilowatt-hora
NBR	Norma Brasileira
O & M	Operação e Manutenção
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PIB	Produto Interno Bruto
PIE	Produtores Independentes de Energia

PL	Projeto de Lei
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PPMV	Parte por milhão em volume
PPBV	Parte por bilhão em volume
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RPPN	Reservas Particulares do Patrimônio Natural
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SERLA	Superintendência Estadual de Rios e Lagoas
SIGRS	Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
t. ou Ton.	Tonelada
tCO ₂ eq.	Tonelada de Carbono equivalente
TIR	Taxa Interna de Retorno
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
TOC	Compostos orgânicos totais
TWh / GWh	Terawatts-hora / Gigawatts-hora
UTE	Usina termoeletrica
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Destinação final de RSU	22
FIGURA 2	Rotas dos resíduos sólidos urbanos na cidade do Rio de Janeiro	29
FIGURA 3	Motores a Combustão Interna - Aterro de São João	40
FIGURA 4	Fluxograma para implantação de uma Usina de Energia	59
FIGURA 5	Panorama do lixo no estado do Rio de Janeiro	64
FIGURA 6	Sistema de coleta de gás de aterro	94
FIGURA 7	Sistema de pré-tratamento de gás de aterro	94
FIGURA 8	Exemplo de sistema de queima a ser instalado	95
FIGURA 9	Exemplo da instalação de geração de eletricidade modular	96
FIGURA 10	Melhoramento da estação a ser implementada no CTR Santa Rosa	97
FIGURA 11	Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de El Carrasco, Colômbia	112
FIGURA 12	Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de El Carrasco	114
FIGURA 13	Projeção de recuperação do gás de lixo no Aterro de Santa Tecla - RS	116
FIGURA 14	Projeção de recuperação do gás de lixo no Aterro de Muribeca - PE	118

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Avaliação geral do segmento de resíduos sólidos no Brasil	23
QUADRO 2	Evolução da coleta de lixo no Brasil	24
QUADRO 3	Esfera administrativa das prestadoras de serviços de coleta de lixo	24
QUADRO 4	Orçamento municipal destinado à limpeza urbana e a coleta de lixo	25
QUADRO 5	Domicílios com lixo coletado em cada município	25
QUADRO 6	Esfera administrativa das prestadoras de serviços de drenagem urbana	26
QUADRO 7	Orçamento municipal destinado a drenagem urbana .	26
QUADRO 8	Destinações recomendadas pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (SIGRS)	28
QUADRO 9	Tecnologias para geração de energia a partir do biogás	37
QUADRO 10	Tecnologias de conversão	39
QUADRO 11	Modelos teóricos de geração de Biogás	43
QUADRO 12	Teor de carbono orgânico C0 utilizado no modelo TNO Monofásico	51
QUADRO 13	Teor de matéria orgânica utilizada no modelo multifásico Afvalzorg	54
QUADRO 14	Parâmetros ζ e k para o modelo Afvalzorg	54
QUADRO 15	Parâmetros ζ e k para o modelo EPER	57
QUADRO 16	Tributos incidentes em projetos de energia	63
QUADRO 17	Contabilização dos resíduos sólidos urbanos (ton./mês e ton./dia)	65
QUADRO 18	Histórico da Deposição de Resíduos	66
QUADRO 19	Composição dos Resíduos do Aterro de Gramacho ...	67
QUADRO 20	Determinação do Valor de L0	70

QUADRO 21	Comparação da Composição dos Resíduos Gramacho x EUA	70
QUADRO 22	Sumário dos valores de k e L0	71
QUADRO 23	Custos Orçamentários Iniciais do Sistema de Coleta do Biogás com Queimador	77
QUADRO 24	Custos Orçamentários Anuais de Operação, Manutenção e Expansão/Substituição do Sistema de Coleta e de Queima	78
QUADRO 25	Custos Orçamentários Anuais de Registro, Monitoramento e Verificação do Projeto	79
QUADRO 26	Custos Orçamentários da UTE	79
QUADRO 27	Custos Orçamentários Anuais de Manutenção da UTE	80
QUADRO 28	Sumário das Taxas de Recuperação de Biogás e Capacidade (Bruta) da Usina Termoelétrica	81
QUADRO 29	Sumário dos pressupostos temporais dos sistemas de coleta e operação e capacidade (MW) do projeto .	81
QUADRO 30	Sumário da Avaliação Econômica (UTE)	86
QUADRO 31	Avaliação Econômica com UTE (CER a \$5 e \$6 ton.CO2 eq.)	87
QUADRO 32	Sumário da Avaliação Econômica com UTE (energia a \$0,035 kWh)	88
QUADRO 33	Sumário da Avaliação Econômica com UTE (U.S \$0,029 kWh) e tributos	89
QUADRO 34	Sumário da Avaliação Econômica com UTE (U.S \$0,035 kWh) e tributos	90
QUADRO 35	Sumário da Avaliação Econômica com UTE e tributos	91
QUADRO 36	Sumário da Avaliação Econômica com UTE e diferentes TMAs	92
QUADRO 37	Uso final do gás de aterro coletado	98
QUADRO 38	Composição de Resíduos do CTR Santa Rosa	99
QUADRO 39	Depósito de resíduos no CTR Santa Rosa	100
QUADRO 40	Dados de composição usados na estimativa ex-ante de reduções de emissões	101

QUADRO 41	Investimentos do projeto	102
QUADRO 42	VPL X TIR	102
QUADRO 43	Análise de Sensibilidade CTR Santa Rosa	103
QUADRO 44	Volume anual de metano usado para gerar eletricidade	104
QUADRO 45	Volume de eletricidade gerada e despachada para a rede	105
QUADRO 46	Volume de metano injetado anualmente na rede de distribuição de gás	105
QUADRO 47	Resumo das estimativas de reduções de emissões ex-ante	105
QUADRO 48	Análise Econômica do aterro sanitário de El Carrasco – Colômbia	113
QUADRO 49	Análise Econômica do Aterro de Montevideú	115
QUADRO 50	Análise Econômica do Aterro de Montevideú recebendo RSU até 2009	115
QUADRO 51	Análise Econômica do aterro de Santa Tecla - RS	117
QUADRO 52	Análise Econômica do Aterro de Muribeca – PE	119

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Valores para k propostos em correspondência com a precipitação anual	45
TABELA 2	Valores L0 em função da degradação do resíduo	45
TABELA 3	Fator de Correção do Metano (FCM) pelo IPCC	47
TABELA 4	Valores recomendados para o Carbono Orgânico Degradável (COD) nos principais tipos de resíduos ...	48
TABELA 5	Incertezas associada aos parâmetros sugeridos pelo IPCC	50

LISTA DE GRÁFICO

GRÁFICO 1	Recuperação do biogás projeto no Aterro de Gramacho	72
-----------	---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
OBJETIVO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 A Política Nacional dos Resíduos Sólidos	19
2.2 Resíduos Sólidos Urbanos	21
2.3 Resíduos Sólidos no Brasil	22
2.4 As rotas dos resíduos sólidos	27
2.5 Resíduos Sólidos Urbanos e Opções energéticas	30
2.6 Legislação aplicada aos Resíduos Sólidos	34
2.7 Tecnologia para conversão do biogás	37
3 METODOLOGIA	41
3.1 Modelos Teóricos de geração de energia através do biogás	42
3.2 Estrutura do projeto, implementação e riscos	57
3.3 Análise Econômica e Tributação	59
4 RESULTADOS	64
4.1 Aterro de Gramacho	64
4.2 Aterro de Seropedica	92
5 CONCLUSÕES	106
6 REFERÊNCIAS	108
ANEXO 1 – MDL NO BRASIL E NO MUNDO	112
ANEXO 2 – FLUXO DE CAIXA	120

1. INTRODUÇÃO

A gestão adequada do lixo e a geração de energia a partir do biogás de lixo em aterros sanitários são soluções ambientalmente sustentáveis - gerando energia elétrica renovável e limpa - além disso, a geração de energia elétrica a partir do biogás permite a redução de fugas dos gases de efeito estufa (GEE) e a melhoria do índice de conversão do metano contabilizado no cálculo para emissão de créditos de carbono dentro do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) (ABREU; 2011).

A negociação de créditos de carbono é a forma transacional do MDL (UNFCCC; 2007). Tais iniciativas induzem investimentos em projetos sustentáveis onde pode haver redução de emissões e/ou seqüestro de carbono, assegurando um modelo de desenvolvimento limpo para os países emergentes, onde os custos de implementação de tais projetos são maiores (CEBDS; 2001). O Brasil, enquanto País signatário do Tratado de Kyoto está habilitado a desenvolver projetos de redução dos GEE e emitir os créditos aos países industrializados que devem reduzir suas emissões até o ano 2012.

O biogás gerado nos aterros sanitários é composto basicamente por metano (CH_4 - de 55 a 65%), dióxido de carbono (CO_2 - de 35 a 45%), nitrogênio (N_2 - de 0 a 1%), hidrogênio (H_2 - de 0 a 1%) e gás sulfídrico (H_2S - de 0 a 1%) (POLPRASERT; 1996). No período de 100 anos, 1 grama de metano contribui 21 vezes mais para a formação do efeito estufa do que 1 grama de dióxido de carbono (UNFCCC; 2007). A combustão completa do metano produz dióxido de carbono e vapor d'água.

O aterro de Gramacho, situado em Duque de Caxias (RJ), era um lixão que, a partir do início da década de 1990, passou a receber alguns cuidados para reduzir a agressão que causava ao meio ambiente. Já o aterro de Seropédica foi construído para receber os resíduos da cidade do Rio de Janeiro, já que o aterro de Gramacho encerrou suas atividades oficialmente em 3 de Junho de 2012, na semana do Meio

Ambiente, pelo Prefeito Eduardo Paes e o secretário Carlos Minc. Com o encerramento de suas atividades, os resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro (cerca de 80%) serão destinados ao aterro sanitário de Seropédica. Os outros 20% dos resíduos já são destinados ao Aterro Sanitário de Gericinó que se localiza na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro (COMLURB;2012).

Sobre o aterro Sanitário de Gramacho, foi concluída a primeira fase da Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos, que trata diariamente 960 metros cúbicos de chorume (que é uma substância líquida resultante do processo de putrefação (apodrecimento) de matérias orgânicas) (COMLURB; 2009), que era uma das principais preocupações dos ambientalistas temendo a contaminação da Baía de Guanabara. O próximo passo é a produção de energia através do biogás do lixo e/ou o aproveitamento do biogás como insumo energético pela Refinaria de Duque de Caxias (REDUC) Petrobras.

A Petrobras assinou no dia 18 de janeiro de 2010 um contrato com a empresa Gás Verde para a compra de biogás purificado do Aterro de Gramacho, que será utilizado na REDUC como matriz energética, substituindo o gás natural.

A compra do biogás por parte da Petrobras eleva a diversificação do suprimento de gás para a Reduc e contribui para que a indústria de petróleo e gás possa desenvolver um estudo técnico sobre a queima e a utilização de biogás purificado em seus processos. O uso do biogás pela Reduc reduzirá as emissões atmosféricas de gases causadores do efeito estufa.

Este trabalho realiza uma revisão bibliográfica analisando os seguintes pontos: resíduos sólidos urbanos, Política Nacional dos Resíduos Sólidos, aquecimento global, mecanismo de desenvolvimento limpo, mercado de carbono e o estado da arte. Além disso, serão abordadas as principais legislações pertinentes ao setor de resíduos sólidos, onde existe um consenso que cabe ao município a titularidade nas questões envolvendo a coleta de lixo.

Para produzir energia através do biogás do lixo oriundo de aterros sanitários foi utilizada a metodologia do Usepa, 2005. Além disso, foi realizada uma análise de investimento do estudo de caso em questão com a utilização dos seguintes indicadores: Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Neste trabalho, será apresentada a estrutura do projeto para sua implementação, com a exposição das barreiras de ordem técnica e financeira. Por

fim, será esquematizado um sumário das Etapas para implantação de um projeto de produção de energia em aterros sanitários.

Essa monografia busca analisar o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos e seus reflexos técnicos e econômicos e apontar caminhos para resolver os problemas com a destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos.

Objetivos

Objetivo Geral

O objetivo geral é o estudo da viabilidade técnica e econômica da geração de energia a partir do biogás do lixo em aterros sanitários.

Objetivos Específicos

- Definir a melhor destinação final dos resíduos sólidos urbanos e redução do chorume.
- Gerar energia renovável e receitas para o município por meio da venda desta energia e obtenção de créditos de carbono;
- Analisar o papel do Estado do Rio de Janeiro no processo de desenvolvimento sustentável, estimulando a produção de energias renováveis através de incentivos fiscais e tributários e o desenvolvimento de pesquisas e projetos sobre o tema;
- Construir das bases científicas para tentar solucionar problemas reais e servir de suporte para a produção ecologicamente correta;
- Analisar da legislação vigente, em especial a política nacional dos resíduos sólidos, buscando soluções para o setor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo, será realizada a busca por referências na área de resíduos sólidos, tendo especial atenção aos resíduos sólidos urbanos em virtude do fato deste trabalho abordar o estudo de caso, que são os estudos de viabilidade técnica e econômica dos aterros de Seropédica e de Gramacho.

2.1 A Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos, após duas décadas de discussões, inúmeras comissões e trâmites diversos, foi aprovada e sancionada pelo presidente da república em 02 de Agosto de 2010. Período bem extenso para um país que descarta cerca de 150 mil toneladas de lixo por dia (ABRELPE; 2011). Para se ter uma idéia aproximada do volume que o período de “debates” gerou, basta multiplicar esta quantidade diária por aproximadamente 7.600 (dias). De posse deste número assustador, deve-se considerar que o volume de lixo sem destinação correta alcança cerca de 60% (AMBIENTE BRASIL; 2010).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos, além de instituir a política, tem um viés educacional, na medida em que dispõe e esclarece sobre princípios, objetivos e instrumentos, concorrentemente, destaca as diretrizes relacionadas com a gestão integrada e quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos. A lei ratifica a interface com as normas já estabelecidas pelo Sisnama – Sistema Nacional do Meio Ambiente, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária – SNVS, da Suasa e do Sinmetro.

Quanto às empresas e empreendimentos privados, a nova legislação altera a Lei 9.605/98 (Lei de Crimes Ambientais), traz inúmeras inovações que exigirão alterações operacionais e na conduta empresarial. Uma das inovações é o

compartilhamento de responsabilidades pelo ciclo de vida dos produtos. Neste particular a lei não se restringe a responsabilizar os fabricantes. Consideram, também, responsáveis os importadores, distribuidores, comerciantes e até os consumidores e titulares dos serviços de limpeza urbana ou manejo. A responsabilidade deverá ser implementada de forma individualizada e encadeada. (AMBIENTE BRASIL; 2010).

Outro ponto forte abordado pela PNRS é a logística reversa, já existente em casos pontuais, como fabricantes de pilhas e pneus, quando atribui aos responsáveis o recolhimento ou o retorno dos resíduos ou partes inservíveis do produto visando à correta destinação ambientalmente indicada. Inclui, também, o correto descarte em aterros, embalagens, resíduos da construção civil, dentre outros. Acordos setoriais em todas as instâncias de governo com a iniciativa privada serão pontos fortes da política.

A adequação dos empreendimentos à nova lei será de vital importância e, para que isto possa ocorrer de forma equilibrada e em conformidade legal, contratos com fornecedores e clientes precisarão ser revistos, com compartilhamento destas responsabilidades.

Por fim, a Constituição Federal, no artigo 225, apresenta as principais diretrizes sobre do meio ambiente que correlacionam com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, com o estabelecimento de conceitos como: desenvolvimento sustentável e a busca pela equidade intergeracional dos recursos naturais.

CAPÍTULO VI DO MEIO AMBIENTE

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

I - preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas;

II - preservar a diversidade e a integridade do patrimônio genético do País e fiscalizar as entidades dedicadas à pesquisa e manipulação de material genético;

III - definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção;

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente (...)

A chegada da Política Nacional de Resíduos Sólidos no ordenamento jurídico brasileiro, e sua integração à Política Nacional de Meio Ambiente e à Política de Saneamento Básico, completou o arcabouço regulatório necessário para propiciar o desenvolvimento da gestão de resíduos no Brasil, porém implicará necessariamente em mudanças nos sistemas adotados até agora.

2.2 Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos tratados neste trabalho, definidos como sólidos pela Associação Brasileira de Norma Brasileira (ABNT NBR 10.004:2004), são aqueles:

Resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.

No entanto, os resíduos podem ser classificados segundo sua origem, ou segundo suas modalidades físicas, como:

Quanto à sua origem:

- a) resíduos urbanos - provenientes de residências, atividades comerciais, varrição de ruas, podas de árvores e similares;
- b) resíduos industriais - gerados pelos processos de transformação;
- c) resíduos agrícolas - decorrentes da atividade produtiva do setor primário (como por exemplo, os resíduos florestais);

Quanto às suas qualidades físicas:

- a) materiais inertes - vidros, metais, terras e cinzas e restos inertes;
- b) materiais combustíveis, como papéis, cartões, plásticos, madeira, gomas, couro, alimentos e outros.

1.2.1 Definição de Lixo

A Associação Brasileira de Normas Técnicas através da ABNT NBR 10.004/2004 definem o lixo como:

Restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semi-sólido ou líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional. (ABNT; 2004)

2.3 Resíduos Sólidos no Brasil

A geração de desperdício em âmbito nacional advém da adoção de um desenvolvimento que tem a característica do alto padrão de consumo.

Na Figura 1, é possível visualizar o crescimento quantitativo na disposição final dos resíduos sólidos.



Figura 1: Destinação final de RSU (t/dia)

Fonte: Abrelpe, 2011

A consciência do processo de aproveitamento, tratamento ou destino dos RSU é de fundamental relevância para elaboração de análises e estudos que priorizem o seu aproveitamento.

O objetivo desse item é descrever o panorama nacional dos resíduos, no que se refere ao seu volume, tratamento, uso e disposição. Com isso, será possível visualizar todas as alternativas para produção de energia a partir do gás do lixo.

Realizando um estudo sobre a disponibilidade dos serviços nos distritos brasileiros, mostrado No Quadro 1, é possível verificar que temos um percentual bem maior de locais com a realização de serviços de limpeza urbana e coleta de lixo do que drenagem urbana. Nesse caso, não está sendo apurada a qualidade e eficácia do serviço prestado.

Quadro 1: Avaliação geral do segmento de resíduos sólidos no Brasil

Disponibilidade dos serviços nos distritos brasileiros	
Serviço	% dos distritos com o serviço
Limpeza urbana e coleta de lixo	85,1%
Drenagem urbana	58,5%

Fonte: Exame, 2008

No Quadro 2, é possível verificar uma evolução crescente no número de domicílios que estão sendo atendidos na coleta de lixo no Brasil. Do ano de 2001 a 2007, houve uma evolução superior a 8 milhões na coleta de lixo no Brasil. Além desse dado quantitativo, houve uma maior eficiência qualitativa com a elevação do percentual da coleta direta de 82,9% para 88,4%.

Quadro 2: Evolução da coleta de lixo no Brasil

Ano	Domicílios (em milhões)	% com coleta direta
2001	46,9	82,9%
2002	48,0	84,8%
2003	49,7	85,7%
2004	51,0	85,8%
2005	52,3	86,8%
2006	53,8	87,6%
2007	55,5	88,4%

Fonte: Exame, 2008

No Quadro 3, o objetivo consiste na certificação da presença majoritária dos municípios na esfera administrativa das prestadoras de serviços de coleta de lixo.

Quadro 3: Esfera administrativa das prestadoras de serviços de coleta de lixo.

Tipo	Distritos	% do total de distritos
Municipal	5480	87,9%
Estadual	5	0,1%
Federal	1	0%
Particular	752	12,1%

Fonte: Exame, 2008

Na Quadro 4, pode-se verificar que a grande parte dos municípios não destina recursos para investimentos e realização de serviços na área de resíduos sólidos urbanos.

Quadro 4: Orçamento municipal destinado à limpeza urbana e a coleta de lixo.

Proporção	Municípios	% do total de municípios
Menos de 5%	4.338	78,8%
5% a 10%	872	15,8%
10% a 20%	156	2,8%
Mais de 20%	31	0,6%
Sem previsão orçamentária	110	2,0%
Total	5507	100%

Fonte: Exame, 2008

Na Quadro 5, pode-se verificar que uma parcela significativa dos domicílios não dispõe de coleta de lixo.

Quadro 5: Domicílios com lixo coletado em cada município.

Proporção	Municípios	% do total de municípios
Menos de 50%	489	8,9%
50% a 70%	728	13,2%
70% a 80%	771	14,0%
80% a 90%	955	17,3%
90% a 99%	526	9,6%
100%	1.814	32,9%
Sem informação	224	4,1%
Total	5.507	100,0%

Fonte: Exame, 2008

A Quadro 6 apresenta dados sobre o percentual das prestadoras de serviços de drenagem urbana, por esfera administrativa, sendo elas: Municipal, estadual e federal.

Quadro 6: Esfera administrativa das prestadoras de serviços de drenagem urbana.

Tipo	Distritos	% do total de distritos
Municipal	4317	99,6%
Estadual	10	0,2%
Federal	-	-
Particular	7	0,2%

Fonte: Exame, 2008

Por fim, comparando o Quadro 4 com o Quadro 7, apresenta o orçamento municipal destinado a drenagem urbana, é possível verificar que a grande maioria dos municípios destinam um percentual menor de 5%, tanto no serviços de drenagem urbana, quanto no serviço destinado à limpeza urbana e a coleta de lixo

Quadro 7: Orçamento municipal destinado a drenagem urbana

Proporção	Municípios	% do total de municípios
Menos de 5%	2.728	49,5%
5% a 10%	319	5,8%
10% a 20%	91	1,7%
Mais de 20%	20	0,4%
Sem previsão orçamentária	1.072	19,5%
Sem serviços de drenagem urbana	1.277	23,1%
Total	5.507	100%

Fonte: Exame, 2008

2.4 As Rotas dos Resíduos Sólidos

As rotas de destinação e disposição final dos resíduos sólidos urbanos podem ser hierarquizadas. Quando esta hierarquia está baseada no critério de resíduo final mínimo, é conhecida como Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (SIGRS). Para o SIGRS, as rotas devem ser priorizadas na seguinte ordem: (1) redução da geração de lixo na fonte, (2) reutilização do material produzido, (3) reciclagem, (4) recuperação de energia e aterro sanitário. (SERÔA DA MOTTA; CHERMONT; 1996)

A priorização de ações, muitas vezes conhecida como política dos três Rs, de “Reduzir”, “Reutilizar” e “Reciclar”, antes da disposição final dos resíduos sólidos. Segundo esta política, cada “R” obedece a uma hierarquia. A reutilização não deve ser considerada até que as possibilidades de redução na fonte tenham se esgotado. A reciclagem não deve ser levada em conta até que as possibilidades de utilização tenham se esgotado, e assim por diante, até se chegar à disposição final (KANAYAMA; 1999).

Em virtude das indispensáveis e profundas mudanças necessárias (envolvendo o comportamento da população e os interesses dos setores econômicos), os dois primeiros estágios do SIGRS serão considerados como metas futuras. Isto se deve ao fato de que a Redução na Fonte e o Reaproveitamento, apesar de serem as práticas mais convenientes, do ponto de vista ambiental e, portanto, requererem grande investimento em conscientização e reestruturação do sistema (ABREU; 2011).

Os resíduos sólidos oriundos dos setores industrial, comercial e residencial, após recolhidos, passam por um sistema de gerenciamento que identifica sua destinação, em função de algumas características. Esta destinação pode ser para a reciclagem, a compostagem ou para a geração de energia – a partir da queima, da gaseificação direta, da produção de celulignina ou através do biogás (gás de lixo - GDL) de um aterro energético – ou, ainda, um aterro sanitário, de acordo com as três fases finais do SIGRS, como mostra a Quadro 8.

Quadro 8: Destinações recomendadas pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (SIGRS).

DESTINAÇÃO	DESCRIÇÃO
RECICLAGEM	Aproveitamento dos restos de papéis, vidros, plásticos e metais que não estejam contaminados para servir como insumo na fabricação de novos materiais
COMPOSTAGEM	Aproveitamento dos restos alimentares e componentes orgânicos (papéis, madeira, poda de jardins) para produção de adubo natural
RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA	Forma de aproveitar os resíduos e reduzir seus impactos, cujas alternativas serão vistas na seção a respeito
ATERRO SANITÁRIO	Local de disposição final dos resíduos imprestáveis, com garantias sanitárias

Fonte: USEPA (1998).

A Figura 2 mostra os principais centros de tratamentos de resíduos do Rio de Janeiro e região metropolitana. Em Jacarepaguá há um predomínio do lixo particular em detrimento do público, já que em Gericinó (Bangu) há o predomínio do lixo público, devido à sua privilegiada localização otimizando custos logísticos. Cabe ressaltar que o lixo hospitalar está presente apenas no Aterro de Gramacho. Outro fator importante é a presença de apenas lixo domiciliar na Usina de reciclagem de Irajá.

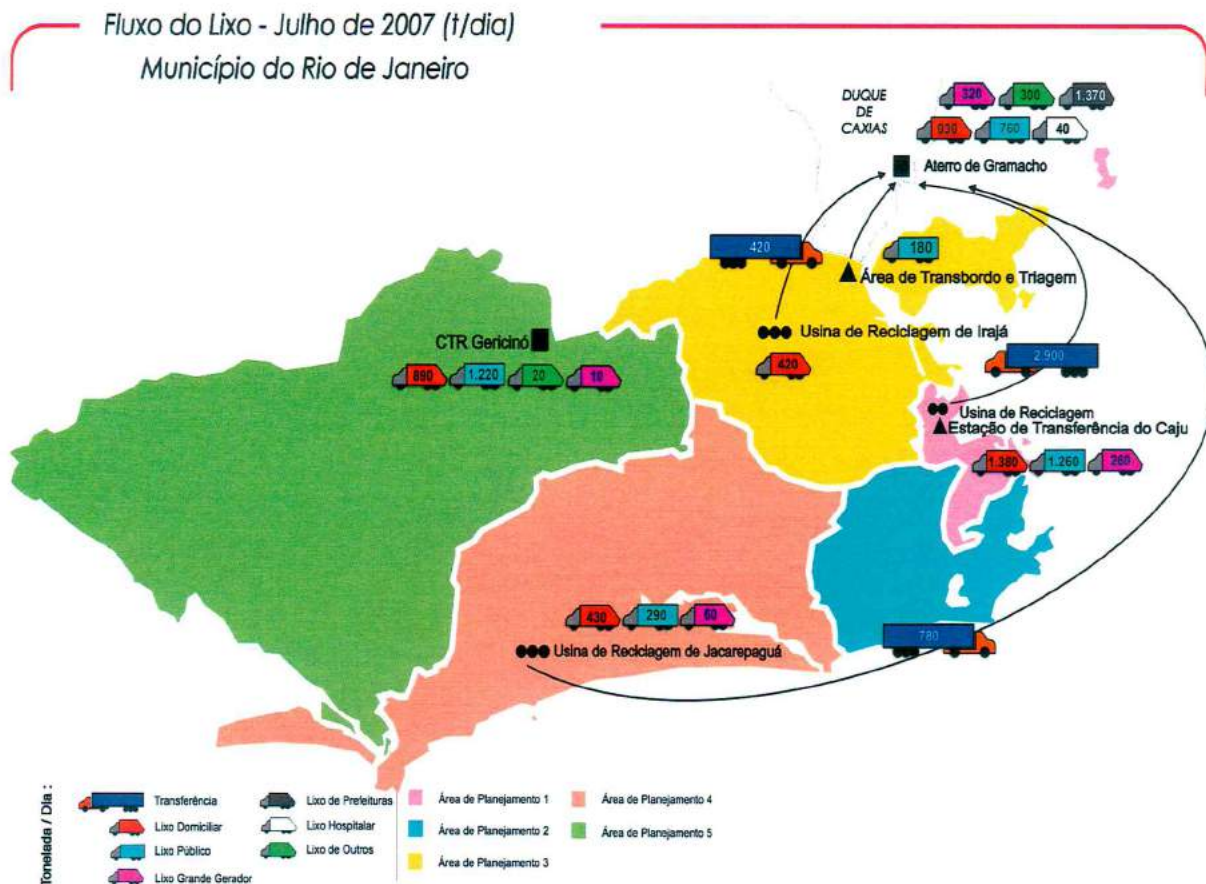


Figura 2: Rotas dos resíduos sólidos urbanos na cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: Comlurb, 2007

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT; 2004) define da seguinte forma os aterros sanitários:

aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou à intervalos menores se for necessário.

No Brasil, um aterro sanitário é definido como um aterro de resíduos sólidos urbanos, ou seja, adequado para a recepção de resíduos de origem doméstica, varrição de vias públicas e comércios. Os resíduos industriais devem ser destinados a aterro de resíduos sólidos industriais (enquadrado como classe II quando não perigoso e não inerte e classe I quando tratar-se de resíduo perigoso, de acordo com a norma técnica da ABNT 10.004/04 - "Resíduos Sólidos - Classificação").

Nos aterros sanitários a impermeabilização do solo, antes da deposição do lixo, é feita por meio de camadas de argila e uma geomembrana de polietileno de

alta densidade (PEAD) para evitar infiltração dos líquidos percolados (chorume) no solo. O lixo é depositado sobre o terreno e depois recoberto com camadas do solo do próprio local, isolando-o do meio ambiente. Formam-se então câmaras, nas quais é produzido o gás e liberado o chorume. O chorume é captado por meio de tubulações e escoado para tanques de tratamento e os gases produzidos durante a decomposição dos resíduos são captados e podem ser queimados em *flare* ou ainda utilizados como fonte de energia. O local da instalação do aterro deve ser cuidadosamente escolhido, abrangendo grandes dimensões e, devido a alguns inconvenientes como mau cheiro, tráfego de caminhões de lixo, deve estar localizado distante das concentrações urbanas.

A capacidade de um aterro gerar gás depende de muitos fatores, como a composição do resíduo, umidade, pH, entre outros. A formação e taxa de geração dos principais constituintes do biogás é variável ao longo do tempo. Em condições normais, a taxa de decomposição atinge um pico entre o primeiro e segundo ano e diminui continuamente por alguns anos. Segundo dados coletados a partir de informações de técnicos do aterro, uma previsão geral é que a geração do biogás após o encerramento da célula se prolongue por cerca de 20 anos.

A conversão energética do biogás pode ser apresentada como uma possível solução - econômica e para o meio ambiente - para o imenso volume de resíduos produzidos por atividades agrícolas e pecuárias, urbanas, tratamento de esgotos domésticos e aterros sanitários.

2.5 Resíduos Sólidos Urbanos e Opções Energéticas

As grandes cidades brasileiras estão buscando alternativas sustentáveis para redução da massa inerte de lixo acumulada nos aterros sanitários, lixões, entre outras formas de destinação do lixo, pois os mesmos estão próximo da sua capacidade máxima de depósitos.

Neste contexto, têm-se além da reciclagem, além de outras formas para solução do problema do lixo e seu aproveitamento energético:

- a) implantação de usinas de incineração para geração de energia elétrica a partir do calor gerado pela combustão do lixo;

- b) compostagem dos resíduos orgânicos associada com o aproveitamento energético do metano, trazendo uma contribuição significativa para retardar o esgotamento de aterros sanitários; e
- c) redução na geração de lixo, já que menos lixo produzido significa menor utilização de recursos naturais e energia para sua produção, bem como menor quantidade de lixo destinado aos aterros (que também representa conservação de energia).

2.5.1 Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos

A compostagem dos resíduos pode ser encarada, na realidade, como a reciclagem de materiais orgânicos. Ela consiste da transformação de materiais orgânicos, como restos de alimentos, papéis, folhas, vegetais, madeiras, etc, em adubo orgânico. Atualmente ela é praticada de duas formas principais:

- a) pontualmente, quando cada consumidor faz a compostagem de seus próprios resíduos gerados, comercializando-o ou utilizando-o em suas próprias atividades;
- b) de forma centralizada, quando a compostagem é feita em centros de triagem de lixo, onde sua parcela orgânica recebe um tratamento adequado de cura para se transformar em adubo.

Na compostagem, durante o processo orgânico é liberado o biogás, que pode ser coletado e utilizado como fonte energética.

2.5.2 Células de Lixo

Um inovador meio de recuperar energia a partir da fração orgânica do lixo poderá aumentar a competitividade do biogás na geração de eletricidade.

A idéia central é melhorar as condições de desenvolvimento biológico nos aterros de lixo, de maneira a acelerar a produção de metano de três a dez vezes em relação aos índices alcançados em aterros convencionais. O processo de decomposição acelerada reduz o volume do aterro, cria novas possibilidades para o

gerenciamento do lixo urbano e permite a geração de energia a um custo de 3,5 centavos de dólar por kWh, o que é considerado excelente para este tipo de planta.

Esse processo permite a recuperação de 95% do potencial de biogás em dez anos. A recuperação desse gás, utilizando-se técnicas convencionais, geralmente ocorre num período de 20 a 50 anos. Antecipá-la para um período menor aumenta substancialmente a lucratividade anual da geração e, ao mesmo tempo, reduz o período de amortização do capital investido nos equipamentos. (CERVEIRA; CLIMERU; 2000).

2.5.3 Incineração dos resíduos

Uma maneira tradicional de recuperação direta de energia a partir do lixo é através da incineração. É possível obter energia a partir de resíduos através da incineração, desde que esses sejam combustíveis e não excessivamente úmidos. O calor assim gerado pode ser utilizado para aquecimento direto, em processo de vaporização ou para gerar eletricidade. Alguns resíduos líquidos podem até ser utilizados como complementos a combustíveis convencionais.

Após entrevista com o Superintendente de Energias Renováveis de Itaipu, Cícero Bley Junior, a incineração de lixo no Brasil é uma tecnologia em conflito porque:

“1 - a energia elétrica gerada precisa ser subsidiada para pagar os altos custos dos investimentos em incineradores.

2 - os índices pluviométricos brasileiros (1.700mm médios anuais) exigem que para ser a incineração uma operação contínua (inclusive nos períodos de chuvas) sempre seja necessário o emprego de combustível complementar. Além dos custos isto agravaria a emissão de poluentes.

3 - a incineração de materiais de origem orgânica, incinerados junto com materiais plásticos (polímeros a base de Cloro) produzem a Dioxinas e Furanos, nanopartículas extremamente poluentes e de difícil remoção.

4 - as cinzas a que são reduzidos os materiais incinerados, contém metais pesados utilizados na composição e nas tintas das embalagens e como tal persistem à temperatura de incineração, resultando em materiais de difícil decontaminação.

5 - os materiais do lixo, potencialmente comburentes são os plásticos e os papéis que, além de só servirem para incineração em estado seco, se constituem nos valores centrais da economia dos catadores de materiais recicláveis (cerca de 800 mil pessoas no Brasil) e que esta economia não deve ser destruída."

As usinas de incineração utilizam fornalhas para queima de resíduos e vaporização da água para ser aproveitada em outros processos. Existem usinas que operam em larga escala, queimando 500 a 1000 toneladas por dia, e usinas de menor escala que operam de 50 a 100 toneladas por dia. As usinas de grande escala apresentam vantagem da economia de escala na utilização dos resíduos e também na geração de energia, à medida que as turbinas a vapor utilizadas podem ser maiores e com isso, de maior eficiência. As usinas de escala reduzida são úteis em comunidades com população em torno de 30 a 200 mil habitantes, produzindo entre 50 e 200 t/dia de RSU.

Na análise de viabilidade técnica e econômica, as receitas desse tipo de projeto são oriundas:

- a) da prestação de serviço de tratamento do lixo às municipalidades que o coletam e entregam na UTE (Unidade Termoelétrica) para a respectiva incineração;
- b) do suprimento de energia elétrica ao sistema interligado a ser remunerado pela concessionária local.

Resumidamente pode-se dizer que os benefícios de uma usina de incineração são:

- a) esterilização dos resíduos;
- b) diminuição do volume dos resíduos a ser aterrado e ampliação da vida útil do aterro existente;
- c) economia de combustível com transporte a aterros distantes; e
- d) reaproveitamento energético dos resíduos e aumento da confiabilidade do fornecimento elétrico da região.

2.5.4. Reciclagem

A relação entre conservação de energia e o tratamento dos RSU pode ser ilustrada inicialmente através da referência a trabalhos voltados a enfatizar os benefícios da reciclagem de lixo para solução dos problemas acima citados, mostrando como os setores de energia e de saneamento poderiam se relacionar, atuando de acordo com princípios de desenvolvimento sustentável. Existem materiais com altos potenciais de conservação de energia associada a sua reciclagem, como por exemplo, o plástico e o alumínio (CALDERONI; 1996; NEDER; 1995).

A verificação do fato da reciclagem de materiais propiciar tanto benefícios trouxe a tona à questão original de determinar qual seria a contribuição para o setor energético, em termos de conservação de energia, se os índices de reciclagem no Brasil, que hoje é inferior a 1%, fossem maiores.

A produção de 1 tonelada de alumínio a partir da bauxita consome aproximadamente 16 MWh de energia, enquanto que, se for produzido a partir de alumínio reciclado, seriam necessários apenas 0,8 MWh de energia. Na produção de uma tonelada de barras de aço, a utilização de sucata, consome aproximadamente 1,8 MWh de energia, enquanto que a produção a partir de minério de ferro, consome cerca de 6,8 MWh.

Para o papel, a economia de energia é 714% e, no caso do vidro, a economia é de 13%. A economia de energia resultante da reciclagem de lixo para o Brasil poderia ser aproximadamente 37 TWh anualmente, cerca de 14% do consumo de energia elétrica no Brasil em 1995, cerca de 270 TWh.

2.6 Legislação aplicada aos RSUs

Além da Constituição Federal, o Brasil já dispõe de uma legislação ampla que, por si só, não tem conseguido equacionar o problema do GRSU (Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos, que é a gestão definida na Política de Resíduos Sólidos, que busca a redução, reutilização e reuso dos resíduos). A falta de diretrizes claras, de sincronismo entre as fases que compõem o sistema de

gerenciamento e de integração dos diversos órgãos envolvidos com a elaboração e aplicação das leis possibilitam a existência de algumas lacunas e ambigüidades, dificultando o seu cumprimento.

Nas diferentes esferas governamentais, ainda são iniciativas recentes ou inexistem leis específicas de Políticas de Gestão de Resíduos Sólidos que estabeleçam objetivos, diretrizes e instrumentos em consonância com as características sociais, econômicas e culturais de Estados e municípios. Alguns dos principais instrumentos legais e normativos de interesse para o tema são citados e comentados brevemente.

A Constituição Federal, promulgada em 1988, estabelece em seu **artigo 23, inciso VI**, que *“compete à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas forma”*. No **artigo 24**, estabelece a competência da União, dos Estados e do Distrito Federal em legislar concorrentemente sobre

(...) proteção do meio ambiente e controle da poluição (**inciso VI**) e, no **artigo 30, incisos I e II**, estabelece que caibam ainda ao **poder público municipal** “legislar sobre os assuntos de interesse local e suplementar a legislação federal e a estadual no que couber. (grifo meu)

A Lei Federal no 6.938, de 31/8/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, institui a sistemática de Avaliação de Impacto Ambiental para atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental, com a criação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). A mesma é formada por um conjunto de procedimentos que visam assegurar que se realize exame sistemático dos potenciais impactos ambientais de uma atividade e de suas alternativas. Também no âmbito da **Lei nº 6.938/81** ficam instituídas as licenças a serem obtidas ao longo da existência das atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental (IPT/CEMPRE; 2000).

A Lei de Crimes Ambientais (Brasil, nº 9.605 de fevereiro de 1998) dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. Em seu artigo 54, parágrafo 2º, inciso V, penaliza o lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos. No parágrafo 3º do mesmo artigo, a lei penaliza quem deixar de adotar, quando assim o exigir a

autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreparável.

Por fim, deve-se citar o projeto de lei que está em tramitação no Congresso Nacional, sob a numeração (**PL-7047/2006**). Esse projeto de lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, seus objetivos, princípios e instrumentos, bem como estabelece diretrizes nacionais para o gerenciamento de resíduos sólidos no País, regulando responsabilidades e parâmetros técnicos.

2.6.1 Da Política Nacional do Meio Ambiente

É importante ressaltar e transcrever abaixo, o artigo precípua (art. 2 da Política Nacional do Meio Ambiente) para o entendimento e devida compreensão dos ditames fundamentais para a realização da política nacional do meio ambiente.

Art. 2º - A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

- I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;
- II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;
- IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;
- V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
- VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
- VIII - recuperação de áreas degradadas;
- IX - Proteção de áreas ameaçadas de degradação;
- X - Educação ambiental a todos os níveis do ensino inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio.

Por fim, verifica-se que a legislação muitas vezes tem um papel propositivo, não mostrando claramente de onde viriam os recursos e que órgão e com qual mão de obra será realizada a promoção a educação ambiental (por exemplo) presente no inciso VI do artigo 225 da Constituição federal.

2.7 Tecnologias para Conversão do Biogás

As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás são apresentadas na Quadro 9. Destacam-se as turbinas a gás e os motores de combustão interna (ciclos Otto e Diesel).

A Quadro 9 faz uma comparação das tecnologias de conversão. Para geração de energia a capacidades pequenas e médias, os motores a combustão interna são mais adequados devido ao seu menor custo e maior eficiência nesta faixa. Somente para altas capacidades, as turbinas a gás passam a ter economicidade, melhorada quando utilizadas em ciclos combinados.

Os motores a combustão interna de ciclos Otto ou Diesel possuem maior eficiência na faixa de operação deste projeto. Motores de ciclo Diesel trabalham com taxa de compressão mais elevada, sendo então mais difícil trabalhar com biogás nestes. Visto que no mercado brasileiro os motores Otto podem ser mais facilmente adaptados para funcionar com biogás, torna-se recomendável a utilização dos mesmos no aterro em questão.

Quadro 9: Tecnologias para geração de energia a partir do biogás

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Motor de Combustão Interna	Baixo custo de manutenção	Limitação de potência
	Pequeno tamanho de instalação	
	Rápida Instalação	
	Modularidade do Sistema	
	Diversidade de fornecedores de equipamentos	
	Eficiência em carga total e parcial	
Turbinas a gás	Sem formação de condensados	Investimento inicial elevado
	Maior confiabilidade mecânica	Maior sensibilidade a partículas e impurezas
	Combustão mais completa	

Fonte: MMA (2005)

2.7.1 Motor de Combustão Interna Alternativo

Devido à escolha do motor a combustão interna para o estudo de caso, segue um estudo detalhado de suas características, com suas vantagens e desvantagens.

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas nas quais a energia química do combustível se transforma em trabalho mecânico, o fluido de trabalho consiste da mistura ar-combustível. Representam a tecnologia mais difundida dentre as máquinas térmicas, devido a sua simplicidade, robustez e alta relação potência/peso, o que faz com que estes acionadores sejam empregados em larga escala como elementos de propulsão para geração de eletricidade contínua, de back-up ou de carga de pico e para acionamento de bombas, compressores ou qualquer outro tipo de carga estacionária.

Os MCI do tipo alternativo são divididos em motores de ignição por centelha ou Otto e de ignição por compressão ou Diesel. Podem ser de dois ou quatro tempos, mas o de quatro tempos são os mais utilizados. Nos motores de ciclo Otto, a mistura ar/combustível é admitida na câmara de combustão e inflamada pela centelha de uma vela de ignição. Já nos motores a Diesel (ciclo Diesel), o ar é admitido na câmara de combustão e comprimido a uma elevada pressão (que resulta em altas temperaturas [800°C]). O diesel é injetado nesse ar de temperatura elevada e inflama-se instantaneamente, sem necessidade de ignição.

Os motores do Ciclo Diesel dominam o mercado para potências até 5 MW e para sistemas de emergência pois possuem menor custo de geração, quando comparados com a turbina a gás. Já os motores de ignição por centelha possuem custos iniciais menores, mas tem um custo de combustível maior, quando não se usa gás nos MCIs (LISS; 1999).

As principais características desses sistemas são:

- a) a eficiência destes não é tão sensível às condições ambiente locais (temperatura, pressão e umidade) quanto são as turbinas a gás;
- b) as instalações são modulares e flexíveis, com isto o tempo de construção de uma central é curto e a entrada em operação (start-up) é rápida. Além de serem apropriadas para as condições de partidas e paradas diárias;
- c) Possui maior relação potência/peso;

d) requerem manutenções mais constantes.

Atualmente os motores de combustão interna já estão sendo preparados para queimar o biogás com diversos teores de metano, dióxido de carbono, hidrogênio, entre outros gases. O moto-gerador de energia elétrica representa um importante avanço na geração de energia elétrica a partir do biogás. Um sistema moto-gerador (12 metros de comprimento), em geral, vem equipado com os seguintes itens (BRASMETANO; 2007):

- a) motor a Biogás, turbo alimentado com intercooler, de fabricação nacional;
- b) sistema de alimentação e ignição gerenciados eletronicamente;
- c) geradores sem escovas;
- d) painel de comando manual;
- e) unidade de auto-alimentação de biogás de acionamento direto pelo motor;
- f) filtros desumidificadores;
- g) unidade de aquecimento / controle de temperatura do Biogás, incorporado à Unidade de auto-alimentação;
- h) unidade de resfriamento, com controle da temperatura do motor;
- i) unidade de segurança, composta de válvulas de bloqueio automáticas.

A seguir, é apresentada no Quadro 10, a comparação da potência e rendimento para diversas tecnologias de conversão energética como o Motor a Combustão Interna e as Turbinas.

Quadro 10: Tecnologias de conversão

Tecnologia de Conversão	Potência Instalada	Rendimento Elétrico
Motores a Gás (Ciclo Diesel)	30kW - 1MW	30% - 40%
Motores a Gás (Ciclo Otto)	40kW - 20MW	25% - 30%
Turbina a Gás (Médio Porte)	500kW - 150MW	35% - 42%

Fonte: Lora, 2004.

Por fim, a Figura 3 apresenta os grupos geradores (16) que foram instalados em duas seções da planta termelétrica construída pela Biogás e São João Energia Ambiental, localizada na Zona Leste da capital de São Paulo. A planta termelétrica contempla 16 grupos geradores G3520C Caterpillar. Cada moto gerador possui 1,54MW de potência, o que totaliza 24,64MW de capacidade instalada.



Figura 3: Motores a Combustão Interna - Aterro de São João

Fonte: Abreu, 2011

3 METODOLOGIA

Os dois aterros foram escolhidos devido à importância para a cidade do Rio de Janeiro e seu entorno. O aterro de Gramacho foi o principal aterro sanitário da região metropolitana do Rio de Janeiro. Com o encerramento de suas atividades, os resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro (cerca de 80%) serão destinados ao aterro sanitário de Seropédica.

Através de órgãos oficiais, como o Banco Mundial e palestras no Clube de Engenharia do Rio de Janeiro, foram obtidos os dados básicos para realização do estudo de caso. O mesmo se faz necessário, para que o trabalho possa ser um instrumento de decisão para investidores do setor de gás e energia.

A metodologia da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) foi escolhida por representar corretamente a variação de geração de metano tanto para aterros ativos como para aterros já encerrados. Ademais, os aspectos relacionados com a temperatura e umidade, o modelo USEPA é o mais adequado para a região estudada. As informações utilizadas nesse estudo de viabilidade técnica e econômica são oriundas de dados bases do Banco Mundial, que realizou o levantamento de dados técnicos in loco na década de 2000. O autor realizou planilhas em Excel e gráficos técnicos simulando a produção de biogás e viabilidade econômica através do Valor Presente Líquido.

A metodologia da USEPA requer o conhecimento do histórico da deposição dos resíduos (ou, no mínimo, da quantidade de lixo depositado e da data de abertura do aterro sanitário); usa uma função exponencial de degradação de primeira ordem, que presume que a geração de biogás alcance o ponto máximo após um intervalo de tempo que representa o período antes da geração de metano. O modelo da USEPA supõe um intervalo de um ano entre a deposição dos resíduos e a geração de biogás. Após um ano, o modelo prevê que a geração de biogás

decreça exponencialmente à medida que é consumida a fração orgânica dos resíduos.

O capítulo da metodologia apresenta os principais modelos matemáticos utilizados para estimar a produção de gases em aterros sanitários.

Quanto melhor for a compreensão da dinâmica das reações envolvidas na geração de biogás e da influência dos parâmetros envolvidos nos mecanismos de degradação biológica da matéria orgânica, mais precisas serão as previsões da variação na produção de gás.

Uma boa previsão das taxas de geração e de emissões é importante, não somente na avaliação técnica e econômica que determinará a viabilidade da implantação de projetos de captação de gás nos aterros sanitários, mas também, terminada a etapa de projeto, durante a etapa de operação, auxiliando a gestão dos aterros e o controle de emissões.

Os modelos de previsão de geração de gás de aterro (LFG) a partir de RSU mais comumente usados são os modelos monofásico e multifásico de primeira ordem, que descrevem o decaimento da geração de metano ao longo do tempo. Entretanto, eles ainda precisam ser validados em localidades com diferentes climas e características de resíduos. É necessária, portanto, a validação desses modelos por meio de medições de emissões de LFG coletados, considerando as devidas eficiências de coleta e oxidação do metano. (SCHARFF; 2006)

Outro problema dos modelos utilizados hoje em dia é como separar e categorizar os diferentes tipos de resíduos presentes no lixo, bem como suas respectivas quantidades de carbono biodegradável. Na Europa, por exemplo, existe um catálogo de resíduos (EWC) que os separa em 800 diferentes categorias, porém não levando em conta as quantidades de carbono biodegradável.

3.1 Modelos Teóricos de geração de energia a partir do biogás

Os principais modelos teóricos de primeira ordem utilizados hoje em dia para previsão de geração de biogás de aterro podem ser divididos em monofásicos e multifásicos.

Neste presente trabalho são apresentados diferentes modelos para previsão de geração de biogás de aterro, sendo dois monofásicos e quatro multifásicos, como mostrado na Quadro 11.

Os modelos monofásicos consideram toda a matéria orgânica contida no aterro sanitário com uma taxa de degradação constante, a partir da média da quantidade de carbono biodegradável contido em cada tipo de resíduo dessa mistura.

Quadro 11: Modelos teóricos de geração de Biogás

Modelos Teóricos	
Modelos Monofásicos	Modelo TNO
	Modelo LamdGEM (US-EPA)
Modelos Multifásicos	Modelo TNO Multifásico (Afvalzorg)
	Modelo EPER Francês
	Modelo IPCC, 2006 e Banco Mundial

Já os modelos multifásicos dividem os RSU em várias categorias, cada uma com sua respectiva taxa de degradação e potencial de degradação.

A metodologia utilizada nesse trabalho é a recomendada pela Usepa (2005). No entanto, neste trabalho serão apresentadas outras metodologias de cálculo de geração de metano, como é o caso do Banco Mundial e IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) que fornecem a geração e composição do gás. Além disso, será possível definir e especificar qual o equipamento que será utilizado para o devido aproveitamento do gás metano. Com isso, será feito o EVTE (Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica).

3.1.1 Metodologia do Banco Mundial

As equações do Banco Mundial e IPCC têm semelhanças, como o fato de serem equações cinéticas de primeira ordem e consideram parâmetros similares de entrada, como:

- a) massa de resíduos que ingressa ao aterro anualmente;
- b) tempo de atividade do aterro e/ou após o fechamento;
- c) taxa de geração de metano (k); e
- d) potencial de geração de metano (L_0).

A capacidade potencial de geração de metano L_0 depende apenas do tipo de resíduos presentes, e varia entre 5 e 310 $m^3 CH_4 / t$ resíduo. Quanto mais elevado o conteúdo de matéria orgânica, maior será o valor de L_0 .

A taxa de geração de metano (**k**) determina a rapidez de geração do biogás e de esgotamento do vazadouro. É função da umidade do resíduo, tipo de resíduo, disponibilidade de nutrientes para o processo anaeróbico, pH e temperatura. As taxas **mais rápidas** ($k=0,2$ ou uma meia vida de aproximadamente 3 anos) estão atreladas a condições de alta umidade e materiais rapidamente degradáveis, como os **restos de alimentos**. As taxas de decomposição **mais lentas** ($k=0,03$ ou uma meia vida de aproximadamente 23 anos) se associam a aterros de resíduos secos e resíduos de degradação lenta, como a **madeira ou o papel**.

O Banco Mundial utiliza o Modelo Scholl Canyon, que é um modelo cinético de primeira ordem, com base na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo.

O modelo é representado pela Eq. (1), demonstrada abaixo:

$$Q_{(CH_4)_i} = k \times L_0 \times m_i \times e^{-k \cdot t_i} \quad (1)$$

Em que:

$Q_{(CH_4)_i}$ = Metano produzido no ano i a partir da seção i do resíduo, (m^3 /ano);

k = Taxa da geração de metano, (anos⁻¹);

L_0 = Potencial da geração de metano, ($m^3 CH_4 / t$ resíduo);

m_i = Massa de resíduo despejada no ano i, (t/ano);

t_i = Anos após o fechamento.

Os valores sugeridos para a constante de geração de metano (**k**) estão apresentados no Tabela 1.

Tabela 1: Valores para k propostos em correspondência com a precipitação anual.

Precipitação Anual	Campo dos Valores k		
	Relativamente Inerte	Moderadamente Degradável	Altamente Degradável
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
> 250 e < 500 mm	0,01	0,03	0,05
> 500 e < 1000 mm	0,02	0,05	0,08
> 1000 mm	0,02	0,06	0,09

FONTE: Banco Mundial, (2003)

O potencial de geração de metano (L_0) representa sua produção total por tonelada de lixo. Valores típicos para este parâmetro variam de 125 m³ a 300 m³ de metano/tonelada de resíduo.

O Banco Mundial propõe a utilização de um valor pré-estabelecido de L_0 de 170 m³ de metano/tonelada de resíduos, conforme o Tabela 2.

Tabela 2: Valores L_0 em função da degradação do resíduo.

Categorização do Lixo	Valor Mínimo para L_0	Valor Máximo para L_0
Lixo Relativamente Inerte	5	25
Lixo Moderadamente Degradável	140	200
Lixo Altamente Degradável	225	300

FONTE: BANCO MUNDIAL, (2003)

A Equação (1) não permite uma representação apropriada de aterros de RSU ativos, já que no caso a exponencial da equação assume o valor um (1), o que fornece para aterros sem grandes flutuações no ingresso anual de resíduos uma geração constante de metano, independente do tempo de atividade do aterro.

3.1.2 Metodologia IPCC

Os ditames do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) - (1996), descrevem dois métodos para estimar as emissões de metano procedentes de aterros: o **método simplificado**, que tem como base a suposição de que o total de metano potencial se libera durante o ano em que se produz a disposição dos resíduos, Eq. (2), e o **método de decomposição de primeira ordem**, Eq. (3) e Eq. (4). O método de decomposição de primeira ordem permite um perfil de emissões que tem dependência do tempo transcorrido e que reflete melhor as reais pautas do processo de degradação ao longo do tempo.

$$CH_4(t / ano) = (RSU_T * RSU_F * L_0 - R(t)) * (1 - OX) \quad (2)$$

$$CH_4gerado(t / ano) = \sum \left[(A * k * RSU_T(x) * RSU_F(x) * L_0(x)) * e^{-k(t-x)} \right] \quad (3)$$

$$CH_4emitido(t / ano) = [CH_4gerado - R(t)] * (1 - OX) \quad (4)$$

Em que:

t = ano de realização do inventario.

x = ano de contribuição (desde inicio de atividade até t).

A = (1-e-k)/k; fator de normalização para corrigir a soma.

k = constante de geração, ano⁻¹.

RSU_T(x) = total de RSU gerados no ano x, t/ano.

RSU_F(x) = fração de RSU depositada no aterro no ano x.

RSU_T(x) * RSU_F(x) = massa de resíduos despejada no ano x, t/ano

L₀ = potencial de geração de metano (t CH₄/t RSU);

L₀ = FCM(x) * COD(x) * COD_F * F * 16/12.

FCM(x) = fator de correção do metano no ano x.

COD(x) = fração de carbono orgânico degradável no ano x (t C/t RSU).

COD_F = fração do carbono orgânico degradável assimilado.

F = fração de metano no gás do aterro, na ausência de dados 0,5.

16/12 = conversão de carbono a metano.

$R(t)$ = quantidade de metano recuperada no ano t .

OX = fator de oxidação (fração).

A Equação (3) não permite uma representação adequada de aterros de RSU fechados, pois a fração exponencial é sempre crescente, o que gera uma elevação constante na geração de biogás. Mas se for considerado o ingresso de resíduos ao aterro como **zero**, a equação é zerada.

- **Determinação do Fator de Correção para o Metano**

O IPCC (1996), no relatório guia para a realização de inventários de gases de efeito estufa, propõe valores do FCM (Fator de Correção do Metano) em função do tipo de aterro onde se realize a eliminação dos RSU, quer dizer, a localização, temperatura e o tipo de resíduo sólido urbano são fundamentais para a determinação e orientação para a produção do gás do lixo nos aterros sanitários. Classifica os vazadouros em duas categorias, *controlados* e *não controlados*, e define um valor do Fator de Correção do Metano a cada tipo mencionado.

Aos aterros controlados define um valor do **FCM de um (1)**. O IPCC conceitua como aterros controlados aqueles nos quais existe uma deposição controlada dos resíduos, ou seja, áreas específicas para depositar os resíduos e algum grau de controle da coleta do lixo. E deverá ser usado pelo menos um dos seguintes procedimentos: material de cobertura, compactação mecânica ou nivelamento de desperdícios.

No caso dos aterros não controlados, conceituados como vazadouros ou lixões, os valores de FCM que a Cetesb, 2002 recomenda variam com a altura da pilha de disposição, como indicado na Tabela 3.

Tabela 3: Fator de Correção do Metano (FCM) pelo IPCC.

LDRS	FCM
Altura maior ou igual a 5 m	80%
Altura menor que 5m	40%
Locais sem classificação	60%

FONTE: CETESB, (2002)

- **Constante de Geração.**

A constante de geração (**k**) representa a velocidade de degradação da matéria orgânica. Se este parâmetro não estiver caracterizado o IPCC recomenda um valor de **0,05**.

- **Carbono Orgânico Degradável (COD).**

O carbono orgânico degradável é a fração acessível para a decomposição bioquímica dos resíduos. A Tabela 4 mostra os valores recomendados pelo IPCC para os diferentes resíduos.

Tabela 4: Valores recomendados para o Carbono Orgânico Degradável (COD) nos principais tipos de resíduos.

COMPONENTE	PORCENTAGEM DE COD EM MASSA
A. PAPEL, PAPELÃO E TECIDOS	40
B. RESÍDUOS DE PARQUES E JARDINS	17
C. RESTOS DE ALIMENTOS	15
D. MADEIRA	30

FONTE: IPCC (1996)

Para o cálculo do COD é proposta a Eq. (5):

$$\text{COD (fração)} = 0,4 A + 0,17 B + 0,15 C + 0,30 D \quad (5)$$

Cujo, A, B, C e D, são definidos:

A: Fração dos RSU que corresponde ao papel e aos têxteis.

B: Fração dos RSU que corresponde aos resíduos de jardins e parques e outros resíduos orgânicos putrescíveis (excluídos os alimentos).

C: Fração dos resíduos que correspondem a restos de alimentos.

D: Fração dos resíduos que correspondem aos resíduos de madeira e palha.

- **Fração do Carbono Orgânico Degradável Assimilado COD_F**

O COD_F é a fração do carbono orgânico degradável que de fato se degrada. O carbono orgânico degradável não se decompõe totalmente e parte permanece no aterro inclusive durante longos períodos de tempo. Na ausência de dados o IPCC propõe um valor de 77% para o COD_F.

- **Fator de Oxidação OX**

O fator de oxidação reflete a quantidade de metano procedente dos aterros que se oxida no solo ou em outros materiais que cobrem os resíduos. Estudos realizados demonstram que os aterros sanitários costumam expressar resultados de oxidação mais altos que os lixões. Até o momento não existem valores aceitos internacionalmente e, na ausência de dados, se assume um valor igual a zero (0).

O uso de valores de Oxidação diferentes de zero é justificado no caso de aterros sanitários, mas em outros casos, o uso de um valor de oxidação diferente de zero deve estar claramente documentado e respaldado por referências. É importante destacar que qualquer quantidade de metano que se recupere deverá descontar-se do volume gerado antes de aplicar um fator de oxidação.

- **Incertezas Associadas**

A Tabela 5 apresenta a faixa de incerteza associada a cada parâmetro, sendo que a taxa de recuperação do metano depende da maneira que são estimadas as quantidades de metano recuperado.

Tabela 5: Incertezas associada aos parâmetros sugeridos pelo IPCC.

PARÂMETRO	FAIXA DE INCERTEZA
MSW * MSW _F	> ± 10%
DOC = 0,21	- 50% , + 20%
DOC _F =0,77	- 30% , 0%
FCM = 1	- 10% , 0%
F = 0,5	- 0% , 20%
RECUPERAÇÃO DE METANO (R)	A faixa de incerteza dependerá da forma em que são estimadas as quantidades de metano recuperado, mas é provável que essa incerteza seja relativamente pequena se comparada com outras quando se aplicam sistemas de medição.
OX	O fator OX deverá ser incluído na análise da incerteza quando tenha sido indicado um valor diferente de zero
TAXA DE GERAÇÃO DE METANO k = 0,05	- 40% ,+ 300 %

FORNTE: IPCC (1996)

3.1.3 Modelo Monofásico TNO

O modelo foi desenvolvido pelo centro de pesquisa TNO, e foi um dos primeiros modelos a serem utilizados para calcular emissões de metano na Alemanha. Neste modelo, é considerado um decaimento exponencial da matéria orgânica (OM) presente no interior do aterro. O modelo pode ser descrito matematicamente como mostrado abaixo (SCHARFF; 2006).

$$\alpha_t = \zeta 1.87 A C_0 k_1 e^{-k_1 t} \quad (6)$$

Onde:

α_t é a formação de biogás em um determinado momento [m^3 LFG / ano]

ζ é o fator de dissimilação = 0.58 [-]

1.87 é o fator de conversão [m^3 LFG / $kgC_{degradado}$]

- A é a quantidade de RSU depositado no aterro [t]
 C₀ é a quantidade de carbono orgânico nos resíduos = 130 [kgC/t RSU]
 k₁ taxa de degradação = 0.094 [ano⁻¹]
 t tempo decorrido desde a deposição [ano]

A princípio, todo carbono orgânico presente no RSU é considerado biodegradável. Entretanto, parte desse carbono não é convertido devido à falta de condições no aterro para tal (falta de umidade, substâncias inibidoras, frio intenso, etc). Esse efeito é levado em conta pelo fator de dissimilação ζ, que nada mais é do que a fração correspondente de carbono que realmente é transformada em metano durante o processo de DA (SCHARFF; 2006).

O Quadro 12 mostra os valores de C₀ utilizados no modelo TNO Monofásico para diferentes tipos de resíduos.

Quadro 12: Teor de carbono orgânico C₀ utilizado no modelo TNO Monofásico

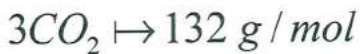
Categoria de Resíduo	C ₀ [kgC/t]
Solo contaminado	11
Resíduos de construção e demolição	11
Resíduos de varreção de ruas	90
Lodo de esgoto	90
Resíduos comerciais	111
Resíduos domésticos	130

Fonte: Adaptado de Scharff, 2006.

O modelo pressupõe que a matéria orgânica é predominantemente de celulose e, sua decomposição é descrita pela equação 7.



Onde:



Para se calcular a produção anual de metano em (t/a), multiplica-se o valor obtido de geração de LFG pela porcentagem de concentração do metano presente na mistura (50%) e pela densidade do mesmo ($714 \text{ gCH}_4/\text{m}^3$). Portanto, podemos obter a produção de metano por kgOM degradada.

$$1000 \cdot \frac{48}{180 \cdot 714} = 0,373 \text{ m}^3 \text{CH}_4 = 0,75 \text{ m}^3 \text{LFG} \quad (8)$$

e, a produção de metano por kgC degradado:

$$1000 \cdot \frac{48}{72 \cdot 714} = 0,933 \text{ m}^3 \text{CH}_4 = 1,87 \text{ m}^3 \text{LFG}$$

9)

Observa-se que a produção de metano por kgC degradado é uma constante que está presente na equação (6) com o valor de 1.87. Este fator de conversão é utilizado pelo fato de que o termo C_0 , que corresponde à quantidade de carbono orgânico nos resíduos, ser expresso em [kgC/t RSU].

Após essa etapa, são consideradas as perdas de metano por oxidação dentro do aterro. A equação (10) abaixo considera esse fenômeno.

$$CH_{4 \text{ gerado}} [m^3 / \text{ano}] = CH_{4 \text{ produzido}} - CH_{4 \text{ oxidado}}$$

(10)

Os sistemas de medição da fração de metano oxidado são muito caros, sendo geralmente atribuído um valor padrão de 10%, independentemente do modelo aplicado, valor este que é considerado bastante razoável. A oxidação do metano e o fator de conversão acima descritos também são utilizados nos modelos mostrados a seguir.

3.1.4 Modelo TNO Multifásico – Afvalzorg

Afvalzorg é um modelo multifásico de previsão de produção de LFG derivado do modelo TNO Monofásico. A equação é basicamente a mesma, apresentando a vantagem de considerar três diferentes frações de resíduos no interior do aterro. Estas três frações de resíduos apresentam velocidades de degradação distintas: rápida, moderada e lenta. Para cada categoria de resíduos, a velocidade constante e a quantidade de matéria orgânica são predefinidas. Isto, obviamente, aumenta a dificuldade de identificação de parâmetros, mas o modelo ganha em precisão (SCHARFF E JACOBS; 2006).

A equação para este modelo é mostrada na Equação 11:

$$\alpha_t = \xi \sum_{i=1}^3 c A C_{o,i} k_{1,t} e^{-k_{1,i} t} \quad (11)$$

- α_t é a formação de biogás em um determinado momento [m^3 LFG / ano]
- i é a fração do RSU com taxa de degradação $k_{1,i}$ [kgi / kg RSU]
- ξ é o de fator de dissimilação [-]
- c é o fator de conversão = 0,7 ou 0,74 [m^3 LFG / kgCdegradado]
- A é a quantidade de RSU depositado no ano correspondente [t]
- C_o quantidade de carbono orgânico nos resíduos [kgC / t RSU]
- $k_{1,i}$ é a taxa de degradação correspondente à fração i [ano⁻¹]
- t é o tempo decorrido desde a deposição [ano]

Observa-se os parâmetros são os mesmos do modelo TNO monofásico, com a diferença que agora são utilizados diferentes valores de C_0 e de k para as frações de RSU distintas, como mostrado nas Quadro 13 e 14.

Quadro 13: Teor de matéria orgânica utilizada no modelo multifásico Afvalzorg

Categoria de Resíduo	C_0 [kgMO/tRSU]					
	Hipótese Mín.			Hipótese Máx.		
	Ráp	Mod	Lenta	Ráp	Mod	Lenta
Solo contaminado	0	2	6	0	3	8
Resíduos de construção e demolição	0	6	12	0	8	16
Resíduos de varreção de ruas	9	18	27	12	22	40
Lodo de esgoto	8	38	45	11	45	48
Resíduos comerciais	13	52	104	19	54	108
Resíduos domésticos	60	72	45	70	90	48

Fonte: Adaptado de Scharff, 2006.

Quadro 14: Parâmetros ζ e k para o modelo Afvalzorg

Parâmetro	Valor
Fator de Dissimilação (ζ)	0,8
Taxa de decomposição rápida (k_1)	0,231 [ano ⁻¹]
Taxa de decomposição moderada (k_2)	0,116 [ano ⁻¹]
Taxa de decomposição lenta (k_3)	0,030 [ano ⁻¹]

Fonte: Adaptado de Scharff, 2006.

3.1.5 Modelo Monofásico LamdGEM

Amplamente utilizado na estimativa de geração de gás metano, o modelo foi criado pela Emanation Control Limited (EMCON), 1980. É um modelo matemático bastante direto e simples. É amplamente utilizado e tomado como fundamentação para outros modelos, como o modelo US-EPA (SCHARFF; 2006)

O Modelo LamdGEM prediz a produção de LFG ao longo do tempo como uma função da constante de geração de LFG (k), do potencial de geração de metano, L_0 , dos registros históricos de despejo de lixo e das projeções do resíduo futuro num aterro. A USEPA designa valores pré-estabelecidos para cada um desses parâmetros para uma avaliação preliminar conservadora do aterro. No entanto, esses parâmetros de insumo precisam ser selecionados com conhecimento das condições de aterro específicas e da localização geográfica (USEPA; 2001).

Para a América do Sul e Caribe, LAC, as diferenças no conteúdo orgânico do lixo, a presença de umidade, ou o grau ao qual o resíduo é compactado variam e, na maioria dos casos, aumentará o potencial de geração de LFG em relação ao lixo tipicamente encontrado na América do Norte e na Europa (USEPA; 2001).

A equação do modelo LamdGEM é mostrada na Equação 12.

$$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n k M_i L_0 e^{-k t} \quad (12)$$

onde,

Q_{CH_4} é a taxa de emissão de metano [m^3CH_4 / ano]

k é a constante de geração de metano = 0.04 [ano^{-1}]

L_0 é o potencial de geração de metano = 100 – 180 [m^3CH_4 / t RSU]

M_i é a massa de RSU no i -ésimo incremento [t]

t_i é o ano do i -ésimo de incremento [ano]

Para este modelo, são recomendados os valores padrão do potencial de geração de metano L_0 entre 100 e 180 [m^3CH_4 / t RSU], dependendo das condições

climáticas, tipo de resíduo e características do aterro. Para a constante de geração de metano k , é assumido o valor padrão de $0.04 \text{ [ano}^{-1}\text{]}$.

3.1.6 Modelo Multifásico EPER (França)

O Modelo Multifásico EPER é um dos mais modernos e vem apresentando resultados precisos na estimativa de emissões de metano em aterros sanitários. Essa estimativa se baseia na Equação 13.

$$FE_{CH_4} = \sum_x FE_0 * \left(\sum_{1,2,3} A_i * p_i * k_i * e^{-k_i t} \right) \quad (13)$$

onde,

FE_{CH_4}	é a produção anual de metano	$[\text{m}^3/\text{ano}]$
FE_0	é o potencial de geração de LFG	$[\text{m}^3_{CH_4}/\text{t RSU}]$
p_i	é a fração de RSU com taxa de degradação k_i	$[\text{kg}_i / \text{kg RSU}]$
k_i	é a taxa de degradação correspondente à fração i	$[\text{ano}^{-1}]$
t	é a tempo decorrido desde a deposição	$[\text{ano}]$
A_i	é a quantidade de RSU depositado no ano	$[\text{t}]$

O Quadro 15 mostra os valores de FE_0 e k para diferentes categorias de resíduos segundo o modelo EPER.

Quadro 15: Parâmetros ζ e k para o modelo EPER

i	Categoria do Resíduo	k_i [ano ⁻¹]	FE_0 [m ³ CH ₄ /t RSU]
1	Resíduos residenciais Lodo de esgoto Resíduos de podas	0,50	100
2	Resíduos comerciais Resíduos industriais Res. Pré-tratados Biologicamente	0,10	50
3	Resíduo Inerte Resíduo não- biodegradável	0,04	0

Fonte: Adaptado de Scharff e Jacobs, 2006.

3.2 Estrutura do projeto, implementação e riscos

O Brasil é o País da América Latina com mais experiência em projetos de transformação de biogás em energia. Vários destes projetos foram postos em operação nos últimos anos ou estão sendo implantados, e incluem diversos projetos desenvolvidos sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). As metodologias para definição da linha de base e para o monitoramento de três aterros sanitários brasileiros serviram de parâmetros para novas metodologias consolidadas para projetos gás de aterro, nos termos do MDL. Isso simplificou o desenvolvimento desses projetos não apenas no Brasil como também em outras partes.

Além disso, o Brasil é um País enorme, com um grande potencial ainda não aproveitado para esse tipo de projetos de produção de energia com biogás. No entanto, diversas barreiras à entrada no mercado têm de ser ultrapassadas para que tais projetos atinjam seu potencial. Essas barreiras podem ser técnicas, institucionais, legais e financeiras, e são discutidas abaixo.

a) barreiras de ordem técnica: em cidades com uma população acima dos 100.000 / 150.000 habitantes existe, freqüentemente, falta de consciência (educação ambiental) ou interesse com relação a projetos de transformação de biogás em energia e são necessários mais incentivos, como isenções de tributos. Em cidades menores, existe uma falta de entendimento (educação formal, acesso a informação e ausência de entendimento da mesma) quanto à forma mais eficaz de construção e gestão de um aterro sanitário. Desse modo, é mínimo o interesse ou a preocupação com a captura de metano em aterros sanitários, e poucos estudos têm sido completados ou atividades realizadas para melhorar o uso de metano nos aterros. Isso significa que existe uma falta de tecnologia de gestão de biogás aplicável à realidade brasileira, e a maioria das municipalidades não usa a tecnologia apropriada para os aterros. Adicionalmente, a tecnologia de captação do biogás não é muito conhecida.

b) barreiras de ordem Institucional: faltam mecanismos de controle e supervisão na atual legislação ambiental brasileira. O País comete equívocos no cumprimento das regras ambientais, e não existe um incentivo institucional para a captação de metano em aterros sanitários e transformá-lo em energia elétrica.

c) barreiras de ordem legal: atualmente, não existem padrões legais sólidos para definir os limites de emissões de metano dos aterros sanitários para a atmosfera.

d) barreiras de ordem financeira: nas cidades com população de até de 100.000 habitantes, a falta de mecanismos financeiros é uma barreira importante. Em cidades maiores, a falta de aterros que estejam de acordo com os regulamentos ambientais serve como barreira potencial ao desenvolvimento de novos aterros sanitários. Mais especificamente em cidades grandes, como São Paulo, existe uma preocupação crescente por parte da população e das instituições em relação às questões ambientais, como, o efeito estufa e os problemas de saneamento.

3.2.1 Etapas para implantação de um projeto de produção de energia em aterros sanitários através do biogás do lixo

A Figura 4 que é um Fluxograma para implantação de uma UTE, contém uma melhor visualização das principais etapas para a realização de um projeto de

produção de energia renovável através do biogás de lixo de aterros sanitários e buscar a obtenção de créditos de carbono.

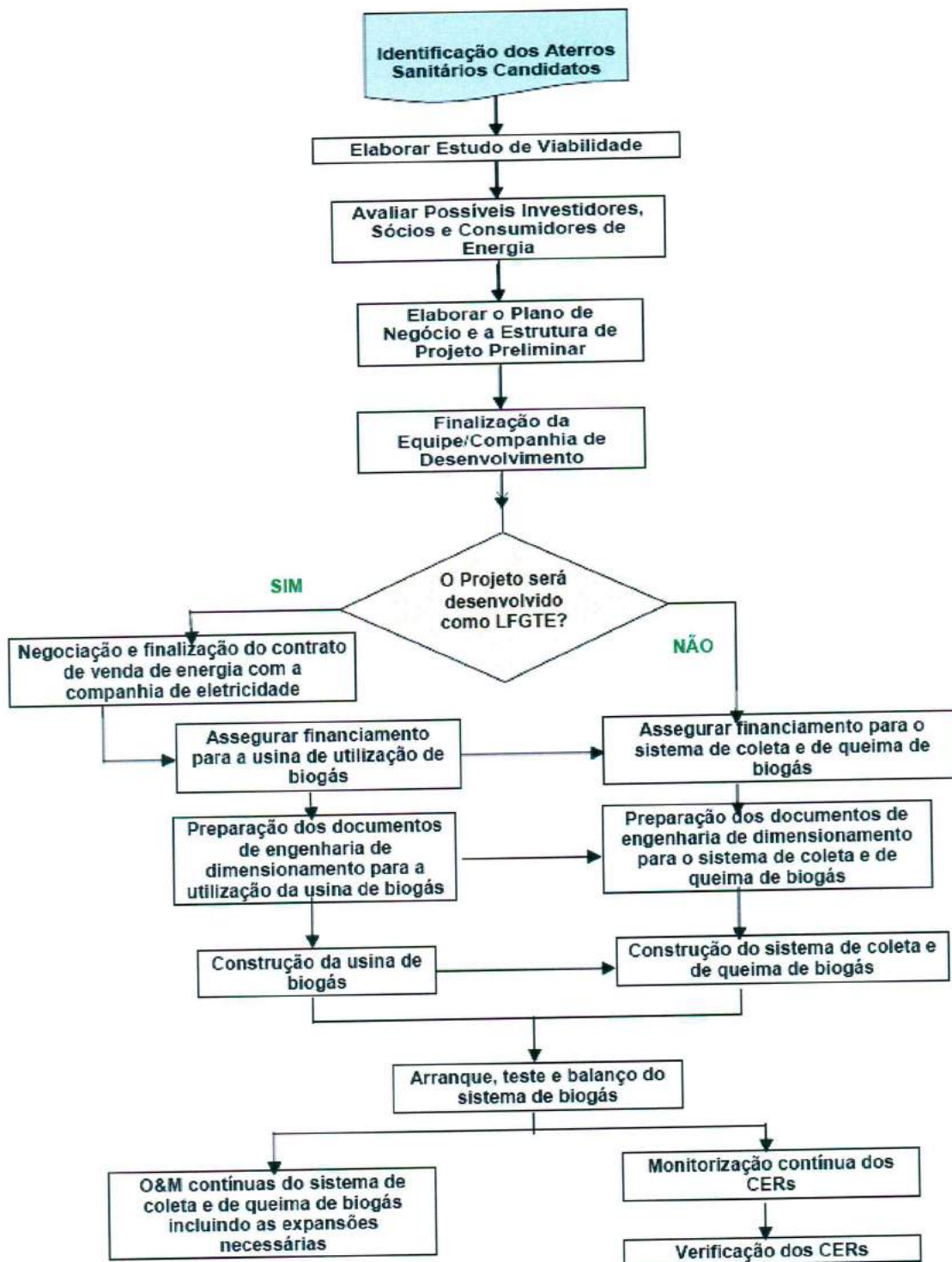


Figura 4: Fluxograma para implantação de uma Usina de Energia

Fonte: Banco Mundial, 2005

3.3 Análise Econômica e Tributação

Para a análise do investimento do estudo de caso, foram utilizados os seguintes métodos de análises.

3.3.1 Valor Presente Líquido (VPL)

Para Souza, 2003, p. 74 o valor presente líquido corresponde “a diferença entre o valor presente das entradas líquidas de caixa associadas ao projeto e o investimento inicial necessário”.

Gitman, 2001 afirma que o VPL é uma técnica de orçamento sofisticada. O seu valor é determinado subtraindo-se do valor inicial de um projeto, o valor presente das entradas líquidas de caixa, descontadas a uma taxa igual ao custo do capital da empresa (LEMES JÚNIOR, CHEROBIM E RIGO 2002).

Brasil, 2002 cita que “o critério do valor presente líquido fornece indicação a respeito do potencial de criação de valor de um investimento”.

Conforme Lemes Júnior, Cherobim e Rigo, 2002 utilizar o VPL para a tomada de decisões facilita o alcance do principal objetivo do administrador financeiro, que é de maximizar a riqueza do acionista ou proprietário.

A fórmula do VPL pode ser definida pela Eq. (14), como:

$$VPL = \sum_{K=0}^n \frac{E(CF_K)}{(1+i)^{k+j}} \quad (14)$$

Onde:

- E** Valor esperado
- CF** Valor genérico do fluxo de caixa líquido no período K (positivo se for benefício, negativo se for custo);
- i** Taxa de desconto: TMA;
- k** Período no instante k do fluxo de caixa;
- j** Posição do vetor no período (início= 0)

3.3.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

É a taxa exigida de retorno que, quando utilizada como taxa de desconto, resulta em VPL igual a zero (ROSS, WESTERFIELD e JORDAN; 2000) (ABREU FILHO et al; 2003) (SOUZA e CLEMENTE; 2001) (LEMES JÚNIOR, RIGO e CHEROBIM; 2002) (BRASIL; 2002).

Assim, quando o VPL é zero encontra-se o ponto de equilíbrio econômico do projeto, desta forma, não haverá criação nem destruição de valor (ROSS, WESTERFIELD e JORDAN; 2000).

Com a TIR, procura-se determinar uma única taxa de retorno para sintetizar os méritos de um projeto. Essa taxa é dita interna, no sentido de que depende somente dos fluxos de caixa de certo investimento, e não de taxas oferecidas em algum outro lugar (LEMES JÚNIOR, RIGO e CHEROBIM; 2002).

Para avaliação de propostas de investimento, através do cálculo da TIR, é necessário conhecer os montantes de dispêndio de capital (desembolsos se tiver mais de um), e dos fluxos de caixa líquidos gerados pela decisão, onde a TIR representará a rentabilidade do projeto expressa em termos de taxa de juros (ASSAF NETO; 2003).

A TIR é uma taxa média que considera toda a vida econômica do projeto e é expressa em termos anuais. Esta taxa é calculada obtendo-se as raízes da Eq. (15):

$$\mathbf{TIR:} \sum_{K=0}^n \frac{E(CF_K)}{(1 + TIR)^{k+j}} = 0 \quad (15)$$

Para Gitman (2002), afirma que o critério de decisão, quando a TIR é usada para tomar decisões do tipo, aceitar ou rejeitar um projeto é o seguinte: se a TIR for maior que o custo de capital, aceita-se o projeto; se for menor, rejeita-se o projeto. Com esse critério garante que a empresa esteja obtendo, pelo menos, sua taxa apropriada de retorno.

3.3.3 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A Taxa Mínima de Atratividade - TMA - é definida como a taxa de desconto que exige o retorno mínimo do projeto em análise, em função do seu risco de mercado, de modo a assegurar a remuneração do capital próprio e do capital de terceiros. Essa taxa é o Custo Médio Ponderado de Capital - CMPC ou WACC - Weighted Average Cost of Capital.

Nas análises de projetos de investimento, considerando como base a TIR, a tomada de decisão se dará mediante comparação dessa taxa com a taxa mínima de atratividade ou taxa de desconto (SOUZA; 2003). Para aceitar o investimento, a TIR deverá ser maior que a TMA ou a taxa de desconto.

3.3.4 VPL X TIR

Para projetos independentes e não excludentes, os métodos da Taxa Interna de Retorno e do Valor Presente Líquido levam a mesma decisão de rejeição ou aceitação do projeto, pois sempre que o Valor Presente Líquido > 0 a Taxa Interna de Retorno $>$ Taxa Mínima de Atratividade (projeto viável) e vice-versa, o mesmo acontecendo para Valor Presente Líquido < 0 com Taxa Mínima de Atratividade $<$ Taxa Mínima de Atratividade (projeto inviável).

Surge então uma dúvida entre qual critério adotar, VPL ou TIR. Nesse caso, o critério adotado será o VPL, pois ele indica adição de valor já levando em conta o custo de capital e, além disso, pressupõe que os fluxos de caixa são reinvestidos a TMA, enquanto que a Taxa Interna de Retorno traz implícita na sua equação a suposição de que os fluxos de caixas gerados serão reinvestidos ao valor apurado da TIR.

3.3.5 Tributos

Para a elaboração do Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do projeto é necessária a apuração dos tributos incidentes nos ganhos obtidos com a venda da energia elétrica produzida e com os créditos de carbono. De acordo com a Tabela

22 (MME; 2005 e OMA; 2006), serão listados os tributos que serão incluídos no fluxo de caixa do projeto.

Quadro 16: Tributos incidentes em projetos de energia.

Tributos				
	Tributos	Alíquota	Incidência	Competência
1	COFINS	7,6%	Receita Bruta	FEDERAL
2	PIS	1,6%	Receita Bruta	FEDERAL
3	ICMS	0%	Receita Bruta	ESTADUAL
4	IR*	15 + 10%	Lucro antes dos impostos	FEDERAL
5	CSLL	9%	Lucro antes dos impostos	FEDERAL

* IR = 15% até R\$ 240.000/ano + 10% acima de R\$ 240.000/ano

Nota:

COFINS: Contribuição Permanente sobre Movimentações Financeiras.

PIS: Programa de Integração Social.

ICMS: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.

IR: Imposto de Renda

CSLL: Contribuição Social sobre o Lucro

O ICMS é um tributo estadual e em decorrência do Convênio ICMS nº 107/2002, sua alíquota é zero (MME; 2005). No caso do Imposto sobre produtos industrializados (IPI), a incidência do mesmo não foi considerada (alíquota é zero) de acordo com o Decreto nº 4542/2002. Na Tabela 22 as tarifas do PIS/COFINS são não cumulativas, mas as tarifas adotadas no EVTE foram cumulativas, com o PIS (0,65%) e o COFINS (3,0%). Por fim, a incidência de Impostos sobre Serviços (ISS) sobre as operações relativas à comercialização de energia elétrica devem ser desconsideradas por força do §3º do Art. 155 da Constituição Federal (CF).

Com relação à tributação das receitas das Certificados de Emissões Reduzidas (CERs), incidem apenas IRPJ e CSLL. Já as operações que envolvem a exportação de "Créditos de Carbono", não incidem PIS e COFINS por força de imunidade, prevista no art. 149, §2º, I, da CF. No caso de ISS, não há incidência desse imposto, pois os CERs são considerados cessões de direito e não prestação de serviços pela jurisprudência majoritária.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Aterro de Gramacho

Atualmente a cidade do Rio de Janeiro tem a sua produção de 8 a 9,3 ton./dia de lixo. Como o objetivo do estudo é analisar o aterro de Gramacho, também foi contabilizada a quantidade de lixo mensal e diário de Duque de Caxias.



Figura 5: Panorama do lixo no estado do Rio de Janeiro.

O Quadro 17 apresenta o total dos resíduos sólidos urbanos contabilizados e destinados ao aterro de Gramacho.

Quadro 17: Contabilização dos resíduos sólidos urbanos (ton./mês e ton./dia).

Cidades	Tonelada/mês	Tonelada/dia
Rio de Janeiro	263.370	8.779,00
Duque de Caxias	16.000	533,33
TOTAL	279.370	9.312,33

De acordo com o professor José Araruna, do departamento de Engenharia Civil da PUC - Rio, *“a coleta e a destinação de resíduos sólidos comprometem de 7% a 15% dos orçamentos municipais”* (Jornal O Globo, 2008). Diante desse fato, isso ressalta a importância do estudo e análise detalhado do mercado de lixo e a busca de estudos técnicos e científicos buscando soluções e alternativas para minimizarem a questão.

Ressalta-se que o aterro de Gramacho está sendo administrado pelo consórcio Novo Gramacho, formado pelas empresas Biogás Energia Ambiental (constituída pela Logus e pela Heleno Fonseca), a paranaense J. Malucelli Construtora de Obras e a S.A. Paulista de Construções e Comércio. O consórcio Novo Gramacho venceu a licitação da Comlurb, no Rio de Janeiro, para operar por 15 anos o aterro sanitário de Gramacho.

O status mais recente do Aterro de Gramacho foi à conclusão da primeira fase da Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos, que trata diariamente, segundo a Comlurb, 960 m³ de chorume. Essa era uma das principais preocupações dos ambientalistas temendo a contaminação da Baía de Guanabara. O próximo passo é a produção de energia à partir do biogás do lixo. No momento existe apenas a venda do gás para alimentação das caldeiras da Refinaria de Duque de Caxias (REDUC/Petrobras).

4.1.1 Determinação do Biogás a ser Produzido

É fundamental saber a quantidade de biogás que será produzido para determinar a quantidade de energia que poderá ser gerada.

No Quadro 18 é apresentado o histórico da disposição de resíduos, que serão os dados fundamentais para elaborar o EVTE.

Quadro 18: Histórico da Disposição de Resíduos.

Ano	Resíduos depositados (toneladas)	Resíduos Acumulados (toneladas)
1993	1.646.374	1.646.374
1994	1.669.443	3.315.817
1995	1.800.209	5.116.026
1996	2.325.161	7.441.187
1997	2.414.508	9.855.695
1998	2.390.021	12.245.716
1999	2.403.311	14.649.027
2000	2.454.563	17.103.590
2001	2.417.409	19.520.999
2002	2.473.918	21.994.917
2003	2.359.715	24.354.632
2004	2.641.513	26.996.145
2005	2.678.078	29.674.223
2006	2.801.754	32.475.977
2007	2.834.715	35.310.692
2008	2.919.756	38.230.448
2009	3.007.349	41.237.798
2010	3.097.570	44.335.367

Notas:

1. Dados fornecidos pela COMLURB, 2010.
2. Taxas de deposição históricas (1993-2010) baseadas em pesos medidos pela balança no aterro.

4.1.2 Composição dos Resíduos

É importante ter-se em conta a composição do resíduo quando se avalia um projeto de recuperação de biogás, em particular o conteúdo orgânico, o conteúdo

em umidade e a degradação das frações dos diversos resíduos. Por exemplo, aterros com elevado conteúdo de lixos alimentares, altamente degradáveis, tenderão a produzir biogás mais cedo, mas durante um período de tempo mais curto. O efeito da composição dos resíduos na produção de biogás é discutido mais adiante.

No Quadro 19 apresenta um resumo dos dados sobre a composição dos resíduos no aterro.

Quadro 19: Composição dos Resíduos do Aterro de Gramacho.

Componentes	Fracção do Fluxo de Resíduos (percentagem)
Alimentos e Resíduos Verdes	49,3
Papel e Cartão	24,8
Plásticos	15,3
Borracha, Pele, Têxteis, Ossos	3,0
Metais	2,9
Madeira	0,7
Vidro	3,1
Escombros de Construção e Demolição	0,9
Total	100,0

Fonte: Abreu apud SCS Engeniers, 2011

4.1.3 Aspectos técnicos do Sistema de coleta e utilização de biogás

O aterro possui um sistema de coleta e controle de biogás, que consiste essencialmente em três sistemas separados (SCS ENGINEERS; 2005): uma série de drenos, um sistema de drenagem e queima de biogás, e um sistema de recuperação de LFGTE (que é o desenvolvimento de projetos para geração de energia a partir do biogás do lixo). Cada um destes sistemas será discutido abaixo:

- a) sistema de Ventilação de Biogás: o sistema de ventilação de biogás consiste em aproximadamente 263 drenos que não estão ligados a

6

qualquer sistema de tubulação de coleta. Os drenos foram construídos escavando buracos de profundidade de 3 a 5 m, instalando tubulação de policloreto de vinila (PVC) nos buracos, e preenchendo-os com brita. Os drenos estão bem distribuídos ao longo do aterro.

- b) sistema de Drenagem e de Queima de Biogás: o sistema de drenagem e de queima de biogás consiste em 16 drenos adicionais que estão ligados através de um sistema de tubulação em PVC a um pequeno ventilador e a uma estação de queima. A construção dos drenos é similar à descrita acima. Os drenos, ventilador e estação de queima estão localizados na porção central do aterro.

O ventilador tem uma capacidade de 1.880 m³/h. Um queimador do tipo vela tem uma capacidade de 2.500 m³/h.

- c) sistema de LFGTE: o sistema de LFGTE (que é o desenvolvimento de projetos para geração energia a partir do biogás do lixo) consiste numa série de 27 drenos que estão ligados a uma tubulação de polietileno de elevada densidade (HDPE) a um motor que funciona com uma pequena combinação de biogás/Biodiesel e que fornece energia a um gerador de 200 kilowatt (kW).

A usina de LFGTE está gerando aproximadamente 80 kW (SCS ENGINEERS; 2005) de eletricidade que é usada para fornecer energia a uma estação de tratamento de percolado, e está operando principalmente com biodiesel e não com biogás.

Entende-se que está planejado que a usina de LFGTE forneça energia aos escritórios dentro do local e às instalações de manutenção, assim como ao centro de reciclagem, e deverá eventualmente operar usando quantidades iguais de biogás e biodiesel.

4.1.4 Potencial de Recuperação do Biogás e Dimensionamento do Sistema de Coleta e Controle

Este ponto trata dos componentes do sistema de coleta e utilização de biogás. Com base na avaliação do potencial de recuperação de biogás no aterro

sanitário de Gramacho, a quantidade de biogás recuperável parece ser relativamente modesta, mas suficiente para o desenvolvimento de um sistema que utilize o biogás como fonte de geração de eletricidade. A eletricidade gerada na usina de transformação do gás do aterro em energia pode levar a economias na compra de eletricidade para uso no aterro e pode também produzir receitas com a venda da eletricidade excedente para o mercado.

Para assegurar a combustão de todo o biogás coletado e maximizar a redução das emissões de gases do efeito estufa, qualquer biogás que não seja usado como combustível na usina de transformação de gás instalada no próprio aterro sanitário será queimado num queimador de biogás. Podem ser feitas reduções adicionais das emissões de GEEs na medida em que fontes de combustíveis normalmente utilizados para a geração de eletricidade sejam substituídas pelo uso de metano na Usina Termoelétrica de Biogás.

Apesar do aterro atualmente ter vários drenos, alguns dos quais são usados em sistemas de coleta de biogás ativos, estes drenos não estão construídos de um modo que permita o seu uso do sistema de produção de energia elétrica através do biogás do lixo ativo. Conseqüentemente, um sistema de coleta de biogás ativo (incluindo novos poços) terá de ser instalado.

Para maximizar as taxas de recuperação de biogás, o sistema de coleta deverá ser abrangente e instalado sobre áreas fechadas do aterro.

Para a determinação do Potencial de Recuperação do Biogás utilizando a Metodologia USEPA, é necessário aplicar a Equação 1 supracitada na Metodologia desse trabalho. Com isso, é preciso definir o valor da capacidade de recuperação potencial de metano L_0 e a taxa de degradação de metano k

O valor para a capacidade de recuperação potencial de metano L_0 para o aterro sanitário de Gramacho está estimado pelo documento de concepção do projeto em $84,8 \text{ m}^3/\text{ton}$ (WORLD BANK; 2005). Esse valor é apropriado para o aterro sanitário de Gramacho que recebe 1.140 mm/ano de precipitação (COMLURB; 2008). Abaixo no Quadro 20, a metodologia de cálculo é demonstrada.

Quadro 20: Determinação do Valor de L_0

	Aterros Sanitários dos Estados Unidos	Aterro Sanitário de Gramacho	Ratio: Gramacho/Estados Unidos.
Orgânico %	68,2%	77,8%	1,14
Peso Seco %	80,3%	63,7%	0,79
Valor de L_0	93,6 m ³ /Mg	84,8 m ³ /Mg	0,91

Para determinar a taxa de degradação de metano (k) no aterro sanitário de Gramacho, foi feito um estudo comparativo dos componentes de resíduos encontrados no aterro de Gramacho com relação aos resíduos depositados nos aterros típicos da USEPA (USEPA; 2005), apropriados para a precipitação anual de Gramacho (1.140 mm/ano de precipitação). Esse estudo é apresentado no Quadro 21.

Quadro 21: Comparação da Composição dos Resíduos Gramacho x EUA.

Componente dos Resíduos	Aterro Sanitário de Gramacho (%)	Estados Unidos Típico (%)	Categoria de Degradabilidade	Valores de k
Resíduos Alimentares (1)	46,6	11,5	Rápido	0,30
Resíduo Verde (rápida) (1)(2)	1,4	5,6	Rápido	0,30
Outros Orgânicos	0,0	1,6	Rápido	0,30
Resíduo Verde (médio) (1)(2)	1,4	5,6	Médio	0,060
Papel	24,8	26,6	Médio	0,060
Madeira	0,7	10,3	Lento	0,015
Borracha, Pele, Têxteis	3,0	6,9	Lento	0,015
Plásticos	15,3	9,7	Inerte	0,0
Metais	2,9	5,4	Inerte	0,0
Vidro	3,1	5,3	Inerte	0,0
Outros Inorgânicos	0,9	11,4	Inerte	0,0

NOTAS:

1. Assume "resíduo orgânico" 75% resíduo alimentar e 25% resíduo verde.
2. Assume resíduo verde 50% de materiais verdes (rápida decomposição) e 50% folhas e ramos (decomposição média).

Nesse comparativo de dados feito pelo Quadro 21, constata-se que o fluxo de resíduos no aterro sanitário de Gramacho contém uma quantidade significativamente superior de resíduos alimentares (altamente degradáveis) do que as encontradas nos resíduos típicos nos Estados Unidos. Como os resíduos

alimentares são muito facilmente degradáveis, a produção de biogás ocorre mais rapidamente, mas durante um período de tempo menor. Logo, um gráfico da recuperação de biogás de Gramacho, apresentará um declive mais acentuado (atingindo fluxos máximos mais rapidamente), mas sua produção sustentável por um longo prazo será mais baixa que no caso da recuperação que utiliza resíduos com componentes de mais baixa degradação (caso dos aterros americanos). O conteúdo orgânico mais elevado resultará num potencial mais elevado de geração de metano por tonelada de resíduo.

Então, de acordo com o documento de concepção do projeto (World Bank, 2005) os valores para as três constantes taxa de degradação de metano (k) usadas na modelagem da recuperação do biogás no aterro sanitário de Gramacho são:

- a) resíduos de decomposição rápida: 0,30 por ano.
- b) resíduos de decomposição média: 0,060 por ano.
- c) resíduos de decomposição lenta: 0,015 por ano.

O Quadro 22 mostra os valores praticados para k e L_0 nos principais projetos de geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários.

Quadro 22: Sumário dos valores de k e L_0 .

1	MMA / ESALQ (Estimativa do Potencial de Geração Energia de Aterros em Regiões Metropolitanas)
	$k = 0,05$ a $0,15$ e $L_0 = 140$ a $190 \text{ m}^3/\text{t}$
2	Projeto Anaconda (BVRJ/MBRE – Documento de Concepção de Projeto)
	$k = 0,10$ e $L_0 = 170,8 \text{ m}^3/\text{t}$
3	Nova Gerar (Documento de Concepção de Projeto)
	$k = 0,10$ e $L_0 = 164 \text{ m}^3/\text{t}$ ($2,63 \text{ ft}^3/\text{lb}$)
4	Aterro de Salvador (Documento de Concepção de Projeto)
	$k = 0,12$ e $L_0 = 180 \text{ m}^3/\text{t}$

Por fim, com a aplicação da metodologia USEPA no aterro de Gramacho, sua recuperação de biogás de lixo em 2009 é no patamar de $30.000 \text{ m}^3/\text{h}$. Após o fechamento do local, espera-se que a recuperação do gás de lixo venha a se declinar rapidamente, conforme Gráfico 1.



Gráfico 1: Recuperação de biogás projetado no Aterro de Gramacho.

4.1.5 Construção do Sistema de Coleta Inicial

Os Componentes do Sistema de Coleta e Controle, em uma das áreas do aterro foram observados com elevados níveis de percolado durante o teste de bombeamento realizado pela SCS Engineers. Se esta condição for representativa do aterro inteiro, a utilização apenas de poços de drenagem vertical poderá não ser possível para uma coleta eficiente de biogás. Com isso, o ideal é a instalação de uma mistura de poços de drenagem vertical e coletores horizontais para coletar biogás. Por fim, foi assumido que o sistema de coleta de gás iria consistir nos seguintes elementos de acordo com a SCS Engineers, 2005.

- a) instalação de aproximadamente 55 poços de drenagem vertical. Uma das diretrizes gerais para empreendimentos deste tipo estabelece que, normalmente, poços de drenagem têm um “raio de influência (ROI)” que varia de 1,25 a 2,5 vezes sua profundidade, dependendo da razão entre tubos sólidos e tubos perfurados, da permeabilidade do resíduo e de outros fatores. Para minimizar lacunas na cobertura pelo sistema de coleta, requer-se alguma superposição dos raios de influência dos poços,

o que resulta num espaçamento entre eles de duas (2) a quatro (4) vezes sua profundidade.

Os dados dos testes de bombeamento indicaram que o ROI do poço de drenagem (que foi constantemente bombeado para a retirada de percolado) no aterro sanitário de Gramacho é aproximadamente 1,7 vezes profundidade do poço. Com base nestes dados, tipicamente recomenda-se um espaçamento entre os poços de cerca de 100 m para o Plano de Dimensionamento Conceitual. No entanto, devido ao risco de elevados níveis de percolado, recomenda um espaçamento entre os poços menos denso de 1 poço por 2 ha e o uso de coletores horizontais.

Para fins orçamentários, presume-se que cada poço de drenagem seria adaptado com uma cobertura de poço com uma válvula de controle de fluxo e pontos de monitoração de gás.

- b) instalação de aproximadamente 4.530 metros de coletores horizontais. Os coletores consistirão em tubulação HDPE perfurada instalada em fossas resultantes da escavação em 3 m dentro do resíduo.

Para propósitos orçamentários, presume-se que cada coletor horizontal seria adaptado com duas coberturas de poço cada uma com uma válvula de controle de fluxo e pontos de monitoração, um em cada ponta do coletor.

- c) instalação de bombas de percolado em todos os poços de drenagem vertical. Com base nos testes de bombeamento, presume-se que bombas de percolado serão necessárias em todos os poços de drenagem de gás para reduzir os níveis de percolado e melhorar a eficiência da coleta de gás. As bombas irão bombear para dentro de um tanque de armazenamento de plástico, e o percolado será depois bombeado para um caminhão-tanque.
- d) Instalação de aproximadamente 11.102 metros de tubulação de polietileno de alta densidade (HDPE) para ligar os poços de drenagem à estação de queima e à estação de controle do biogás. Esta tubulação inclui uma tubulação principal com cabeçotes dimensionados para acomodar elevadas taxas de fluxo de gás e tubulações laterais menores, dimensionadas para fazer a ligação com os poços de drenagem.

Para propósitos orçamentários, assume-se que a tubulação consistirá em:

- 122 m de tubulação de cabeçote com 914 mm de diâmetro
- 3.690 m de tubulação de cabeçote com 762 mm de diâmetro
- 1.580 m de tubulação de cabeçote com 457 mm de diâmetro
- 1.980 m de tubulação de cabeçote com 305 mm de diâmetro
- 3.730 m de tubulação de cabeçote com 153 mm de diâmetro

- e) instalação de um sistema de tratamento e monitoramento do condensado. O condensado que se forma na rede de tubulação do biogás à medida que o gás quente arrefece poderá causar problemas operacionais significativos se não forem tomadas as decisões necessárias. O sistema de coleta de biogás deverá ser dimensionado para acomodar a formação do condensado. Presume-se que isso será conseguido através linhas de condensado auto-drenantes de 700 m de HDPE de 110 mm de diâmetro, que irão drenar para uma vala específica do sistema de tratamento do condensado que está à volta do local.
- f) instalação de um ventilador e uma estação de queima. Embora seja esperado que a situação operacional predominante seja com a usina de utilização de biogás usando a maior parte do gás coletado, antecipa-se que uma fração significativa de biogás não será utilizada pela usina e terá de ser queimada num dispositivo de controle secundário. Os queimadores também servirão de equipamentos adicionais de controle para garantir a contínua redução de emissões nos períodos de baixa produção ou durante a manutenção dos equipamentos principais.

O sistema adotado deverá ser composto por um queimador do tipo fechado para permitir que tanto as reduções das emissões dos gases poluentes quanto os componentes da descarga possam ser testados e quantificados (o teste da descarga não é possível em queimadores abertos do tipo vela).

Para fins orçamentários financeiros, foi suposto que a construção do sistema inicial incluiria a instalação de aproximadamente 22.950 m³/h de capacidade de queima de gás, bem como de equipamento de

ventilação. Esta capacidade é suficiente para tratar a taxa máxima de recuperação de biogás projetada sob o cenário de média recuperação (22.370 m³/h).

- g) instalação de uma usina de utilização de biogás. Para propósitos orçamentários, presume-se que a construção do sistema inicial irá ocorrer no ano logo após o fechamento do aterro sanitário (o aterro sendo fechado em 2009, sendo que a operação do sistema inicial poderá começar em 2009/2010) e deverá incluir a instalação de um conjunto de motor gerador recíproco com uma capacidade bruta de 10 MW (motores de sete [7] x 1,433 MW). Esta usina deverá necessitar de aproximadamente 6.060 m³/hora de biogás para operar com capacidade total, que estará disponível nos 8 primeiros anos sob o cenário de média recuperação. Presume-se que será necessário algum pré-tratamento do biogás para retirada da umidade e de outros compostos indesejados.

No caso da UTE de biogás mencionado acima, a partir do nono (9º) ano (2018), não irão existir quantidades suficientes de biogás para sustentar todos os sete motores. Dois dos motores terão de ser retirados, deixando uma capacidade bruta de 7,165 MW (motores de 5 x 1,433 MW). Isto requererá aproximadamente 4.330 m³/h de biogás para operar com capacidade total, que estará disponível até o 11º ano (2020).

A partir do 12º ano (2021), não irão existir quantidades suficientes de biogás para sustentar todos os 5 motores. Dois dos motores terão de ser retirados, deixando uma capacidade bruta de 4,30 MW (motores de três [3] x 1,433 MW). Isto requererá aproximadamente 2.600 m³/h de biogás para operar com capacidade total, que estará disponível até o 15º ano (2024).

4.1.6 Expansão e Manutenção do Sistema de Coleta

Com o objetivo de se manter um elevado nível de eficiência no sistema de coleta e maximizar as taxas de recuperação de biogás e as reduções de emissão de gases do efeito estufa, será necessário expandir o sistema de coleta e fazer um programa regular de operação e manutenção do equipamento correspondente. Após o início do funcionamento do sistema, os dados operacionais deverão ser registrados e cuidadosamente revistos no que diz respeito aos critérios de projeto do

sistema, e os ajustes adequados deverão ser feitos. Modificações específicas do “layout” dos aterros existentes indicadas pelos dados operacionais poderão incluir as seguintes:

- a) poços não produtivos ou danificados necessitarão ser reparados e substituídos;
- b) áreas do aterro onde dados monitorados indiquem um excesso de biogás poderão ter taxas de recuperação mais elevadas se forem instalados poços adicionais;
- c) o monitoramento progressivo dos níveis de percolado nos poços indicará se são ou não necessárias bombas de sucção.

4.1.7 Custos Orçamentários para Sistema de Coleta e Queima de biogás

Com o objetivo de avaliar os aspectos econômicos do projeto, foram estimados os custos de capital para o desenvolvimento de um projeto de recuperação de biogás e sua utilização no aterro sanitário. Também foram levantados os custos anuais esperados para a operação, manutenção e expansão regular do sistema de coleta de biogás, junto com custos recorrentes para a expansão da capacidade da estação de ventilação/queima e da usina.

- Custos do Sistema de Coleta e Queima de Biogás

O custo orçamentário estimado da construção do sistema de coleta e de queima em US\$ 5.890.880. Esses são custos associados ao sistema de coleta de gás descrito previamente e apresentados no Apêndice A, e incluem: poços de drenagem de gás, coletores horizontais, cabeçotes e tubulação lateral, drenagem do condensado, instalação de uma estação de ventilação e de queima.

O Quadro 23 apresenta um sumário executivo dos itens de custo.

Quadro 23: Custos Orçamentários Iniciais do Sistema de Coleta do Biogás com Queimador

Item	Custo Total Estimado (US\$)
Mobilização e Gestão do Projeto	\$50.000
Tubulação principal de coleta de gás ⁽¹⁾	\$2.250.250
Tubulação lateral	\$173.200
Passarelas	\$47.300
Gestão do Condensado	\$27.300
Poços de Drenagem Vertical ⁽²⁾	\$323.000
Coletores Horizontais ⁽³⁾	\$971.830
Equipamento de Ventilação e Queima (queimador) ⁽⁴⁾	\$1.400.000
Engenharia, Contingência, e Custos Iniciais de Transação do MDL ⁽⁵⁾	\$558.000
Custo Total Estimado	\$5.890.880

Fonte: SCS Engineers, 2005

NOTAS:

(1) A tubulação de coleta inclui as válvulas de isolamento.

(2) Os custos dos poços de drenagem incluem poços, cabeçotes dos poços, tampas para a cobertura dos poços, válvulas de controle de fluxo, bomba de percolado e tanque de armazenamento, e deposição dos resíduos de perfuração para os 55 poços

(3) Os custos do coletor horizontal incluem a tubulação, brita, cabeçotes dos poços, e válvulas de controle do fluxo para 4.530 m de coletor horizontal.

(4) Esses equipamentos incluem o ventilador e queimador: cinco ventiladores de 4.590 m³/h e queimadores, trabalho de construção, equipamento para medição e registro de biogás, custos de *start-up* do queimador e teste de início.

(5) Os custos iniciais de transação do MDL são estimados em \$50.000 e incluem a preparação do Documento de Concepção do Projeto, registro, validação e procedimentos legais.

- Custos de Operação e Manutenção para o Sistema de Coleta e Queima de Biogás

Estimam-se os custos orçamentários para a operação e manutenção do sistema de coleta de gás em aproximadamente 5% dos custos do sistema inicial, ou cerca de US\$ 295.000. Esses custos incluem tanto os relativos à operação e manutenção do sistema de coleta existente, tais como trabalho, verificações,

manutenção de rotina e consertos, e substituições nos poços quanto os destinados às expansões regulares do sistema de coleta. Dado que o aterro será fechado, estima-se que os custos de operação e manutenção sejam reduzidos em 50% se o aterro ainda estiver em operação. O Quadro 24 apresenta um sumário dos itens de custo.

Quadro 24: Custos Orçamentários Anuais de Operação, Manutenção e Expansão/Substituição do Sistema de Coleta e de Queima.

<u>Itens Incluem:</u>	
Mão de obra	
Monitoramento dos custos do equipamento	
Peças e componentes	
Poços de drenagem adicionais, coletor horizontal, e reparação e substituição de tubulação lateral	
Engenharia/Contingências	
Custos Totais Estimados (US\$)	\$295.000

Fonte: SCS Engineers, 2005

4.1.8 Custos para Registro, Monitoramento e Verificação para o Sistema de coleta e Queima de Biogás

Outros custos anuais incluem os associados com o ciclo do projeto do MDL, incluindo taxas de registro e monitoramento e verificação dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER). Como demonstrado no Quadro 25, esses custos estão estimados em aproximadamente US\$ 40.000 em 2006. Custos adicionais do ciclo de projeto do MDL incorridos anualmente, tais como o custo de venda dos CERs e os custos de mitigação de risco, deverão ser relativamente pequenos (menos de 10% do valor dos CERs) tendo em vista os preços de CERs utilizados.

Quadro 25: Custos Orçamentários Anuais de Registro, Monitoramento e Verificação do Projeto.

Itens Incluem: Custos administrativos associados à Comissão Executiva e às taxas de registro Monitoramento e Verificação dos CERs	
Custo Total Estimado	US\$ 40.000

Fonte: SCS Engineers, 2005

4.1.9 Geração Elétrica

Realizou-se estimativa dos custos de capital e dos custos anuais para construção de uma UTE abastecida com biogás usando a tecnologia de motores de combustão interna.

- Estimativa Orçamentária do Custo Inicial da Usina

Estima-se em aproximadamente US\$ 9.624.000 o custo inicial de uma UTE de 10 MW (bruto) abastecida com biogás para substituir o consumo de energia no local e vender a energia excedente à rede. Esses custos são adicionais aos do sistema de coleta e de queima de biogás, e deverão entrar em vigor no 2º ano. Assume-se que a UTE começará a operar no 1º dia do 3º ano do projeto e continuará a operar até o 15º ano. O Quadro 26 apresenta um sumário do custo inicial de cada item.

Quadro 26: Custos Orçamentários da UTE

Item	Custo Total Estimado (\$) ⁽¹⁾
Usina de energia de 10 MW abastecida com biogás ⁽²⁾	\$8.025.000
Interconexão de 3 km	\$500.000
Construção da usina/trabalho no local (incluindo tubulação)	\$174.000
Medição do biogás e equipamento de registro	\$50.000
Engenharia/Contingências (10% de outros custos)	\$875.000
Custo Total Estimado	\$9.624.000

NOTAS:

(1): Os valores estão em US dólares (cotação de 2,6738), e não estão ajustados à inflação.

(2): Os custos da usina prevêem geradores de energia mantidos em contêineres, sem necessidade de qualquer construção.

- Estimativa Orçamentária de Operação e Manutenção Anual

Os custos orçamentários anuais estimados da operação e manutenção da UTE inicial em aproximadamente 1,8 centavos de dólar por kWh de saída de eletricidade (estimados em 73,55 milhões de kWh em 2007), ou cerca de US\$ 1.323.900,00, incluindo mão-de-obra e equipamento - inclusive para a operação e manutenção do equipamento da usina (mão-de-obra, testes, manutenção de rotina e reparos).

O Quadro 27 apresenta um sumário das taxas de recuperação de biogás esperadas e as capacidades previstas para a usina, mostrando os anos durante os quais o fluxo projetado deverá ser suficiente para a capacidade do motor.

Quadro 27: Custos Orçamentários Anuais de Manutenção da UTE.

<u>Itens incluem:</u> Mão-de-obra Monitoramento dos custos do equipamento Peças, materiais e transporte	
Custos Totais Estimados	US\$ 1.323.900

- Aspectos Finais Sumarizados para Geração de Energia

No Quadro 28, um sumário das taxas de recuperação de biogás, que são essenciais para dimensionar o projeto e determinar a capacidade bruta da UTE.

Quadro 28: Sumário das Taxas de Recuperação de Biogás e Capacidade (Bruta) da Usina Termoelétrica

Ano	Taxa de Recuperação de Biogás projetada (m³/h)	Capacidade Bruta da Usina de Motor de Combustão Interna (kW)
2012	23.404	10.031
2013	19.973	10.031
2014	17.045	10.031
2015	14.546	10.031
2016	12.414	10.031
2017	10.594	10.031
2018	9.041	7.165
2019	7.716	7.165
2020	6.585	7.165
2021	5.619	4.299
2022	4.796	4.299
2023	4.093	4.299
2024	3.493	4.299

No Quadro 29, é feito um sumário das possibilidades e potencialidades de geração de energia para esse projeto.

Quadro 29: Sumário dos pressupostos temporais dos sistemas de coleta e operação e capacidade (MW) do projeto.

Ano	Pressupostos
1	Sistema de coleta de gás e de queima em construção
2	Início do Sistema de Coleta e de queima. Usina em construção.
3	Início do funcionamento da usina de energia; Sistema a operar à capacidade de 10 MW.
4	Sistema a operar à capacidade de 10 MW
5	Sistema a operar à capacidade de 10 MW
6	Sistema a operar à capacidade de 10 MW
7	Sistema a operar à capacidade de 10 MW
8	Sistema a operar à capacidade de 10 MW
9	Sistema a operar à capacidade de 7,2 MW
10	Sistema a operar à capacidade de 7,2 MW
11	Sistema a operar à capacidade de 4,3 MW
12	Sistema a operar à capacidade de 4,3 MW
13	Sistema a operar à capacidade de 4,3 MW
14	Sistema a operar à capacidade de 4,3 MW
15	Sistema a operar à capacidade de 4,3 MW

A alternativa em que se considerava a inexistência de UTE (cenário de apenas queima) não foi objeto da análise financeira, pois o objetivo da monografia é a produção de energia através do biogás do lixo e a possível obtenção de créditos de carbono. Sob este cenário alternativo indesejável, assume-se que não se constrói uma usina elétrica e todo o biogás é consumido num queimador.

4.1.10 Avaliação Econômica

Para o propósito desta avaliação, foi presumido que os fluxos de receitas incluem as relativas à venda de eletricidade e à economia de não mais ser necessário comprá-la para atender as necessidades do aterro (sob o cenário de projeto de utilização); incluem também as receitas associadas às reduções das emissões GEE. Com isso, por exemplo, obter receitas geradas através da venda de créditos de carbono.

Um sumário da avaliação econômica e dos pressupostos é apresentado abaixo.

- Pressupostos Básicos

Os seguintes pressupostos gerais foram usados para avaliar as questões econômicas do projeto:

- a) a avaliação econômica foi feita para um período de 15 anos. Esse período foi determinado devido ao histórico de projetos do setor que são de 15 anos (vide Aterro Bandeirantes, São João, entre outros);
- b) duas opções de financiamento foram consideradas, uma sem nenhum financiamento das despesas de capital (por exemplo, a aplicação inicial de 100% das despesas de capital) e outra com financiamento de 75% das despesas iniciais de capital (25% de aporte de capital inicial);
- c) foram considerados diversos cenários para a avaliação dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER), com preços de venda de US\$ 5, US\$ 6, US\$ 7, US\$ 8, US\$ 10, US\$ 13, US\$ 15, US\$ 17 e US\$ 20 por tonelada de CO₂ equivalente;
- d) usou-se a taxa de juros de 8% anual (de acordo com dados de mercado e taxa usada para investimentos no setor segundo o BNDES) no cálculo

do valor presente líquido (VPL) e para o financiamento do empréstimo ; Foi utilizado em um estudo de cenário a taxa mínima de atratividade de 8% para investimento de 25% de capital próprio e de 11% (valor escolhido após consulta ao BNDES e empresas do setor) para o uso de 100% de capital próprio, visto que quanto maior for o risco do ativo, maior será a taxa considerada e, ou seja, a taxa mínima de atratividade para o capital próprio

- e) o período de pagamento do empréstimo para o investimento inicial (75% do valor = \$11.636.160,00) foi de 15 anos;
- f) para esta análise, foi considerado o pagamento de aproximadamente 20 por cento de receitas de CER ao proprietário do aterro sanitário pelo uso de biogás (representado por uma taxa de \$0,35/MMBtu). Tem-se como base experiência internacional, que o pagamento ao proprietário do aterro pelo biogás pode variar entre 10 a 30 por cento das receitas de CER. Se o proprietário do aterro decidisse desenvolver o projeto sozinho (o que não é usual) podia-se assumir este valor zero;
- g) a venda de biogás tem reajuste anual de 3%;
- h) gastos futuros com operação e manutenção e com a melhoria do sistema têm reajuste anual de 3%.

Além desses pressupostos básicos, para a construção da UTE, aplicam-se os seguintes pressupostos técnicos e econômicos:

- a) a usina consistirá inicialmente de sete motores de 1,433 MW a combustão interna que são comprados no 1º ano e que funcionarão do 3º ano ao 8º ano. Após 8º ano, o fluxo de biogás irá diminuir e serão apenas suficientes para operar cinco motores do 9º ano ao 11º ano, e três motores de 12º ano ao 15º ano;
- b) não são considerados os motores que são retirados de serviço à medida que a produção de biogás diminui, na análise financeira, apesar destes terem um valor de revenda considerável. Incluindo esse item na análise financeira, o projeto se torna mais viável e são obtidos melhores indicadores econômicos como: Taxa Interna de Retorno e Valor Presente Líquido;

- c) presumiu-se uma redução de 7% na produção de eletricidade da usina para cobrir a carga parasítica, bem como um fator de capacidade da usina de 90% devido a períodos rotineiros e não-rotineiros de inatividade. O biogás coletado durante o tempo de manutenção da usina será direcionado para a queima;
- d) supõe-se que toda a eletricidade gerada pelo projeto seja vendida fora do aterro. É fato que parte da eletricidade gerada irá suprir as necessidades energéticas no aterro, e isso é considerado um aumento de receitas, já que a eletricidade comprada da rede (no mercado cativo em empresas como Light ou Ampla, por exemplo) é mais cara que a eletricidade gerada e vendida pelo projeto, pois não incidem impostos como PIS, COFINS (PIS + COFINS = 9,25%) e ICMS (patamar médio de tributação é de 18 a 25%).

- Despesas do Projeto

Para a avaliação econômica, foram consideradas as seguintes despesas para a construção da UTE:

- a) investimento inicial de capital para os sistemas de coleta e de queima de biogás, e da usina termoelétrica;
- b) compra de biogás do proprietário do aterro;
- c) custo anual para a operação, manutenção, registro anual de CER, monitoração e verificação.

- Receitas do Projeto

Existem três projetos principais de geração de energia a partir do biogás em escala comercial, atualmente ativos no Brasil. Em São Paulo e no Rio de Janeiro existe respectivamente os projetos da Nova Gerar e Bandeirantes, assim como outro projeto na Bahia. A projeção para o preço de venda de energia foi baseada nos seguintes cenários reais de determinação de preços para projetos:

- a) no Estado de São Paulo, existem produtores independentes de energia (PIE) que produzem energia a partir de bagaço de cana de açúcar e vendem a eletricidade a uma instalação de eletricidade local através de um acordo de venda de energia (PPA), a um preço aproximado de

80,00R\$/MWh (cerca de U. S. \$ 0,029/kWh). No entanto, o projeto do Aterro de Bandeirantes, no qual um banco é um PIE, produzirá energia a partir de biogás e fornecerá para sua matriz. Como compensação todas as sucursais do banco (Unibanco) recebem eletricidade gratuitamente. Logo estão propensos a vender a eletricidade no preço de compra, que é acima de R\$200,00/MWh (\$0,074/kWh) (Nova Gerar e World Bank, 2005).

- b) se um projeto obtiver qualificação para o PROINFA - um programa federal do governo para energia renovável através do qual ELETROBRAS através de um contrato de fornecimento de compra e venda de energia (PPA) durante 20 anos - a partir de 1º de Março de 2004 pôde-se receber R\$169,08/MWh (aproximadamente \$ 0,062/kWh). Esse Valor Econômico referente à Tecnologia Específica da Fonte está fixado por meio de Portaria MME nº 45, de 2004 e reajustado até a data de assinatura do contrato pelo Índice Geral de Preços - Mercado – IGP-M/FGV. Após a assinatura do contrato, esse valor será reajustado, anualmente, também pelo IGP-M/FGV (MME, 2004).
- c) o Documento de Apreciação do Projeto (PAD), para o projeto de energia a partir do biogás financiado pelo GEF (que é o Fundo Mundial do Meio Ambiente ou Global Environmental Facility) nos projetos da Nova Gerar, expressa que um acordo de compra de energia esteve disponível com uma condição de pelo menos 12 anos e uma tarifa de base de eletricidade de US \$0,048/kWh. (Nova gerar e World Bank, 2005).

Elaborando a análise financeira tendo como base no princípio do conservadorismo, dos três cenários de preços, o menor será utilizado (\$0,029/kWh). Com isso, as seguintes receitas de projeto foram consideradas sob o cenário da UTE para a avaliação econômica:

- a) do 3º ano ao 8º ano, a UTE produz um total de 54.504 MW/ano, que pode ser vendido a uma taxa de U.S. \$0,029/kWh, com base nas taxas médias estimadas de compra de energia por atacado;
- b) reduções certificadas de emissões dos GEE são vendidas a partir de uma taxa entre U.S. \$5 a \$7 por tonelada de CO₂eq com base na gama

de potenciais preços de compra considerados pelo Banco Mundial para estes projetos. (Carbon Market, 2009).

Presumiu-se que o biogás coletado que exceda a capacidade da UTE será queimado, bem como o biogás coletado durante períodos de paralisação da usina.

- Sumário das Avaliações Econômicas

O Quadro 30 traz um sumário dos resultados da avaliação econômica no cenário da UTE, apresentando uma composição de opções de financiamento, preços de venda dos Certificados de Emissões Reduzidas e cenários de duração do projeto apresentando o **Valor Presente Líquido (VPL)** e a **Taxa Interna de Retorno (TIR)** do projeto. Esses valores incluem tanto receitas da comercialização dos créditos de carbono, quanto às receitas da venda de energia produzida a partir do biogás de lixo. Ressalta-se que esse projeto considerando apenas receitas com a venda de energia ou receitas com créditos de carbono o projeto não é viável com taxa interna de retorno e valor presente líquido negativos.

Quadro 30: Sumário da Avaliação Econômica (UTE).

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co ₂ eq.)	TIR	VPL
7	11,14%	\$3.090.368
8	14,3%	\$7.062.694
10	19,16%	\$15.007.347
13	24,66%	\$26.924.326
15	27,65%	\$34.868.978
20	33,77%	\$54.730.610
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co ₂ eq.)	TIR	VPL
7	13,13%	\$2.228.430
8	18,9%	\$6.200.756
10	26,74%	\$14.145.409
13	34,92%	\$26.062.388
15	39,23%	\$34.007.041
20	47,83%	\$53.868.672
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Como demonstrado no Quadro 30 as projeções econômicas para UTE apresentam-se atrativas (valores positivos para VPL e TIR) para todos os cenários de preços de venda de CER (a partir de CER = \$7 ton. CO₂ eq.) e de financiamento. Utilizando o VPL, como critério prioritário para decisão do investimento, o investidor deverá utilizar o projeto com 100% de Investimento Inicial de capital. Mas se o investidor carecer de recursos para fazer os 100% de aporte inicial de capital, o mesmo poderá realizar o projeto via 25% de investimento inicial de capital. Pelo fato de pagar juros na opção de realizar o projeto via aporte de 25% de investimento inicial de capital, o mesmo não terá a mesma VPL, que é o principal indicador para análise de investimentos de projetos, mas ainda assim, o projeto será viável conforme Tabela 37.

Mas se o investidor realizar a produção de energia a partir do biogás do lixo utilizando o valor da CER (US\$ 5 ton.CO₂ eq.) obtido no aterro sanitário de Santa Tecla no Rio Grande do Sul ou Adrianópolis em Nova Iguaçu, os indicadores financeiros (VPL e TIR) não encontram-se em patamares favoráveis, de acordo com a Quadro 31.

Quadro 31: Avaliação Econômica com UTE (CER a \$5 e \$6 ton.CO₂ eq.)

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
5	0,00%	(\$4.854.285)
6	6,9%	(\$881.959)
Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
5	0,00%	(\$5.716.223)
6	0,00%	(\$3.263.598)
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

No Quadro 32 é mostrada a simulação com os patamares de CER US\$ 5 e 6 ton.CO₂ eq., mas utilizando uma taxa de venda de energia de um cenário otimista no valor de \$0,035 kWh. Mesmo com alguns valores positivos de TIR e VPL, o projeto não obteve um valor aceitável de taxa interna de retorno, que geralmente é no patamar acima de 10% na Petrobras.

Quadro 32: Sumário da Avaliação Econômica com UTE (energia a \$0,035 kWh)

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
5	5,06%	(\$2.401.660)
6	9,6%	\$1.570.666
Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. Co₂ eq.)	TIR	VPL
5	0,00%	(\$3.263.598)
6	9,65%	\$708.729
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,035 kWh		

Ressalta-se que a análise econômica indica essencialmente o fluxo de dinheiro para quem está desenvolvendo o projeto (assume-se que será alguém de fora). A receita para o proprietário do aterro é geralmente representada pelo preço de venda de biogás a \$0,35/MMBtu.

Por fim, foi feita uma análise de sensibilidade utilizando uma variação do preço de venda da energia (elevando 20% o preço do cenário médio chegando ao valor de 0,035 \$/kWh e reduzindo 20% o preço do cenário médio obtendo o valor de 0,022 \$/kWh). Conclui-se que é inviável esse projeto exceto se houver uma elevação muito significativa no preço da energia em \$/kWh (num patamar percentual aproximado de 250% sob o cenário base de 0,029 \$/kWh) para compensar a ausência das receitas através da obtenção dos créditos de carbono.

- Análise econômica com tributos

No Quadro 33 traz um sumário dos resultados da avaliação econômica no cenário com tributos da UTE, apresentando o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto.

Quadro 33: Sumário da Avaliação Econômica com UTE (U.S \$0,029 kWh) e tributos.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. CO₂ eq.)	TIR	VPL
7	3,30%	(\$3.459.694)
8	7,2%	(\$745.884)
10	12,20%	\$4.622.214
13	17,45%	\$12.574.544
15	20,23%	\$17.834.737
17	22,66%	\$23.078.208
20	25,85%	\$30.943.414
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. CO₂ eq.)	TIR	VPL
7	-	(\$2.408.150)
8	9,00%	\$391.314
10	17,68%	\$5.866.428
13	25,55%	\$13.823.422
15	29,57%	\$19.083.615
17	33,03%	\$24.327.086
20	37,51%	\$32.192.292
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,029 kWh		

O Quadro 34 traz um sumário dos resultados da avaliação econômica no cenário com tributos da UTE com o valor da energia de U.S \$0,035 kWh. Verifica-se que o projeto é viável, mesmo com os tributos. No entanto, o patamar dos CERs ideal para viabilização e realização do projeto é de U.S \$13 ton. CO₂ eq., pois assim o investidor terá uma margem considerável de segurança, caso ocorra algum problema na execução do projeto e isso venha trazer custos não previstos. Vale ressaltar que CER = U.S \$17 ton. CO₂ eq. foi o valor obtido pelo Aterro de Gramacho em seu projeto (Comlurb, 2009). Enfim, após as diversas análises de sensibilidade é fato que a viabilidade do projeto está condicionada à venda dos créditos de carbono.

Quadro 34: Sumário da Avaliação Econômica com UTE (U.S \$0,035 kWh) e tributos.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880		
CER (US\$ / ton. CO₂ eq.)	TIR	VPL
7	6,10%	(\$1.721.791)
8	8,9%	\$953.996
10	13,25%	\$6.263.508
13	18,11%	\$14.149.073
15	20,76%	\$19.392.544
17	23,11%	\$24.636.015
20	26,21%	\$32.501.221
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,035 kWh		

Investimento inicial de 25% = 3.878.720		
CER (US\$ / ton. CO₂ eq.)	TIR	VPL
7	6,6%	(\$571.581)
8	12,08%	\$2.169.859
10	19,06%	\$7.512.386
13	26,33%	\$15.397.951
15	30,18%	\$20.641.422
17	33,53%	\$25.884.892
20	37,90%	\$33.750.099
Taxa de venda de energia fora do local \$ 0,035 kWh		

No estudo de viabilidade técnico e econômica do aterro de Santa Tecla, os valores adotados para o preço da energia em \$/kWh foram entre U.S \$0,035 até U.S \$0,0746 (VAZIN; 2006). No entanto, em cenários com o valor da energia elétrica acima do patamar de U.S. \$0,035 kWh, como o caso supracitado, tem-se os seguintes cenários na Quadro 35 que viabilizam o projeto para o patamar de U.S \$10 e \$17 ton. CO₂ eq.

Quadro 35: Sumário da Avaliação Econômica com UTE e tributos.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880			
CER (US\$ / ton. CO₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
10	14,71%	\$8.880.212	0,045
10	15,96%	\$11.476.556	0,055
10	17,07%	\$14.072.901	0,065
10	18,06%	\$16.669.246	0,075

Investimento inicial de 25% = 3.878.720			
CER (US\$ / ton. CO₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
10	20,95%	\$10.129.089	0,045
10	22,56%	\$12.725.434	0,055
10	23,96%	\$15.321.779	0,065
10	25,22%	\$17.918.123	0,075

Investimento inicial de 100% = 15.514.880			
CER (US\$ / ton. CO₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
17	23,81%	\$27.232.359	0,045
17	24,47%	\$29.828.704	0,055
17	25,09%	\$32.425.049	0,065
17	25,67%	\$35.021.393	0,075

Investimento inicial de 25% = 3.878.720			
CER (US\$ / ton. CO₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
17	34,31%	\$28.481.237	0,045
17	35,05%	\$31.077.582	0,055
17	35,75%	\$33.673.926	0,065
17	36,42%	\$36.270.271	0,075

Com isso, cenários com os créditos de carbono a U.S. \$10 ton. CO₂ eq. e o valor da energia elétrica no patamar de no mínimo U.S. \$/kWh 0,045 o projeto também seria viável, mesmo com a inclusão dos impostos (que podem ser isentos de acordo com leis específicas e do Estado onde o projeto será instalado, elevando assim a viabilidade do projeto).

Por fim, realizando um estudo de viabilidade técnica e econômica usando taxas mínimas de atratividades diferentes para os projetos com 100% de investimento de capital próprio e com o cenário de 25% de capital próprio, os seguintes resultados foram obtidos, expostos no Quadro 36

Quadro 36: Sumário da Avaliação Econômica com UTE com diferentes TMAs

Investimento Inicial de 100% = \$15.514.880				
CER (US\$ / ton. CO ₂)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWH)	TMA
17	24%	\$ 18.307.668	0,045	11%

Investimento Inicial de 25% = \$ 3.878.720				
CER (US\$ / ton. CO ₂)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWH)	TMA
17	34%	\$ 28.481.237	0,045	8%

4.2 Aterro de Seropédica

O projeto visa a evitar emissões de metano advindas do tratamento municipal de resíduos do aterro sanitário – Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) – Santa Rosa.

O CTR Santa Rosa está localizado no Estado do Rio de Janeiro, no município de Seropédica, próximo da cidade do Rio de Janeiro. O CTR Santa Rosa ocupa uma área de 222,6 hectares e iniciará suas operações em 2011, tendo recebido todas as licenças ambientais necessárias para sua operação. O aterro espera receber inicialmente em seu primeiro ano, 6.000 toneladas por dia de resíduos sólidos dos municípios de Seropédica, Itaguaí e Rio de Janeiro (CICLUS AMBIENTAL, 2010).

No aterro de Santa Rosa, o cenário de linha de base consiste na liberação completa do Gás de Aterro para a atmosfera, já que não existem leis, nem incentivos regulatórios obrigando a captura ou queima do metano nos locais dos aterros, fora os casos raros onde sistemas rudimentares e ineficientes são instalados, para que se reduza o risco de explosão. Sem o incentivo financeiro adicional de ganhos com as reduções de emissões, o alto custo da moderna tecnologia de captura e queima, impedem a sua implementação nos aterros brasileiros.

O objetivo é capturar e queimar/usar o metano gerado pela decomposição de resíduos orgânicos do Aterro Sanitário CTR Santa Rosa. O projeto também pretende gerar eletricidade pela combustão de metano, além de melhorar o gás de aterro e distribuí-lo através de uma rede de gás natural.

O projeto pode ser sintetizado da seguinte forma:

- Implementação de um sistema de coleta de gás de aterro no local do Aterro CTR Santa Rosa;
- Uso do biogás capturado como combustível para geração de eletricidade. A eletricidade gerada pode ser usada para uso no próprio local ou vendida para a rede nacional;
- Uso do biogás capturado para distribuição para consumidores em uma rede de distribuição de gás natural; e
- Queimar o excesso de gás de aterro capturado e destruir qualquer emissão de metano.

4.2.1 Descrição técnica

O gás de aterro coletado será usado para a geração de eletricidade, uma parte será também melhorada e distribuída pela rede de distribuição de gás natural, e o excesso produzido será queimado, para evitar emissões de metano para a atmosfera

A tecnologia de ponta de coleta de gás deste projeto inclui os seguintes itens listados abaixo:

- Poços verticais utilizados para extrair o gás e o chorume;
- Poços horizontais utilizados para extrair gás; .
- Espaçamento de poços otimizado para coleta máxima de gás enquanto minimiza custos;
- Topo de poços especificamente instalados para medição de gases;e
- Sistemas condensados para extração e armazenagem instalados em pontos baixos estratégicos por todo o sistema.

A Figura 6 faz referência ao sistema implementado no CTR Nova Iguaçu, também operado pela Haztec.

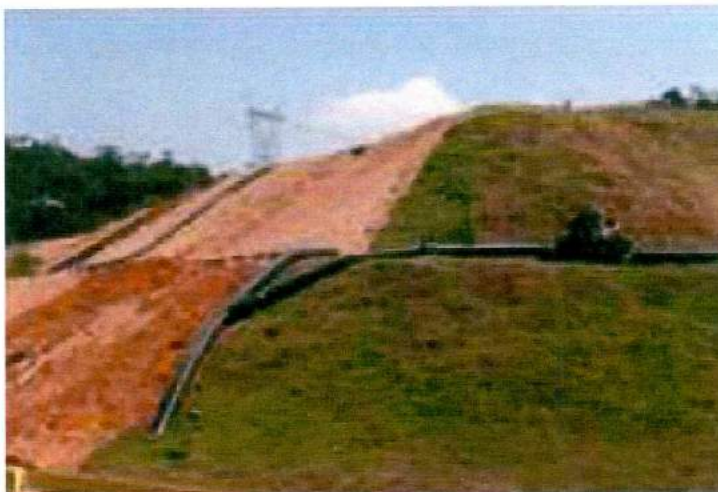


Figura 6 – Sistema de coleta de gás de aterro.

Fonte: Haztec (2010)

- Estação de pré-tratamento do gás de aterro

Todo gás de aterro coletado será pré-tratado para reduzir a umidade e outras impurezas para prevenir corrosões dos sistemas subseqüentes (sistema de queima, geradores de eletricidade e estação de melhora de gás de aterro).

A Figura 7 faz referência ao sistema implementado no Aterro Bandeirantes – localizado no Estado de São Paulo e operado pela Haztec/BIOGAS.



Figura 7 – Sistema de pré-tratamento de gás de aterro.

Fonte: Haztec (2010)

- Sistema de queima de gás de aterro

O CTR Santa Rosa terá um sistema de queima instalado, com o intuito de queimar qualquer excesso de gás que esteja sendo produzido e não esteja sendo usado por outros sistemas, e também para os períodos de manutenção, quando a máquina não estiver operacional. O sistema de queima de gás de aterro inclui os seguintes itens estabelecidos abaixo:

- Um queimador fechado com sistema de queima controlado;
- Sistema de bomba para causar pressão negativa na tubulação (antes da bomba) e pressão positiva (após a bomba) para direcionar o gás ao queimador;
- Equipamento de monitoramento para monitoramento contínuo da composição do gás (metano, oxigênio, dióxido de carbono e balanço), vazão e temperatura de queima;
- Sistema de reiniciamento de segurança, em caso de desligamento do sistema; e
- Monitoramento da eficiência do queimador.

A Figura 8 faz referência ao sistema de queima implementado no CTR Nova Iguaçu, operado pela Haztec.



Figura 8 – Exemplo de sistema de queima a ser instalado.

Fonte: Haztec (2010)

- Equipamento de geração de eletricidade

Uma máquina modular será instalada e pequenas unidades de máquinas geradoras modulares fazem com que seja possível adaptar o equipamento aos volumes específicos de gases do local. Como o volume de gás aumenta ou diminui com o tempo, os módulos podem ser adicionados ou movidos para outros locais. A instalação de diferentes máquinas modulares acontecerá de acordo com os estágios planejados, identificados na análise de investimentos feitos para o projeto.

As unidades instaladas englobarão a liberação de gases das instalações e na casa de força. Esta instalação inclui sopradores, trocadores de calor e resfriadores. No caso de manutenção ou paralisação do sistema, todo o gás de aterro será redirecionado para o sistema de queima, para que o metano que não é usado para geração de energia seja devidamente destruído.

A Figura 9 faz referência a um exemplo da instalação de geração de eletricidade modular, sendo estado Aterro de Monterrey , México.



Figura 9 – Exemplo da instalação de geração de eletricidade modular

Fonte: Haztec (2010)

Como parte desse projeto o gás de aterro passará por um tratamento e será comprimido para ser injetado na rede de distribuição de gás natural com o intuito de

deslocar o gás natural vendido aos consumidores. Em alguns casos será necessário remover o CO₂ presente no gás de aterro. No caso de manutenção ou paralisação do sistema, todo o gás de aterro previamente direcionado a estação de melhoria será direcionado ao sistema de queima. Por tal motivo, o sistema incluirá os seguintes elementos:

- Sistema de Pré-Purificação de Gás de Aterro
- Sistema de Transferência e Absorção de Pressão
- Sistema de Desidratação
- Sistema de Purificação de Dióxido de Carbono
- Compressor de Entrada do Biogás
- Compressor de Admissão
- Unidade compressora de Purificação de CO₂
- Compressor de Refrigeração
- Torre de resfriamento com bombas de recirculação
- Sistema de Instrumentação de Ar
- Central de controle dos motores
- Sistema Supervisório de Controle



Figura 10 – Melhoramento da estação a ser implementada no CTR Santa Rosa.

Fonte: Haztec (2010)

- Dutos conectando o gás de aterro a rede de distribuição de gás

Este componente envolve o sistema de dutos usado para conectar o gás de aterro extraído para a rede de distribuição de gás, onde o gás de aterro coletado alcançará seu usuário final Sistema de monitoramento

O projeto CTR Santa Rosa terá um equipamento de monitoramento com tecnologia de ponta que será calibrado de acordo com a metodologia aprovada aplicável. Todos os funcionários envolvidos serão treinados para operar o equipamento de monitoramento de forma adequada. Os dados dos parâmetros operacionais e de monitoramento serão coletados em cada local de operação e serão enviados para a Caixa. Os dados serão armazenados eletronicamente (mantidos por dois anos após o fim do período de obtenção de créditos) e por escrito separadamente. Os dados de monitoramento serão impressos periodicamente como um processo de cópia de segurança (backup).

4.2.2 Resultados da Análise Técnica

O projeto prevê que o gás de aterro coletado será queimado para gerar eletricidade e será melhorado e distribuído via rede de distribuição de gás natural, de acordo com o apresentado no Quadro 37.

Quadro 37 – Uso final do gás de aterro coletado

Ano	Uso final do gás de aterro		
	Queima apenas	Produção de Energia	Venda
2011	100%	0%	0%
2012	42%	58%	0%
2013	10%	40%	50%
2014	10%	49%	41%
2015	8%	57%	35%
2016	16%	52%	32%
2017	22%	48%	30%
2018	15%	57%	28%
2019	19%	54%	27%
2020	12%	62%	26%
2021	15%	60%	25%
2022	16%	59%	25%
2023	18%	58%	24%
2024	21%	56%	23%
2025	22%	55%	23%

Fonte: Haztec (2010)

No Quadro 38, o volume de diferentes tipos de resíduos a serem recebidos foi estimado com base numa amostra tomada no Aterro Sanitário de Gramacho, que também recebeu resíduos do município do Rio de Janeiro durante o tempo de vida de sua operação. Assim que o CTR Santa Rosa estiver operacional, todo resíduo que esteja sendo despejado em Gramacho será redirecionado para o Santa Rosa.

Quadro 38 - Composição de Resíduos do CTR Santa Rosa

DADOS	VALOR	UNIDADE	FONTE
Ano de abertura	2011		
Ano de fechamento	2025		
Composição do Resíduo			
Madeira e produtos de madeira	1,5%	Porcentagem do resíduo total	Haztec – Projeto Aterro Sanitário de Gramacho
Celulose, papel e papelão	22,4%		
Resíduos de alimentos	49,5%		
Têxteis	2,1%		
Resíduos de parques e jardins	2,5%		
Resíduos inertes	22%		
MCF	1,0		IPCC 2006
K (taxa de decomposição)			
Madeira e produtos de madeira	0,035	-	IPCC 2006 Para clima tropical úmido
Celulose, papel e papelão	0,07		
Resíduos de alimentos	0,40		
Têxteis	0,07		
Resíduos de parques e jardins	0,17		
Resíduos inertes	0		
DOCf	0,5		IPCC 2006
DOCj			
Madeira e produtos de madeira	43	%	IPCC 2006 Resíduo úmido
Celulose, papel e papelão	40		
Resíduos de alimentos	15		
Têxteis	24		
Resíduos de parques e jardins	20		
Resíduos inertes	0		

Fonte: Haztec (2010)

No Quadro 39, é apresentada a entrada de resíduos projetada a ser despejada no CTR Santa Rosa é baseada na informação de coleta de resíduos disponível para os municípios que enviarão seus resíduos sólidos para o CTR Santa Rosa, aplicando um coeficiente de correção para considerar o crescimento vegetativo da população.

Quadro 39 – Depósito de resíduos no CTR Santa Rosa

Dados do depósito de resíduos	
Ano	Volume anual de carregamento de resíduos (tons)
2010	0
2011	2.170.200
2012	3.676.602
2013	3.713.368
2014	3.750.502
2015	3.788.007
2016	3.825.887
2017	3.864.146
2018	3.902.787
2019	3.941.815
2020	3.981.233
2021	4.021.045

Fonte: Haztec (2010)

No Quadro 40, analisa-se a composição dos resíduos do CTR de Santa Rosa. Quando se avalia um projeto de recuperação de biogás, em particular o conteúdo orgânico, é importante analisar o conteúdo em umidade e a degradação das frações dos diversos resíduos. Por exemplo, aterros com elevado conteúdo de lixos alimentares, altamente degradáveis, tenderão a produzir biogás mais cedo, mas durante um período de tempo mais curto. O efeito da composição dos resíduos na produção de biogás é discutido mais adiante.

Quadro 40 - Dados de composição usados na estimativa ex-ante de reduções de emissões

Tipo de residuo	(%) Base de umidade	Classificação de acordo com a Ferramenta
Papel/Papelão	22,39%	Celulose, papel e papelão
Plásticos	15,36%	Vidro, plástico, metal, outros inertes
Vidro	3,10%	Vidro, plástico, metal, outros inertes
Material Orgânico	49,54%	Alimento, resíduo de alimento, bebidas e tabaco
Metal	2,62%	Vidro, plástico, metal, outros inertes
Outros inertes	0,92%	Vidro, plástico, metal, outros inertes
Folhas	2,48%	Resíduos de parques e jardins
Madeira	0,65%	Madeira e produtos de madeira
Borracha	0,26%	Madeira e produtos de madeira
Têxteis	2,11%	Têxteis
Couro	0,25%	Madeira e produtos de madeira
Ossos	0,14%	Madeira e produtos de madeira
Coco	0,19%	Madeira e produtos de madeira
Parafina	0,00%	Alimento, resíduo de alimento, bebidas e tabaco

Fonte: Haztec (2010)

4.2.3 Análise de Investimentos

A análise de investimento foi realizada comparando a TIR do projeto sem as receitas dos créditos de carbono em face dos títulos do tesouro federal do Brasil. Foi feito para um período de 15 anos (conforme o contrato assinado entre a COMLURB e a HAZTEC/ SERB). O investimento e custos de outras atividades, tais como a planta de chorume, foram incluídas na Análise de Investimento já que faz parte do contrato de concessão firmado pela HAZTEC/ SERB.

O método de análise comparativo foi determinado pelos títulos do tesouro federal do Brasil, um indicador de baixo risco e longo prazo do Tesouro federal do Brasil, onde a média de julho da NTN-F 010117, título governamental com taxa de 12,09%, foi usado para comparação.

Portanto, a TIR para o projeto no Brasil foi estabelecido em 12,09%. Desta forma, a taxa de retorno do projeto deveria ser maior que 12,09% para que o projeto seja financeiramente viável para a Haztec.

São apresentados os valores de investimento utilizados para calcular a TIR do projeto como exposto no Quadro 41, para um cenário de 15 anos.

Quadro 41 – Investimentos do projeto

	Componente	Cenário do projeto		Linha de base		
		R\$	US\$	R\$	US\$	
CAPEX	Equipamento de geração de eletricidade	Motores (5) e sistema de pré-tratamento de biogás	24.288.000	13.568.715	-	-
		Projeto e instalação da usina geradora	8.105.000	4.527.933	-	-
		Subestação de eletricidade e linha de conexão	9.182.774	5.130.041	-	-
		Coleta e queima de biogás	16.802.250	9.386.732	-	-
		Rede de distribuição	1.508.443	842.706	-	-
		Licenciamento	400.000	223.464	-	-
	Tratamento e distribuição de biogás	Estação de tratamento de biogás	29.177.000	16.300.000	-	-
		Engenharia & equipamentos	21.838.000	12.200.000	-	-
		Construções	7.339.000	4.100.000	-	-
		Licenciamento	200.000	111.732	-	-
		Custo de capital total	118.840.467	66.391.322	-	-
	O&M	Custos O&M	142.970.523	79.871.801	-	-
	TOTAL (projeção para 15 anos)	261.810.990	146.263.123	-	-	

Fonte: Haztec (2010)

A TIR do projeto foi determinada pela HAZTEC/SERB tendo os seguintes parâmetros de entrada: preço da eletricidade (MWh) e preço estimado para venda do gás de aterro melhorado como as fontes de receitas mais relevantes, custos fixos, custos de operação variáveis, COFINS / PIS, depreciação, despesas financeiras, imposto de renda (IR/CSLL) e pagamentos de empréstimos

No Quadro 42, um resumo dos resultados obtidos na análise econômica do projeto:

Quadro 42 – VPL X TIR

Componente/indicador	VPL (R\$)	TIR
Venda do Biogás	-26263788	-0,4%
Energia do Biogás	-27842425	N/A
Projeto CTR Santa Rosa	-53504578	-N/A

- Análise de sensibilidade

A análise de investimento fornece um argumento válido a favor da adicionalidade somente se esta mostrar que o projeto não parece financeiramente atrativo.

No Quadro 43, realiza-se uma análise de sensibilidade, as seguintes hipóteses foram adotadas, já que estes são os custos mais significativos envolvendo a atividade do projeto:

- Variação no preço do gás de aterro vendido em + 10%;
- Variação do preço da eletricidade vendida em +10%
- Variação do Sistema de melhoria de gás CAPEX em – 10%;
- Variação da Geração de Energia OPEX em – 10%;

Quadro 43 – Análise de Sensibilidade CTR Santa Rosa

Componente	Variação	IRR	Ponto de equilíbrio
Preço do gás (R\$/m ³)	+10%	-5,2%	0,97 (+288%)
Preço do MWh (R\$/MWh)	+10%	N/A	1320 (+850%)
Sistema de melhoria de gás CAPEX	-10%	N/A	-18471252 (-66,8%)
Custo Operacional do Sistema de Geração de Eletricidade	-10%	N/A	N/A

Conforme demonstrado no quadro acima, a TIR do Projeto continua sendo indefinida ou negativa quando os indicadores financeiros oscilam na faixa de -10% a +10%. De acordo com a análise de sensibilidade, mesmo com variações entre ± 10% nos parâmetros financeiros chave, a TIR projetada ainda está muito abaixo da análise comparativa de mercado de 12,09%. Além dessas variações, nós identificamos os valores dos parâmetros que devem ser mudados para que a TIR do projeto esteja acima da análise de mercado. Como podemos ver na última coluna do quadro, o preço do gás deve crescer em 288%, o preço por MWh deveria crescer em 850%, ou os custos CAPEX deveriam diminuir em 66,8%; assim como os custos OPEX, mesmo que eles diminuam até zero, a TIR ainda é indefinida.

Tanto para o preço da energia quanto para o preço do suprimento de gás, isto é muito difícil de acontecer, já que essas são mudanças significantes e esses mercados são fortemente regulados.

Para o CAPEX da melhoria do sistema de gás, como existem poucos projetos que realmente melhoraram o gás de aterro a ser fornecido a consumidores, é muito difícil de diminuir tal investimento devido à falta de experiência com a tecnologia e o equipamento; de qualquer modo, este custo pode na realidade aumentar após o início de operação. Desse modo, sem a receita do MDL/CER, o projeto proposto não é financeiramente atrativo.

Como recomendado pela ferramenta de demonstração e avaliação de adicionalidade, a análise apresentada mostra que o projeto, não é financeiramente/economicamente atrativo, sem as receitas oriundas dos créditos de carbono. No Quadro 44 é apresentada a estimativa de volume anual de metano usado para gerar eletricidade.

Quadro 44 – Volume anual de metano usado para gerar eletricidade

Ano	MD _{electricity} (tCH4)
2011	0
2012	14.592
2013	14.492
2014	21.932
2015	29.370
2016	29.674
2017	29.633
Total	139.694

No Quadro 45, é apresentado o volume de eletricidade gerada e despachada para a rede pelo projeto.

Quadro 45 – Volume de eletricidade gerada e despachada para a rede

Eletricidade despachada para a rede		
Ano	MWh	tCO2
2011	-	-
2012	56.699	9.270
2013	56.310	9.207
2014	85.217	13.933
2015	114.121	18.659
2016	115.303	18.852
2017	115.143	18.826
Total	542.793	88.747

No Quadro 46, é apresentado o volume de metano injetado anualmente na rede de distribuição de gás natural.

Quadro 46 – Volume de metano injetado anualmente na rede de distribuição de gás natural

Ano	MD_{PL} (tCH4)
2011	-
2012	-
2013	18.115
2014	18.351
2015	18.034
2016	18.261
2017	18.521
Total	91.282

No Quadro 47, é apresentado o resumo das estimativas de reduções de emissões ex-ante.

Quadro 47 – Resumo das estimativas de reduções de emissões ex-ante

Ano	Estimativas das emissões da atividade do projeto (toneladas de CO2e)	Estimativa das emissões de linha de base (toneladas de CO2e)	Estimativa de fugas (toneladas de CO2e)	Estimativas totais de reduções de emissões (toneladas de CO2e)
2011	4	196.222	-	196.218
2012	1.673	515.416	-	513.743
2013	4.196	787.418	-	783.222
2014	5.047	969.766	-	964.719
2015	5.898	1.116.938	-	1.111.041
2016	5.932	1.223.252	-	1.217.319
2017	5.928	1.312.298	-	1.306.370
Total (toneladas de CO2e)	28.677	6.121.310	-	6.092.632

5 CONCLUSÕES

A conclusão desta pesquisa está estruturada nos tópicos a seguir:

- Quanto à bibliografia, observa-se uma preocupação sobre temas ambientais, como o uso da energia, mecanismo de desenvolvimento limpo, créditos de carbono e forma de disposição dos resíduos sólidos buscando a equidade intergeracional e a sustentabilidade da sociedade. Ressalta-se o relevante papel das fontes alternativas de energia elétrica, entre elas a geração de energia através do biogás de aterros sanitários, amplamente utilizada na Europa (1200 MW), nos Estados Unidos (500MW) e ainda incipiente no Brasil.

- Para avaliar o potencial de geração de biogás do aterro sanitário coleta-se os dados de disposição de resíduos, data de abertura e encerramento do aterro, valores do potencial de geração do metano e a constante de decaimento, aplicando-se a metodologia utilizada para o aterro sanitário no caso em tela. Obtém-se a curva de geração de metano ao longo do tempo. A queima do metano através de motores de combustão interna, acoplados à geradores de energia elétrica, cria o potencial de geração de energia elétrica, utilizando o biogás. O potencial de geração de certificados de redução de emissão de gases efeito estufa pela combustão do biogás deve ser considerado de acordo com os critérios de linha de base, adicionalidade e a viabilidade condicionada à venda dos créditos de carbono

- Para cálculo da viabilidade econômica da implantação de uma usina de geração de energia elétrica, utilizando o biogás gerado no aterro sanitário, utilizou-se a TIR e o VPL, estruturado no fluxo de caixa, considerando o investimento, financiamento, depreciação, custos de manutenção e operação e receitas da venda de energia e créditos de carbono.

Os projetos estudados – Santa Rosa (Seropedica) e Gramacho – somente são viáveis tecnicamente e economicamente com a obtenção de receitas através da venda de energia e créditos de carbono. Somente a venda de energia nesses aterros não viabiliza o projeto. Por isso, a importância do estudo do marco

regulatório na área de resíduos sólidos e as normas e procedimentos específicos para a obtenção de receitas através dos créditos de carbono.

Do ponto de vista da matriz energética, é estratégica a diversificação de fontes geradoras de energia, sendo o biogás uma fonte alternativa, renovável, disponível, próxima aos centros consumidores de energia elétrica e até o presente, com apenas 6% do potencial utilizado.

Conforme Cetesb, 1999 a geração de metano em depósitos de resíduos sólidos urbanos brasileiros está na ordem de 677 Gg., cuja densidade padrão definida é de 0,716 Kg/m³, o que significa cerca de 945 milhões de metros cúbicos anuais. Como o metano representa cerca de 50 a 55% do volume de biogás, têm-se 1.718 milhões de metros cúbicos anuais desse gás, considerando uma recuperação típica de 90%, sendo que estariam disponíveis 1.546 Mm³ de biogás para geração de energia elétrica. Isso representaria ao País, utilizando usinas termoelétricas baseadas em motores a combustão interna com eficiência na faixa de 20%, uma energia disponível de 2,1TWh, que alimentaria 1750 mil residências com o consumo médio mensal de 100kWh, equivalente a uma cidade de 3 milhões de habitantes.

Diante do exposto, é possível constatar que o biogás não tem um impacto significativo na matriz brasileira mesmo considerando o valor de 2,1 TWh com relação a oferta total de 497,4 TWh que não representa nem 1% da matriz.

Do ponto de vista financeiro e cambial, a venda dos créditos de carbono ao mercado internacional contribui para o superávit da balança comercial. Porém, as altas taxas de juros praticadas no Brasil, diminuem a atratividade para investimentos desta natureza e instabilidade da cotação da moeda nacional em relação ao dólar, afastam os investidores estrangeiros que optam por aplicar no mercado financeiro.

Cabe o desafio as instituições – como FAPERJ e BNDES – de fomentar a utilização do potencial do biogás de aterros sanitários para a geração de energia. Por fim, a instalação de uma termelétrica de lixo, gera as contribuições, entre elas:

- a) Sustentabilidade ambiental, desenvolvimento das condições de trabalho e a geração de empregos.
- b) Desenvolvimento tecnológico, com o surgimento de pesquisas que podem gerar patentes e modelos de utilidade para a engenharia nacional.
- c) Conscientização da população com relação a realização de práticas sustentáveis

6. REFERÊNCIAS

- ABLEPE, **Relatório Panorama dos Resíduos Sólidos**, 2011.
- ABREU, **Biogás de Lixo em aterros sanitários**. Blucher, 2011.
- ABREU FILHO, José Carlos Franco de; SOUZA, Cristóvão Pereira de; GONÇALVES, Danilo Amerio; CURY, Marcus Vinícius Quintella. **Finanças Corporativas**. Rio de Janeiro: FGV, 2003.
- AMBIENTE BRASIL. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/>. Acesso em 2010.
- ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças corporativas e valor**. São Paulo: Atlas, 2003
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.004: resíduos sólidos: classificação*. Rio de Janeiro, 2004.
- BRASIL, Política Nacional do Meio Ambiente – Lei Nº. 6.938/81.
- BRASIL, Política Nacional dos Resíduos Sólidos – Lei 12.305/10
- BRASIL, Projeto de lei 707 de 2006.
- BRASIL, Lei 9.605 de 1998.
- BRASIL, H.G. *Avaliação Moderna de Investimentos*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002)
- BRASMETANO. Conjunto motogerador para biogás de aterro e créditos de carbono: landbox 2007. São Paulo, 2007. Disponível em: <www.brasmetanosustentabilidade.com>. Acesso em: 1 ago. 2009.
- CALDERONI, S. **Perspectivas econômicas da reciclagem do lixo no município de São Paulo**. Tese de doutoramento, FFLCH-USP, Depto. Geografia. São Paulo, 1996.
- CEBDS, Câmara de mudanças climáticas do conselho empresarial brasileiro do desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<http://www.cebds.org.br/cebds/mc-convencao-clima.asp>>. Acesso em: 1 ago. 2009.

CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS, ATERRO SANITÁRIO DE ADRIANÓPOLIS. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <www.novagerar.com.br>. Acesso em: 1 mar. 2009.

CERVEIRA, D.R.P.; CLIMERU, M.F. Energia dos Resíduos da Região do Médio Parapanema, Relatório Final do Projeto de Formatura. PEA - EPUSP, Sao Paulo 2000.

CETESB , Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental, Inventário Anual de Resíduos Sólidos Domiciliares, 1999.

CETESB, Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental, Inventário Anual de Resíduos Sólidos Domiciliares, 2002.

CICLUS AMBIENTAL, Disponível em: <<http://www.ciclusambiental.com.br>>, Acesso em 2010.

CONSTITUIÇÃO FEDERAL DO BRASIL, 1988.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA. Disponível em: <<http://comlurb.rio.rj.gov.br>> Acesso em: 1 ago. 2012.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA. *Potencial energético do biogás de aterros*. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://comlurb.rio.rj.gov.br/potencial_bio_gas.htm>. Acesso em: 1 ago. 2009.

COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana. Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município do Rio de Janeiro – 2005. Disponível em http://comlurb.rio.rj.gov.br/download/caracterizacao_do_lixo_domiciliar_2005.pdf> Acesso em 16 Jul. 2007.

ECO SECURITIES. *Projeto de aproveitamento do biogás de aterro sanitário: novagerar: documento de concepção do projeto (PDD)*. Brasil, 2004.

EMCON ASSOCIATES. Methane Generation and Recovery from Landfills. Annual Arbor Science Publishers, p.81-93, 1980.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Consumo de energia no Brasil cresceu 5,6% em 2008*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20090415_1.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2009.

EXAME - Anuário Exame de Infra Estrutura 2008-2009. Rio de Janeiro, dez. 2008

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de Administração Financeira**. 7º Ed, São Paulo: Editora Harbra, 2002.

HAZTEC, Disponível em: <<http://www.haztec.com.br/ambiental/index.php/empresa>>. Acesso em 2010.

IPCC. *Climate change 1995: the science of climate change: contribution of working group i to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.

IPT/CEMPRE – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)/ Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. D’Almeida Maria Luiza O. e Vilhena, André. (coord.) São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

JORNAL O GLOBO, Resíduos sólidos urbano, 2008.

KANAYAMA, P.H. **Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos e Conservação de Energia**. São Paulo, 1999. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LEMES JUNIOR, Antônio Barbosa; CHEROBIM, Ana Paula; RIGO, Cláudio Miessa. **Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

LISS, E. W. **Natural gás power system for the distributed generation market**. In: POWER-GEN INTERNATIONAL CONFERENCE, 1999, New Orleans, Louisiana. Paper. [S.l.: s.n.], 1999.

LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. (Coord.). **Geração termoeletrica: planejamento, projeto e operação**. São Paulo: Única, 2004. p. 457-461.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. **Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos “aterros sanitários” nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil**. Brasília, 2005.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balço energético nacional**. Brasília, 2005 Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 1 ago. 2009.

NEDER, L.T.C. **Reciclagem de Resíduos Sólidos de Origem Domiciliar. Análise da Implantação e da Evolução de Programas Institucionais de Coleta Seletiva**

em Alguns Municípios Brasileiros. Dissertação de Mestrado. USP - Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental. São Paulo, 1995.

OMA Brasil (Organização da Sociedade Civil de Interesse Público Mobilidade e Ambiente). **Estudo de pré-viabilidade econômica.** 2006.

POLPRASERT, C. Organic waste recycling: technology and management. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.

ROSS, Stephen A.; WESTERFIELD, Randolph W.; JORDAN, Brandford D. **Princípios de administração financeira.** 2.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

SCHARFF, H., JACOBS, J. (2006). Applying guidance for methane emission estimation for landfills. Waste Management 26: 417 – 429

SCS Engineers, 2005. <www.scsengineering.com/LFG.../lfgsysconst.html>. Acesso em: 10 jun. 2009.

SEROA DA MOTTA, R.; CHERMONT, L., Aspectos econômicos da gestão integrada de resíduos, Rio de Janeiro, IPEA/DIPES – Textos para Discussão, Maio de 1996.

SOUZA, Alceu, CLEMENTE, Ademir. Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

SOUZA, Acilon Batista de. **Projetos de investimentos de capital: elaboração, análise, tomada de decisão.** São Paulo: Atlas, 2003.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, Kyoto protocol to the United Nations. Washington, 2007.

U.S. ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Air emission from municipal solids waste landfill: background information for proposed standards and guidelines:** emission standards division: EPA-450/3-90-011a. USA, 2005

U.S. ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Air emission from municipal solids waste landfill: background information for proposed standards and guidelines:** emission standards division: EPA-450/3-90-011a. USA, 1998.

WORLD BANK. Washington, 2003. Disponível em: <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_estudios_prefac_en.htm>. Acesso em: 1 out. 2009.

ANEXO I – MDL NO BRASIL E NO MUNDO

El Carrasco – Colômbia

O aterro sanitário de El Carrasco é situado no sudoeste dos limites da cidade de Bucaramanga. O local compreende um total de aproximadamente 81,3 ha, dos quais aproximadamente 14,5 ha são utilizados para a operação de descarga.

A operação da área atual de descarga do aterro sanitário de El Carrasco foi iniciada em 1985 e sua capacidade total é de aproximadamente 4 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU). As operações do aterro são controladas pela Empresa de Aseo de Bucaramanga S.A. ESP. (EAMB). Na Figura 11, são apresentadas as projeções de recuperação do gás de lixo.

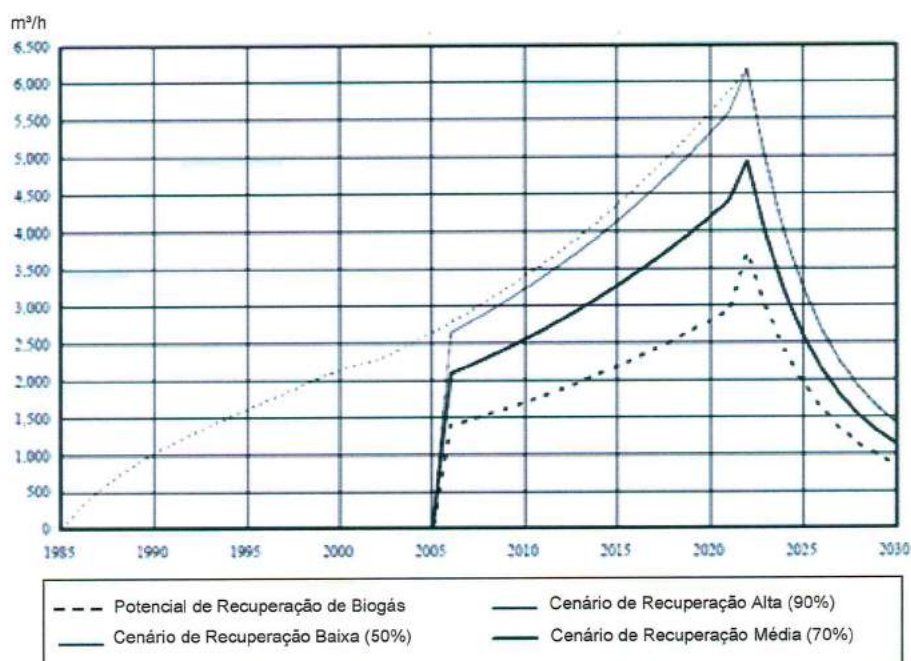


Figura 11: Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de El Carrasco, Colômbia

Fonte: World Bank, 2009

Os resultados econômicos encontrados no aterro sanitário de El Carrasco estão presentes no Quadro 48.

Quadro 48: Análise Econômica do aterro sanitário de El Carrasco - Colômbia

Período do projeto		Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1 000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	2005 – 2012	5	100	-\$2507	--
	2005 – 2012	5	25	-\$237	--
	2005 – 2019	5	100	-\$71	7%
	2005 – 2019	5	25	-\$139	--

Fonte: World Bank, 2009

Pelos resultados de sua análise econômica, o projeto de EL Carrasco é inviável. Os resultados são baseados nos fatores limitados da análise de pré-viabilidade, incluídos custos previstos para o capital, operação e manutenção. Dado que não há nenhum projeto de geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários na Colômbia, não existe uma base para a comparação e verificação das suposições de custo.

Montevideu - Uruguai

O aterro sanitário de Montevideu foi aberto em 1990 e está previsto que a sua capacidade de funcionamento se estenderá até 2011, com a capacidade total de 10,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. As operações do local são controladas pelo município de Montevideu.

A operação de descarga é situada em uma área relativamente urbana nos subúrbios de Montevideu. Há uma subestação elétrica que se encontra aproximadamente de 500 a 1.000 m distante da operação de descarga, e existe um gasoduto principal de abastecimento do gás que se encontra a aproximadamente 1.000 m.

A Figura 12 apresenta a recuperação projetada do gás de lixo em três cenários (pessimista, médio e otimista), com o encerramento do aterro em 2009.

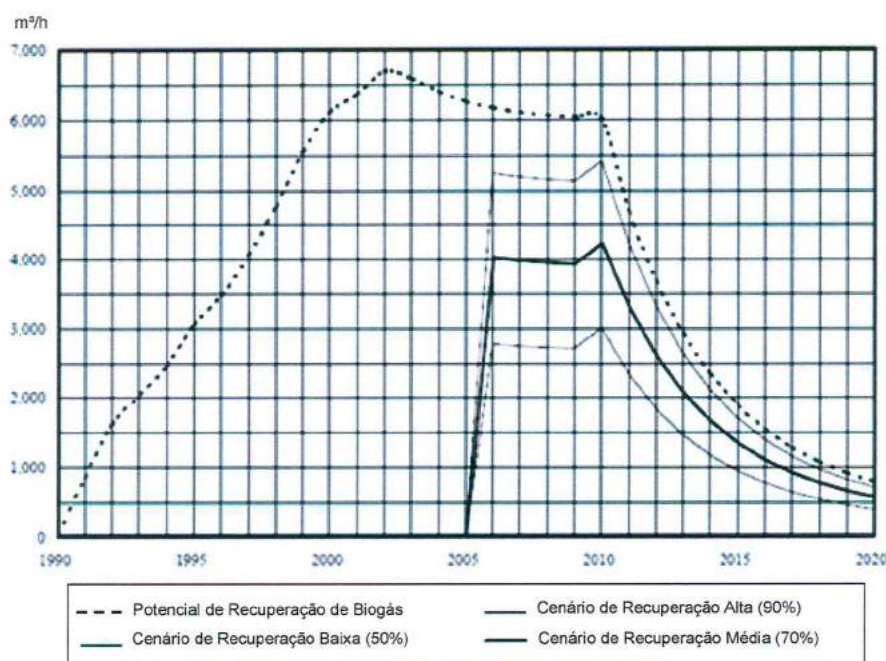


Figura 12: Projeção de recuperação do biogás de lixo no aterro de Montevideú
Fonte: World Bank, 2009

A maioria da eletricidade produzida no Uruguai é de plantas hidroelétricas. O Uruguai não tem diversos recursos naturais, tais como: petróleo ou gás natural. Com isso, é um País predominantemente importador de recursos energéticos.

Somente há um projeto de geração de energia através de biogás de lixo em aterros sanitários no Uruguai que foi suportado em parte por uma concessão do Global Environment Facility – **GEF**. Com isso, existe um espaço amostral limitado para a comparação e verificação do custo e receitas do projeto de Montevideú. No entanto, uma das variáveis mais importantes, o preço de venda da eletricidade de \$0,027/kWh (um preço de aquisição garantido pela UTE para a eletricidade gerada pelo projeto de Maldonado) foi usado para a avaliação do aterro sanitário de Montevideú. Abaixo, é citado o sumário de projeto do GEF que faz esta referência à relação entre o projeto e o setor de energia elétrica.

Energy Sector Policy. Demand for electricity has steadily grown over the past decades and the country has resorted to imports of electricity from Argentina in recent years. The government has recently reformed the legal framework governing the power sector, enabling the establishment of independent power producers (Law No. 16.832 and Decree N°. 22/999). While specific rules of this reform have not been yet enacted, the project proponents (UCC) have consulted UTE and obtained a pledge to purchase the electricity generated by the project for at least **US\$ 0.027/kWh**. This value is estimated to represent the lower bound of UTE's long-run marginal generation cost.

O projeto foi analisado em uma variedade de cenários, incluindo a sua duração (até 2012 ou 2019), percentual de investimento inicial (respectivamente 25 ou 100%) e valores dos CERs (\$4, 5, ou 6/ton de CO₂eq.). O valor de venda da energia utilizado foi de \$0,027/kWh.

Os resultados econômicos encontrados no aterro sanitário de Montevideú estão presentes no Quadro 49, que recebeu RSU até 2005

Quadro 49: Análise Econômica do aterro de Montevideú

Período do projeto		Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	até 2012	5	100	-\$727	3.9%
	até 2012	5	25	-\$878	-6.4%
	até 2019	5	100	\$966	11.5%
	até 2019	5	25	\$819	15.0%

De acordo com a análise econômica, o aterro sanitário de Montevideú é viável para os cenários com o período de 2005-2019. Se o aterro sanitário de Montevideú recebesse resíduos sólidos urbanos até o ano de 2009, o aterro conseguiria obter maiores receitas com a venda de energia e créditos de carbono. Com isso, o cenário econômico se apresentaria com maior viabilidade de acordo com o Quadro 50.

Quadro 50: Análise Econômica do aterro de Montevideú recebendo RSU até 2009

Período do projeto		Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	até 2012	5	100	\$113	8.9%
	até 2012	5	25	-\$3	7.9%
	até 2019	5	100	\$1.024	13.7%
	até 2019	5	25	\$911	22.9%

Fonte: World Bank, 2009

Santa Tecla (RS) – Brasil

O aterro sanitário de Santa Tecla está localizado em Gravataí, próximo da cidade de Porto Alegre.

O aterro de Santa Tecla tem cerca de 10 ha, e é administrado pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) da cidade de Porto Alegre.

A estimativa de recuperação de gás de lixo poderia gerar energia na ordem de 1 Megawatt (MW) em uma planta termoelétrica desde 2007 até 2011. Já entre 2012 a 2019, a planta terá capacidade de 335 kilowatt (kW).

O gás recuperado projetado em 2006 está estimado em aproximadamente 1903 m³/h, conforme a Figura. Depois do fechamento do aterro, o gás recuperado esperado terá um rápido declínio, atingindo o patamar de 586 m³/h em 2012 e 219 m³/h em 2019. A Figura 13 apresenta a recuperação projetada do gás de lixo em três cenários (pessimista, médio e otimista).

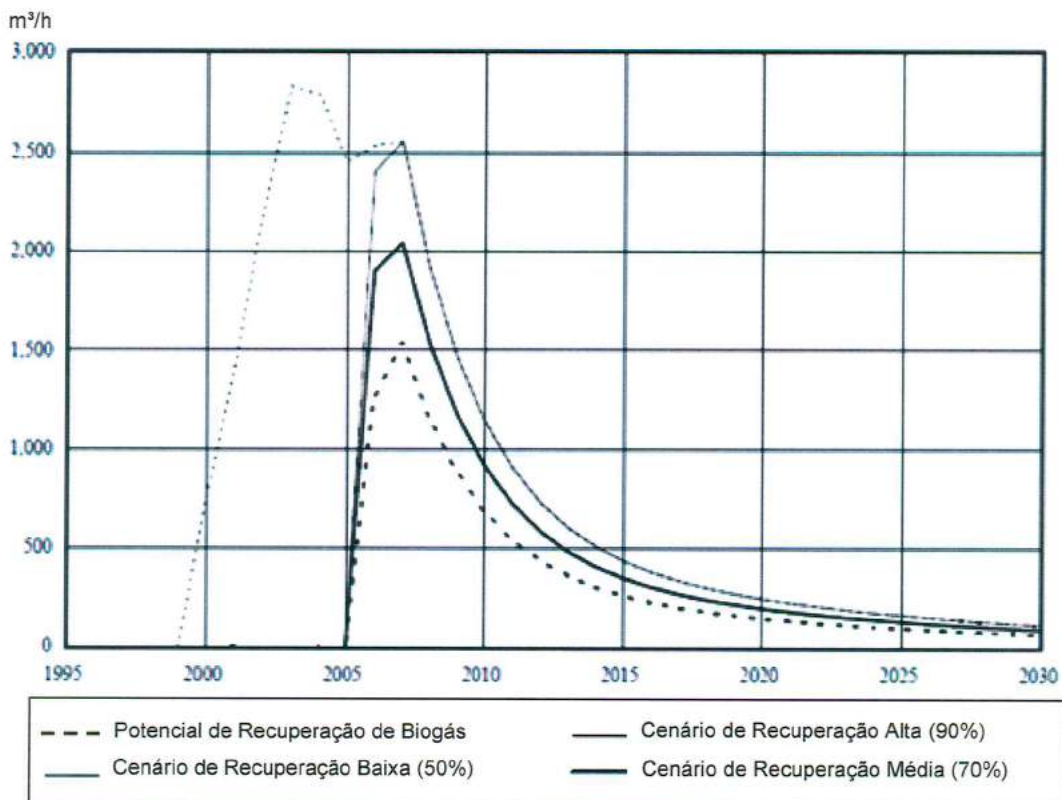


Figura 13: Projeção de recuperação do gás de lixo no aterro de Santa Tecla, RS.

Fonte: World Bank, 2009

O aterro de Santa Tecla foi aberto em 1999. A capacidade do aterro está no patamar de 2 milhões de toneladas de RSU. Por ano, a média de depósitos está no patamar de 200.000 toneladas e em 2005 alcançou aproximadamente 1,6 milhões de toneladas de RSU.

Fazendo o estudo de viabilidade econômica, o projeto foi analisado em múltiplos cenários, incluindo a sua duração (até 2012 ou 2019), percentual de investimento inicial (25 ou 100%) e valores dos CERs (\$4, 5, ou 6/ton de CO₂eq.). O valor de venda da energia utilizado foi de \$0.029/kWh.

Os resultados econômicos encontrados no aterro sanitário de Santa Tecla são apresentados no Quadro 51.

Quadro 51: Análise Econômica do aterro de Santa Tecla - RS

	Período do projeto	Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	2005 – 2012	5	100	-\$605	-3.5%
	2005 – 2012	5	25	-\$667	*
	2005 – 2019	5	100	-\$695	*
	2005 – 2019	5	25	-\$755	*

Fonte: World Bank, 2009

De acordo com os resultados da análise econômica, a geração de eletricidade no aterro de Santa Tecla não é viável. No projeto foi utilizado o preço de aquisição da eletricidade de US\$0,029/kWh. Com a elevação dessa tarifa de energia e também do valor dos CERs, o projeto poderia se tornar viável.

Muribeca (PE) - Brasil

O aterro sanitário de Muribeca está localizado no estado de Pernambuco, próximo à cidade de Recife. A operação de descarga de lixo no aterro de Muribeca foi aberta em 1994. O aterro tem uma capacidade total de aproximadamente 14,4 milhões toneladas de RSU.

A operação de descarga de lixo está ocorrendo atualmente a uma taxa de aproximadamente 1 milhão de toneladas por ano, e teve em 2005 aproximadamente 10,5 milhão toneladas de RSU. O local compreende uma área total de aproximadamente 60 ha, com uma área adicional adjacente de 83 ha reservado para descargas futuras. As operações do local são controladas por Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB).

A recuperação projetada do gás de lixo em 2006 foi estimada em aproximadamente 8.289 m³/h, e se elevaria a um máximo de 8.707 m³/h em 2009. Após o fechamento do local, espera-se que a recuperação do gás de lixo venha a se declinar rapidamente, alcançando 4.872 m³/h em 2012 e 1.531 m³/h em 2019. Com a implantação de uma central energética em 2007, estima-se que haverá gás de lixo disponível para suportar uma UTE de 7,42 MW com 2012. Após 2012, não haverá gás de lixo, disponíveis para uma UTE de 7,42 MW. Em 2019, haverá gás de lixo para suportar somente dois motores de 1,06 MW. A Figura 14 apresenta a recuperação projetada do gás de lixo em três cenários.

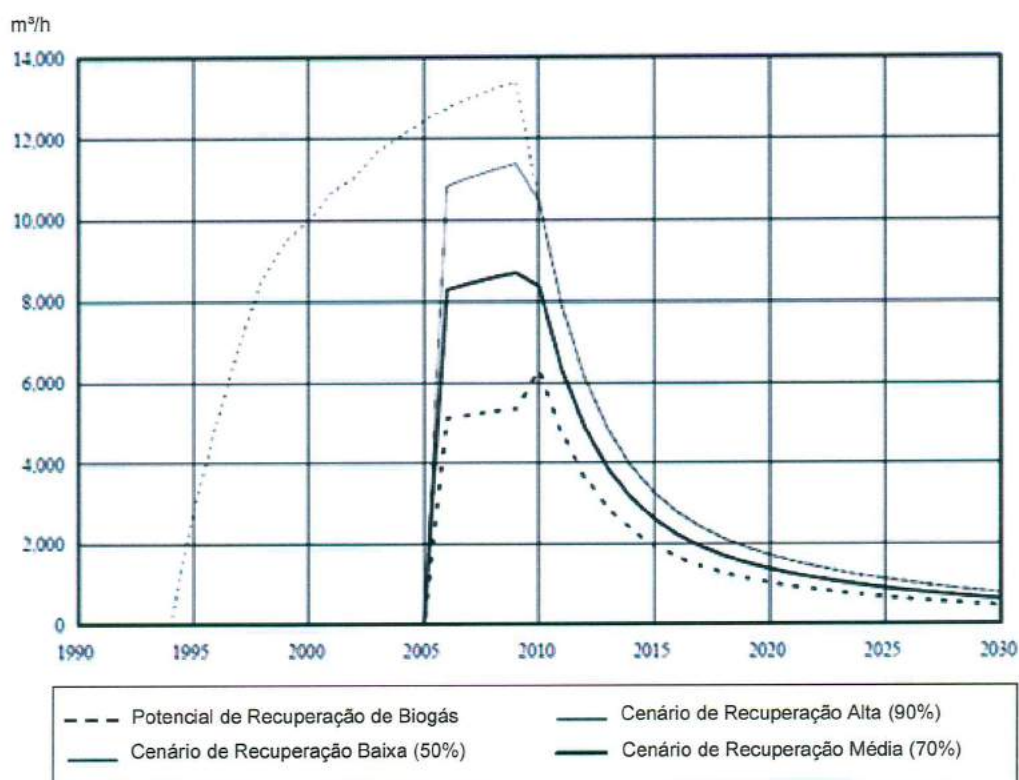


Figura 14: Projeção de recuperação do gás de lixo no aterro de Muribeca – PE
Fonte: World Bank, 2009

Fazendo o estudo de viabilidade econômica, o projeto foi analisado em múltiplos cenários, incluindo a duração do projeto (até 2012 ou 2019), percentual de investimento inicial (25 ou 100%) e valores dos CERs (\$4, 5, ou 6/ton. de CO₂eq.). O valor de venda da energia utilizado foi de \$0,029/kWh.

Os resultados demonstrando a viabilidade econômica do aterro sanitário de Muribeca em todas as análises de sensibilidade realizadas estão presentes no Quadro 52.

Quadro 52: Análise Econômica do aterro de Muribeca - PE

	Período do projeto	Preço CER (US\$ / ton.)	Investimento próprio Inicial (%)	Valor Presente Líquido (x 1.000 \$)	Taxa Interna de Retorno (%)
Cenários	2005 -2012	5	100	\$1.268	11.5%
	2005 -2012	5	25	\$959	15.8%
	2005 -2019	5	100	\$3.415	15.3%
	2005 -2019	5	25	\$3.113	28.0%

Fonte: World Bank, 2009

De acordo com os resultados da análise econômica, o aterro de Muribeca é viável. No entanto, com o período do projeto de 2005 a 2019 o mesmo tem uma viabilidade maior em relação ao período mais curto (2005 a 2012).

ANEXO II – FLUXO DE CAIXA

EVTE ATERRO DE GRAMACHO

		Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) de Aterro Sanitário																						
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024			
Capacidade Bruta da Usina (MW)																								
Capacidade de Rende da Usina (MW)																								
Fator de Capacidade da Usina (90%)	90%																							
Horas de Operação da Usina (8000h)																								
Verbas de Energia fora do Local (MW-Hrs)	0.065																							
Verbas de Energia fora do Local (MW-Hrs)																								
Recitas de Energia fora do local																								
Taxa de Recuperação de Biogás (m³/m³)	67,1																							
Atenuação de Gás (m³/ano)	0,0778																							
Atenuação de Emissões de Metano (kg/ano)	125,06																							
CEFs para Redução de Metano (ton CO ₂ eq/ano)	2626,16																							
Taxas de Venda de CER (Shanelada CO ₂ eq)	0																							
Recitas de CER das Reduções de Metano (São)																								
CEFs da Desconto de Energia (ton CO ₂ eq/ano)																								
Taxas de deslocamento de Energia (São)																								
RECEITA BRUTA																								
LFG Rescussão (MWh/ano)	7.373,1	7.510,5	7.563,4	7.685,0	7.761,0	3.501.780,4	3.004.981,8	2.564.469,2	2.188.532,2	1.867.707,1	1.593.912,2	1.360.254,1	1.160.646,9	990.676,3	845.448,1	721.510,4	615.741,2	525.477,2	448.445,3	382.705,0				
Contribuição de Equidade para o Cuidado Capital	15.514.880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Preço de Compra de Biogás (€/MWh)	0,078	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	
Preços para a Compra de Biogás (€)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Taxa de O&M da Usina de Energia (€/MWh)	0,0180	0,0185	0,0191	0,0197	0,0203	0,0209	0,0215	0,0221	0,0228	0,0235	0,0242	0,0249	0,0257	0,0265	0,0273	0,0281	0,0289	0,0298	0,0306	0,0316	0,0316	0,0316	0,0316	
Custo Anual de O&M da Usina de Energia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Custo Anual do Set. de Cuidado e de Controle da Usina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Registro, Monitorização & Verificação Anual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Serviço Anual de Dívida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Pagamentos a Comunidade	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Impostos sobre a receita Bruta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ICMS (0%)	0,0065																							
IR (0,6%) - cumulativo	0,0300																							
COFINS (3,0%) - cumulativo																								
CUSTOS TOTAIS ANUAIS		15.514.880	0	0	0	0	600.000	2.503.380	4.397.767	4.511.524	4.633.947	4.764.783	4.903.836	5.050.997	5.215.422	5.392.163	5.584.406	5.792.081	6.015.209	6.254.898	6.511.117	6.784.898	7.074.266	
FLUXO (receita bruta - custos - impostos)		(15.514.880)				20.603.478	15.891.455	18.347.636	16.133.952	14.250.588	12.649.038	11.287.514	10.131.897	9.168.486	8.391.486	7.711.343	7.121.550	6.611.303	6.161.103	5.761.103	5.401.103	5.081.103	4.791.103	
Importo de Renda = 25% (IC, 2005)																								
Contribuições social sobre o lucro líquido (P&L sobre LAIR)																								
Fluxo final		(15.514.880)				13.598.296	10.346.360	12.109.440	10.648.408	9.405.388	8.348.395	7.450.023	6.687.052	6.047.052	5.521.052	5.091.052	4.741.052	4.441.052	4.181.052	3.951.052	3.751.052	3.581.052	3.441.052	