

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM DIREITO AMBIENTAL E POLÍTICAS PÚBLICAS

CELSO COSTA LIMA VERDE LEAL

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA, JURÍDICA E AMBIENTAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA UNIDADE DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU DE MACAPÁ

> MACAPÁ-AP 2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM DIREITO AMBIENTAL E POLÍTICAS PÚBLICAS

CELSO COSTA LIMA VERDE LEAL

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA, JURÍDICA E AMBIENTAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA UNIDADE DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU DE MACAPÁ

CELSO COSTA LIMA VERDE LEAL

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA, JURÍDICA E AMBIENTAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA UNIDADE DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU DE MACAPÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Direito Ambiental e Políticas Públicas, da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Direito Ambiental e Políticas Públicas.

Orientador: Prof. Dr. Alaan Ubaiara Brito.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá

L 433a Leal, Celso Costa Lima Verde Leal

Análise da viabilidade técnico-econômica, jurídica e ambiental de geração de energia elétrica pela unidade de disposição final de RSU de Macapá / Celso Costa Lima Verde Leal; orientador Alaan Ubaiara Brito. Macapá, 2012.

179 Fls.

Dissertação (mestrado) - Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação Mestrado em Direito Ambiental e Políticas Públicas.

1. Unidade de Disposição final de RSU de Macapá. 2. Geração de energia elétrica. 3. Viabilidade técnico-econômica, jurídica e ambiental. 4. Biogás – alternativas. 5. Biogás - aterro sanitários I. Brito, Alaan Ubaiara, II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDU: 628.4

FOLHA DE APROVAÇÃO

CELSO COSTA LIMA VERDE LEAL

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA, JURÍDICA E AMBIENTAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA UNIDADE DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU DE MACAPÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Direito Ambiental e Políticas Públicas da Universidade Federal do Amapá.

Data de Aprovação
/2012
BANCA EXAMINADORA
Prof. Dr. Alaan Ubaiara Brito Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

AGRADECIMENTOS

Dedico

À minha mãe, Norma Beatriz, e ao meu pai, Celso Lima Verde, pela minha criação e por terem me proporcionado a educação que me fez chegar aqui. Ao meu padrasto, Jesus, e Belisa, minha madrasta, pela grande contribuição que deram em minha vida. Aos meus irmãos, Marcus, Virgínia e Nayde, pela ajuda e atenção que sempre recebi. Ao meu tio Reginaldo, pela amizade e ajuda que recebi desde o dia que pensei em fazer mestrado. Finalmente, à minha esposa, Cláudia Portela, pela paciência, apoio, compreensão e companheirismo.

RESUMO

O presente trabalho se refere ao estudo de caso, onde se analisou a viabilidade técnicoeconômica, jurídica e ambiental da instalação de um projeto para geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos urbanos na unidade de disposição final de Macapá. Diante da realidade energética de Macapá, onde parte da energia elétrica é gerada por meio da UHE Coaracy Nunes e o restante por meio das usinas termoelétricas UTE Santana, unidades geradoras contratadas de produtores independentes, que, além de poluentes, possuem alto custo operacional em relação às hidroelétricas, somado ao fato de o Estado do Amapá ainda não se encontrar conectado ao Sistema Interligado Nacional, o aproveitamento energético do biogás poderia ser uma alternativa financeiramente viável para diversificar a matriz energética do Estado. A isso se soma as vantagens ambientais, desde o melhor trato dos resíduos sólidos, até a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, com a queima do metano constante do biogás, o que permitiria o enquadramento do projeto como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, resultando em receita para o projeto com a venda de créditos de carbono. Para constatação da viabilidade jurídica, foi feita uma análise de toda a legislação referente à geração de energia elétrica e das normas internacionais relativas ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Para a análise técnico-econômica, buscou-se estimar o custo de instalação e operação de uma unidade de geração de energia elétrica condizente com estimativa de geração de biogás pela unidade de disposição final de resíduos sólidos de Macapá. Com esses dados foi possível também identificar a viabilidade ambiental do projeto. Ao final, foi possível calcular eventual preço de geração da energia elétrica pelo projeto, comparando com outras fontes de geração.

Palavras-Chave: Energia Elétrica, Custo de Geração, Biogás, Créditos de Carbono.

ABSTRACT

This paper refers to the case study, which examined the technical and economic feasibility, legal and environmental installation of a project to generate electricity from biogas from the anaerobic decomposition of municipal solid waste disposal unit in Macapa. Given the energetic reality of Macapa, where the electricity is generated by hydroelectric Coaracy Nunes and the rest through the UTE Santana fired power plants, generating units contracted independent producers, which in addition to pollutants, have high operating costs in relation to power plants, coupled with the fact that the state of Amapá is not yet connected to the National Interconnected System, the energy used of biogas could be a financially viable alternative to diversify the energy matrix of the state. Add to this the environmental benefits, from better treatment of solid waste, to reduce emissions of greenhouse gases, with the burning of methane contained in biogas, which would allow the framing of the project as a Clean Development Mechanism, resulting in revenue for the project by selling carbon credits. For verification of the legal feasibility, an analysis of all legislation relating to electric power generation and international standards relating to the Clean Development Mechanism. For the techno-economic analysis, we attempted to estimate the cost of installation and operation of a unit of electric power generation consistent with an estimate of biogas generation unit for disposal of solid waste from Macapa. With these data could also identify the environmental feasibility of the project. At the end, it was possible to calculate the price of generating electricity by the project compared to other generation sources.

Keywords: Electric Power Generation Cost, Biogas, Carbon Credits.

LISTA DE GRÁFICOS

Capitulo 1:
Gráfico 1: Destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados no Brasil29
Gráfico 2: Destinação final dos RSU (t/dia)
Gráfico 3: Destinação final de RSU na Região Norte
Capítulo 3
Gráfico 1: Espécies de resíduos sólidos depositados no aterro controlado
de Macapá129
Gráfico 2: Estimativa de vazão e captação do biogás em um cenário otimista135
Gráfico 3: Estimativa de vazão e captação do biogás em um cenário realista135
Gráfico 4: Estimativa de vazão e captação do biogás em um cenário
pessimista
Gráfico 5: Estimativa de potência em um cenário otimista
Gráfico 6: Estimativa de potência em um cenário realista
Gráfico 7: Estimativa de potência em um cenário pessimista
Gráfico 8: Custo de geração de energia elétrica
Gráfico 9: Comparativa entre custo de geração do projeto com outras fontes de
geração155
Gráfico 10: Comparativo entre custo de geração do projeto de MDL, incorporando custo
do aterro, com outras fontes de geração
Gráfico 11: Comparativa entre Custo de Geração do Projeto sem MDL e sem Incorporar
O Custo do Aterro156

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação de um aterro sanitário
Figura 2: Seção Transversal de um sistema de extração e utilização de biogás de
aterro sanitário
Figura 3: Modelo de gerador com utilização de microturbina
Foto 1: Flare Enclausurado
LISTA DE MAPAS e FOTOS
Capítulo 2:
Mapa 1: Sistema Interligado Nacional
Mapa 2: Mapa Eletrogeográfico dos Empreendimentos e Concessionárias Responsáveis119
Capítulo 3:
Mapa 1: Imagem de satélite destacando a área do lixão e a cidade de Macapá-AP122
Mapa 2: Imagem de satélite destacando a área do lixão e a cidade de Macapá-AP123
Foto 1: Queima dos resíduos domiciliares, que são lançados nas encostas das ravinas124
Figura 1: Frente de trabalho no aterro controlado de Macapá
Foto 2: Operação de espalhamento e compactação dos Resíduos
Foto 3: Célula de depósito de resíduos hospitalares
Figura 2: Destinos dos resíduos sólidos no aterro controlado de Macapá127
Foto 4: Caminhão utilizado na coleta do lixo em Macapá
Foto 5: Queimado de biogás utilizado no aterro de Macaná 128

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1:
Tabela 1: Quantidade de municípios por tipo de destinação final de RSU30
Tabela 2: Composição do biogás de aterro
Tabela 3: Principais Gases de Efeito Estufa, origens e potencial de aquecimento global46
Tabela 4: Eficiência do sistema de controle (η cont.)
Capítulo 2:
Tabela 1: Valores de referências dos gases do efeito estufa
Tabela 2: Detalhes dos empreendimentos e concessionárias responsáveis118
Capítulo 3:
Tabela 1: Composição gravimétrica do lixo doméstico de Macapá
Tabela 2: Quantidade de lixo depositado no aterro controlado de Macapá130
Tabela 3: Variações de K e L ₀
Tabela 4: Estimativa da quantidade de lixo ao longo da vida útil do aterro sanitário de
Macapá
Tabela 5: Resultados da estimativa de capacidade de geração de energia elétrica pelo
aterro de Macapá para cenários otimista, realista e pessimista139
Tabela 6: Relação entre potência da usina, quantidade de energia produzida e custo de
manutenção anual141
Tabela 7: Relação de potência da usina e quantidade de biogás para mantê-la
em pleno funcionamento

Tabela 8: Custo de Operação do Aterro de Macapá anual com dólar cotado a $R\$\ 2,\!00...143$

Tabela 9: Relação entre energia gerada por ano e potência da usina14	1 6
Tabela 10: Investimentos iniciais variáveis no Ambiente 1	47
Tabela 11: Custos anual variáveis no Ambiente 1	57
Tabela 12: Custos fixos no Ambiente 1	1 8
Tabela 13: Resultados do custo da energia no Ambiente A em US\$	18
Tabela 14: Investimentos iniciais variáveis no Ambiente 2	49
Tabela 15: Custos anual variáveis no Ambiente 2	1 9
Tabela 16: Custos fixos no Ambiente 2	1 9
Tabela 17: Resultados do custo da energia no Ambiente 2 em US\$14	49
Tabela 18: Investimentos iniciais variáveis no Ambiente 3	50
Tabela 19: Custos anual variá veis no Ambiente 31	50
Tabela 20: Custos fixos no Ambiente 3	50
Tabela 21: Resultados do custo da energia no Ambiente 3 em US\$.51
Tabela 22: Resultados dos três cenários para um projeto de MDL sem incorporação	
de custos do aterro1	52
Tabela 23: Resultados dos Três Cenários para um Projeto de MDL com	
Incorporação de Custos do Aterro	53
Tabela 24: Resultados dos Três Cenários para um Projeto sem Receitas	
e Despesas de MDL sem Incorporação de Custos do Aterro 1	54
Tabela 25: Quantidade de emissões de GEE evitadas pelo Proieto	57

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE: Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CCEE: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

ACR: Ambiente de Contratação Regulada

ADB: Assian Development Bank Climate Chance

AND: Autoridade Nacional Designada

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

AP: Autoprodutor

BM&F: Bolsa de Mercadorias e Futuros

BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CCD: Contrato de Conexão às Instalações de Distribuição

CCEI: Contrato de Compra de Energia Incentivada

CCT: Contrato de Conexão às Instalações de Transmissão

CCVA: Custo do Ciclo de Vida Anualizado do sistema (VPLa)

CCX: Chicago Climate Exchange

CE: Custo da Energia Elétrica

CEA: Companhia de Energia do Amapá

CEBDS: Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

CDP: Documento de Concepção do Projeto

CF: Constituição Federal

CH₄: Metano

CIMGC: Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima

CITL: Registro de Carbono da Comunidade Europeia

CM_{CO2}: Emissões Controladas de CO₂ (m³/ano)

CNPJ: Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica

CO₂: Dióxido de Carbono

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

Ct: Custos

CUSD: Contrato de Uso do Sistema de Distribuição

CUST: Contrato de Uso do Sistema de Transmissão

Ec: Energia elétrica consumida no período de um ano ($\Delta t = 8.760 \text{ h}$).

EIA: Estudo de Impacto Ambiental

EOD: Entidade Operacional Designada

EOP: Executive Office of President

ERPA: Contrato e Venda de Compra de Reduções de Emissões

ETS: European Trading Scheme

EUA: Estados Unidos da América

GEE: Gases de Efeito Estufa

Gt C/ano: Gigatonelada de Carbono por Ano

H₂O: Água

H₂S: Ácido Sulfídrico

i: Taxa de Desconto

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

Ii: Investimento Inicial

ITL: International Transaction Log

ICLEI: Governos Locais pela Sustentabilidade

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

k: Taxa de Geração de Metano

kW: kilowatt

kV: quilovolt

LI: Licença de Instalação

LO: Licença de Operação

LP: Licença Prévia

L_{0:} Potencial de Geração de Metano

MBRE: Mercado Brasileiro de Redução de Emissões

MMBtu: Milhões de toneladas métricas unidades térmicas britânicas

MCSD: Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits

MCT: Ministério da Ciência e Tecnologia

MDC: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

m_i: Massa de Resíduos que Ingressa no Aterro Anualmente

MW: Megawatt

n: Número Máximo de Períodos

NEFCO: Nordic Environment Investment Corp

ONG's: Organizações não Governamentais

ONU: Organização das Nações Unidas

PIE: Produtor Independente

PLD: Preço de Mercado

PNMA: Política Nacional de Meio Ambiente

PNMC: Política Nacional de Mudança do Clima

PNRS: Política Nacional de Resíduos Sólidos

ppmv: Partes por Milhão

PROINFA: Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

Q_{(CH4)i}: Metano produzido no Ano "i" a partir da Seção "i" do Resíduo, (m³/ano)

Q_{CO2}: Emissões não Controladas de CO₂ (m³/ano)

r: Rotação ou Vida do Projeto

RCE: Reduções Certificadas de Emissões

Ri: Receitas

RIMA: Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

RIT: Registrations and Issuance Team

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

SAC: Sistema de Amortização Constante

SEMA: Secretaria de Estado do Meio Ambiente

SIN: Sistema Interligado Nacional

t: Tempo de Atividade do Aterro e/ou Após o Fechamento

t: Tempo (período onde os custos e receitas ocorrem)

TAC: Termo de Ajustamento de Conduta

t_i: Anos após o fechamento

tC: Tonelada de Carbono

TIR: Taxa Interna de Retorno

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

USEPA: United States Environmental Protection Agency

USP: Universidade de São Paulo

Wh/ano: Watts hora por ano.

VER: Verified Emission Reduction

Vf: Saldo entre Receita e Despesa no ano final

Vi: Saldo entre Receita e Despesa no ano inicial

VPL: Valor Presente Líquido

VPLa: Valor Presente Líquido Anualizado

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	26
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
1.1 Disposição Final de Resíduos Sólidos	29
1.1.1 Lixão ou lixeira pública	31
1.1.2 Aterro controlado	31
1.1.3 Aterro sanitário	32
1.1.4 Disposição final de RSU e danos causados pelo biogás não aproveitado	33
1.2 Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás de RSU	34
1.2.1 Formação do biogás em aterros	34
1.2.2 Composição do biogás de aterros	36
1.2.3 Extração do biogás	37
1.2.3.1 Tubos de Coleta	38
1.2.3.2 Compressor	39
1.2.4 Tratamento do biogás	39
1.2.5 Aproveitamento energético do biogás	39
1.2.5.1 Ciclo Rankine	40
1.2.5.2 Microturbina	40
1.2.5.3 Motor Ciclo Otto	41
1.3 Efeito Estufa e o Protocolo de Quioto	42
1.3.1 Aquecimento global e mudanças climáticas	42
1.3.1.1 O modelo de consumo e o meio ambiente	42
1.3.1.2 Estudos iniciais	43

1.3.1.3	3 Os impactos do aquecimento global	44
1.3.2	Aquecimento global e o aumento nas emissões dos gases do efeito estufa	45
1.3.2.1	O dióxido de carbono e o efeito estufa	46
1.3.2.2	? O Metano e o efeito estufa	48
1.3.3	Protocolo de Quioto	48
1.3.3.1	Elaboração	49
1.3.3.2	? Ratificação do protocolo	50
1.3.3.3	Objetivos do Protocolo de Quioto	50
1.3.3.4	4 Mecanismos de Redução	51
1.3.3.5	Críticas ao protocolo	52
1.4 N	Iodelos de Estimativa de Produção de Biogás	53
1.4.1	Banco mundial	53
1.4.2	USEPA – United States Environmental Protection Agency	54
1.4.3	IPCC	56
1.5 N	létodos de Análise Econômica	57
1.5.1	Payback - Período de recuperação do investimento	57
1.5.2	Taxa Interna de Retorno	58
1.5.3	Valor Presente Líquido	59
1.5.4	Valor Presente Líquido Anualizado	60
1.5.5	Custo da Energia Elétrica	60
1.5.6	Métodos Utilizados na Pesquisa	61
1.6 F	inanciamento do Empreendimento	62
1.6.1	Financiamento tradicional.	62
1.6.2	Financiamento de "carbono"	62

1.6.3	Financiamento por meio de capital de terceiros (concessão tradicional)	63
1.6.4	Financiamento por meio de parceria público-privada (concessão
patroci	inada)63	
1.6.5	Modelos tradicionais subsidiados	63
2 O	MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO E O REGRAMENT	O'
LI	EGAL	65
2.1	Mercado de Carbono	65
2.1.1	Lógica do mercado de carbono	66
2.1.2	Surgimento	67
2.1.3	Credito de carbono e carbono equivalente	67
2.1.4	Mercado obrigatório de carbono	69
2.1.5	Mercado voluntário de carbono	69
2.1.6	O Mercado de <i>commodities</i> de carbono	70
2.1.7	Vantagens do mercado de carbono	71
2.1.8	Mercado de carbono no Brasil	72
2.2 M	Aecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL	74
2.2.1	Elegibilidade para participação	77
2.2.2	Adicionalidade e linha base	78
2.2.3	Modalidades de projetos de MDL	80
2.2.3.1	l Redução de emissões	80
2.2.3.2	2 Emissões evitadas	81
2.2.3.3	Resgate de carbono	81
2.2.4	Sistemas de registros.	82
2.2.4.1	l Registro do MDL	82

2.2.4.2	Registros nacionais	82
2.2.4.3	International Transaction Log – ITL	83
2.2.5 F	Procedimento para elaboração e aprovação de MDL	83
2.2.5.1	Exigências Básicas para Projetos de MDL	84
2.2.5.2	Documento de Concepção do Projeto (DCP)	84
2.2.5.3	Validação do projeto	86
2.2.5.4	Registro do projeto	86
2.2.5.5	Monitoramento do projeto	87
2.2.5.6	Certificação e Emissão das Unidades de Redução	87
2.2.5.7	Emissão das Reduções Certificadas de Emissões (RCEs)	88
2.2.6 M	DL na geração de energia elétrico por meio do biogás de aterros san	itários88
2.3 Asp	pectos Jurídicos de um Projeto de MDL para Geração de Energi	a
Ele	étrica a Partir de Biogás	89
2.3.1 Pri	ncípios ambientais relacionados	89
2.3.1.1	Precaução e prevenção	90
2.3.1.2	Responsabilidade comum mas diferenciada	91
2.3.1.3	Poluidor pagador	92
2.3.1.4	Desenvolvimento sustentável	93
2.3.1.5	Equidade intergeracional	93
2.3.2 Re	egime jurídico do biogás e seu aproveitamento	95
2.3.3 A _I	proveitamento energético do biogás e a política nacional de resíduos	sólidos97
2.3.4 Li	cenciamento ambiental e necessidade de EIA e RIMA	99

2.3.6 Cadeia produtiva da energia elétrica	10\
2.3.6.1 Atividade de geração	101
2.3.6.2 Atividade de Transmissão	102
2.3.6.3 Atividade de Distribuição	102
2.3.7 Formas de exploração	102
2.3.7.1 Autoprodutor	103
2.3.7.2 Produtor independente	104
2.3.8 Uso do Sistema de Transmissão	105
2.3.9 Comercialização da Energia Elétrica Produzida	105
2.3.9.1 Ambiente de Contratação Regulada	106
2.3.9.1.1 Aquisição pelo Consumidor Cativo	107
2.3.9.1.2 Aquisição pela Concessionária Local	108
2.3.9.2 Ambiente de Contratação Livre	110
2.3.9.2.1 Consumidores Livres	111
2.3.9.2.2 Consumidores Especiais	111
2.3.10 Mercado de Curto Prazo – Energia de Reserva	113
2.3.11 Câmara de Comercialização de Energia Elétrica e o Comércio de	
Energia Elétrica	115
2.3.12 Sistema Interligado Nacional – SIN	116
2.3.13 Sistemas Isolados e o Estado do Amapá	117
2.3.14 Possíveis Destinos da Energia do Aterro Controlado de Macapá	120
2.3.14.1 Consumo Próprio	120
2.3.14.2 Venda para Comercializadores de Energia	120
2.3.14.3 Venda a Consumidores Livres	120

2.3.14.4 Venda a Consumidores Especiais	121
2.3.14.5 Venda em Leilões do Ambiente de Contratação Regulada	121
2.3.14.6 Venda em Leilões do Ambiente de Contratação Livre	121
3 DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MAC	APÁ E ANÁLISE
ECONÔMICA DO EMPREENDIMENTO	122
3.1 Aterro Controlado de Macapá	122
3.1.1 Histórico	122
3.1.2 Situação atual	125
3.1.3 Característica e quantidade do lixo	129
3.2 Estimativa de Produção de Biogás Pelo Aterro de Macapá	130
3.2.1 Biogás geração e uso energético	130
3.2.2 Dados utilizados para estimativas	132
3.2.2.1 Constante de decaimento (k)	132
3.2.2.2 Potencial de Geração de Biogás (L _o)	133
3.2.2.3 Fluxo de Resíduos (Rx)	133
3.2.3 Estimativa de geração de biogás no aterro – resultados	134
3.2.4 Estimativa de índice de potência disponível	136
3.2.5. Estimativa de potência elétrica	138
3.3 Definição dos Dados para Análise do Custo da Energia Ger	ada pelo Aterro
de Macapá	139
3.3.1 Investimento inicial na usina de geração e sistema de captação	ão e tratamento140
3.3.2 Custo de manutenção e operação	141
3.3.2.1 Custo de manutenção e operação da usina de energia el	étrica141
3.3.2.2 Custo de manutenção e operação do sistema de coleta e	controle do biogás 142

3.3.2.3	3 Custo de registro, monitoração e verificação142
3.3.2.4	4 Depreciação
3.3.2.5	5 Taxa de compra do biogás142
3.3.2.5	5 <i>Tributos</i>
3.3.2.0	Custo de manutenção do aterro não relacionado com a geração de energia
	elétrica143
3.3.3	Créditos de carbono
3.3.4	Valor presente líquido
3.3.5	Valor presente líquido anualizado
3.3.6	Valor da energia elétrica
3.4 C	enários para Cálculo do Valor da Energia Elétrica144
3.4.1	Ambiente 1 – usina de geração de 1 MW
3.4.2	Ambiente 2 – usina de geração de 2 MW
3.4.3	Ambiente 3 – usina de geração de 3 MW
3.4.4	Análise dos resultados
3.5 E	missões de Ch ₄ Evitadas157
4 C	ONSIDERAÇÕES FINAIS
BI	BLIOGRAFIA164

INTRODUÇÃO

A tendência de aumento da demanda por energia elétrica é mais um paradigma econômico e ambiental global. Em contrapartida, a dependência energética de poucas fontes de energia elétrica pode trazer graves riscos aos usuários. Um exemplo contundente é o que ocorreu durante a crise energética de 2001, resultante de baixos índices pluviométricos que afetou significativamente o sistema hidrelétrico brasileiro. A razão do problema foi o irregular funcionamento das hidroelétricas, forçando a população brasileira a conviver com meses de racionamento (SILVEIRA e GUERRA, 2001).

Por essa razão o desenvolvimento de novas tecnologias e o aproveitamento de fontes alternativas é uma necessidade estratégica de vários países.

Entretanto, a busca por fontes alternativas de energia sempre esbarrou no custo dessas fontes. Apesar disso, especificamente no Brasil, a crise energética de 2001 deu novo impulso ao aproveitamento de novas fontes, dentre as quais o aproveitamento do biogás decorrente da decomposição anaeróbica de lixo orgânico das unidades de disposição final de RSU. O uso dessa tecnologia, além de trazer benefícios ambientais, permite a destinação adequada ao RSU, apresentando vantagens financeiras relativamente valiosas, sobretudo se enquadrada como um projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) criado na Conferência de Quioto (MCT, 2009).

O MDL consiste em uma alternativa para diminuição do custo de implantação e manutenção de fontes limpas, sobretudo para aproveitamento do biogás de unidades de disposição final de RSU. Isso decorre do fato de que o biogás resultante do processo de decomposição anaeróbica do lixo contém quantidades variáveis de CO₂, CH₄, H₂O, H₂S e mercaptanos, sendo o metano (CH₄) o mais importante, por apresentar potencial combustível e causar danos de efeito estufa na proporção de 21:1 em relação ao CO₂ (VANZIN, 2006). Portanto, a emissão de uma tonelada de metano equivale a 21 toneladas de carbono, Ou seja, 21 toneladas de carbono equivalente é a utilizada no cálculo das emissões de GEEs. Por esse motivo a utilização do CH₄ como combustível reduz em 21 vezes os efeitos negativos, pois o CO₂ é um gás bem menos prejudicial ao efeito estufa. A diferença entre a quantidade de emissões de carbono equivalente resultante da liberação direta do metano para a atmosfera e gases resultantes das emissões de carbono após a queima do CH₄ que resulta em Créditos Equivalentes de Carbono (CEC). O produto financeiro final são os Créditos de Carbono, que

após certificados, podem ser negociados e potencialmente produzindo receitas adicionais para o empreendimento (VANZIN, 2006).

A geração de biogás nas unidades de disposição final de RSU no Brasil é significativa, sendo estimada em 677 Gb sob uma densidade de 0,716 kg/m³. Estes valores representam 945 milhões de metros cúbicos por ano (VANZIN, 2006). Uma das grandes vantagens apontadas por Leite, Mahler e Brito Filho (2005) é a possibilidade de utilização de receitas oriundas do biogás do lixo para desenvolver a atividade de construção de aterros sanitários e recuperação de lixões e aterros controlados no país. Contudo, o uso dessa tecnologia é algo ainda raro no Brasil, apesar de favorecer os meios para a melhoria da saúde humana e a qualidade geral do meio ambiente.

Em nível mundial, projetos de aproveitamento do biogás são utilizados para a geração de energia elétrica. Por exemplo, a crise do petróleo em 1973 desencadeou diversas pesquisas na América do Norte, Suíça, Alemanha e Grécia sendo que, apenas nos Estados Unidos, foram instaladas mais de sessenta unidades, com fundos do governo americano e de empresas privadas ligadas ao uso do gás ou à exploração de recursos energéticos alternativos, entre eles os aterros de Monterey Park (112.000 m³/ dia de (CH₄), de San Fernando (100.000 m³/ dia) e de Liosia – Atenas – Grécia (192.000 m³/ dia) (VANZIN, 2006).

No Brasil diversos projetos já foram implantados, como no Aterro do Caju, no Rio de Janeiro, financiado pela FINEP e desenvolvido pela COMLURB e pela CEG – Companhia Estadual do Gás, do Rio de Janeiro (LEITE, MAHLER e BRITO FILHO, 2005). Um projeto como esse poderia ser valioso para o Estado do Amapá, por que ainda não se encontra conectado ao Sistema Interligado Nacional, o que colaboraria tanto para atender a uma demanda de energia, contribuindo com a geração hidrelétrica de Coaracy Nunes, quanto minimizando a pressão de demanda por combustíveis fósseis das atuais usinas termoelétricas UTE de Santana, essas unidades geradoras contratadas pela CEA, além de poluentes, possuem alto custo operacional em relação às hidroelétricas. Tais desvantagens tornam ainda mais imprescindível a diversificação de fontes energéticas (ELETRONORTE, 2006).

As vantagens de implementação de um projeto como esse são inúmeras. Em termos energéticos o uso de resíduos orgânicos apresenta menor custo relativo de geração além de melhorar as condições sanitárias do município (PIEROBON, 2007). Do ponto de vista ambiental os benefícios são considerados como uma alternativa adequada para disposição de resíduos sólidos e uma forma inteligente de mitigar o efeito e emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs).

Soma-se a isso a precária realidade do trato dos resíduos sólidos, outro problema nacional Abrelpe (2010). A produção de energia elétrica a partir do biogás proveniente da decomposição anaeróbica dos resíduos orgânicos, apesar de não ser uma solução definitiva para ambos, certamente irá amenizá-los.

No Estado do Amapá, a melhor opção de instalação de um projeto de aproveitamento energético seria no município de Macapá, que assim como a maioria das cidades brasileiras, dava destinação inadequada aos seus resíduos sólidos (FUNASA, 2006). Inicialmente, os RSU eram lançados na "lixeira pública de Macapá", localizada a aproximadamente 200 metros da margem esquerda da BR-156, sentido Macapá-Oiapoque, no KM 14, distante 3,5 km do rio Matapi (oeste) e a 13 km do Aeroporto Internacional de Macapá (sul). A área útil era de 104 ha onde não recebiam qualquer tratamento, o que inevitavelmente contaminava o solo e a água. Após longas negociações, foi firmado o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre o Ministério Público do Estado do Amapá e os municípios de Macapá. O objetivo era a adequação do manejo dos RSU em valas sépticas, tendo início o processo de transformação do lixão em aterro controlado nos termos do procedimento de licenciamento ambiental.

Atualmente, as características operacionais do aterro de Macapá têm evitado a contaminação do solo, água e ar próximos a sua vizinhança. Sua exploração teve início em 2007, quando já havia 653.214 t de resíduos, incluindo o entulho não orgânico, proveniente da lixeira pública de Macapá. Seu gerenciamento foi concedido pela Prefeitura Municipal de Macapá à concessionária Rumos Engenharia Ambiental Ltda., com exclusividade operacional e para implantação do aterro sanitário de Macapá, nos termos do Contrato nº 015/2008-PMM firmado em 2008, com período de vigência de 20 anos. Há uma alternativa de prorrogação de mais cinco anos. Sua capacidade máxima é de aproximadamente 465 mil t de resíduos, com previsão de fechamento do aterro para 2012, quando terá início a exploração da segunda célula, enquadrada como aterro sanitário. Esta última deverá operar até 2027, com possibilidade de prorrogação de mais cinco anos, conforme informações prestadas pela administradora do aterro (MPF, 2011).

Com efeito, antes da implementação de um projeto, é necessário estimar custos de geração da energia elétrica da unidade de disposição final de RSU. No presente estudo, na cidade de Macapá, torna-se útil compará-la com outras formas de geração renovável, considerando o atual custo de geração do sistema isolado do Amapá.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Disposição Final de Resíduos Sólidos

O Brasil, assim como grande parte do mundo, ainda possuiu muita dificuldade com o trato dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Os lixões e vazadouros irregulares ainda são uma triste e constante realidade na maior porte dos municípios brasileiros. Leite, Mahler e Brito Filho (2005) destacam que, apesar do atendimento e cobertura do setor de resíduos sólidos alcançar no Brasil cerca de 75% dos municípios, o lixo é disposto de forma inadequada, a céu aberto, causando contaminação das águas de superfície ou subterrânea, do solo e da atmosfera, em 80% dos municípios.

Os prejuízos decorrentes dessas irregularidades são muitos, como poluição da água por chorume, os problemas de odores, o risco de explosão e de combustão, o risco de asfixia, danos na vegetação, além das emissões de gases de efeito estufa, sendo todos esses problemas de caráter local, exceto o gás de efeito estufa emissão, que tem um efeito global (POPOV, 2004).

Segundo a Associação Brasileira de Limpeza Pública - Abrelpe (2010), ainda que tenha ocorrido um constante crescimento na destinação adequada de resíduos sólidos no Brasil, com melhora em torno de 0,81% entre os anos 2009 e 2010, conforme gráfico 1, grande parte desses rejeitos ainda são armazenados de forma inadequada.

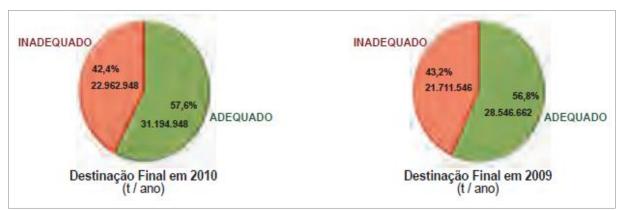


Gráfico 1- Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) Coletados no Brasil Fonte: (ABRELPE, 2010).

Diversas soluções já foram buscadas, tais como, implantação de usinas de reciclagem e de incineração, mas a maior parte desses projetos esbarrou no alto custo de instalação e

manutenção, sem falar na dificuldade operacional, o que impede grande parte das prefeituras de desenvolverem esses sistemas. Essa realidade tem como consequência que considerável quantidade de resíduos sólidos ainda não recebe um destino adequado, conforme gráfico 2.



Gráfico 2- Destinação Final dos RSU (t/dia)

Fonte: (ABRELPE, 2010).

Essa situação é bem mais alarmante se considerada apenas em relação ao número de municípios, deixando de lado a quantidade de resíduos, conforme é evidenciado pela tabela 1.

QUANTIDADE DE MUNICÍPIOS POR TIPO DE DESTINAÇÃO FINAL DE RSU POR REGIÕES						
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Aterro Sanitário	85	439	150	798	692	2.164
Aterro Controlado	107	500	145	639	369	1.760
Lixão	257	855	171	231	127	1641
Brasil	449	1.794	466	1.668	1.188	5.565

Tabela 1- Quantidade de Municípios por Tipo de Destinação Final de RSU

Fonte: (ABRELPE, 2010).

Especificamente na Região Norte do Brasil, o trado dos resíduos sólidos é bem mais precário do que no resto no país. Ver gráfico 3.

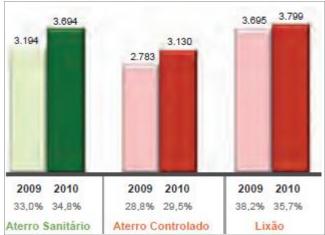


Gráfico 3- Destinação Final de RSU na Região Norte

Fonte: (ABRELPE, 2010).

Para uma melhor compreensão da destinação de RSU, faz-se necessário um breve estudo sobre as três formas básicas de disposição final de resíduos sólidos.

1.1.1 Lixão ou lixeira pública

O lixão ou lixeira pública é a forma mais simples de disposição final dos resíduos sólidos, onde simplesmente ocorre o acúmulo do lixo, sem qualquer tratamento ou separação ambientalmente adequada. Nos lixões, ao contrário do que ocorre nos aterros sanitários e controlados, não há uma cobertura do lixo. Da mesma forma, não há qualquer tratamento dos efluentes líquidos (chorume), fazendo com que penetre no solo e contamine o lençol freático.

Outra decorrência negativa dos lixões consiste na inevitavelmente presença de catadores de lixo, bem como de constantes incêndios (VAZIN, 2006).

Justamente por isso, é a forma que mais causa danos ambientais e sociais, motivo pelo qual, a partir da promulgação da nova Lei de Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Nº 12.305/10, esta forma de disposição final ficou expressamente proibida. A nova PNRS impõe aos órgãos municipais a obrigação de extinção de seus lixões, devendo encerrar suas atividades de uma maneira ambientalmente adequada, ou transformá-los em aterros controlados ou sanitários.

1.1.2 Aterro controlado

Por sua vez, o aterro controlado se encontra num estágio intermediário entre o lixão e o aterro sanitário, ainda que bem mais próximo deste. Em regra, um aterro controlado surge a

partir de um lixão que foi remediado por meio de cobertura do lixo antes exposto. Nele deve haver necessariamente um sistema de cobertura dos resíduos sólidos, sob pena de ser considerado meramente um lixão.

Em regra geral há a captação do chorume que, em muitos casos, é simplesmente levado para cima da pilha de lixo, o que diminui sua absorção pela terra, ainda que não possa ser considerada uma solução adequada.

Ainda que se possa considerar o aterro controlado uma grande evolução em relação ao lixão, do ponto de vista ambiental e de saúde pública, pouco se diferenciam dos lixões, já que não possuem o conjunto de sistemas necessários de proteção à saúde humana e ao meio ambiente (ABRELPE, 2010).

1.1.3 Aterro sanitário

Dentro do contexto da disposição final de RSU, os aterros sanitários têm se mostrado a melhor alternativa aos lixões, por serem instalações que pouco poluem, não exalam maus cheiros, possibilitando ainda seu aproveitamento em outras atividades, como campos de esporte ou parques públicos, ao final das operações (LEITE e MONTEIRO, 2005).

O IPT (1995) o conceitua como "Método que utiliza princípios de engenharia para confinar resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão da jornada de trabalho ou a intervalos menores, se necessário." Por sua vez, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, *apud* Leite (2000), conceitua aterro sanitário da seguinte forma:

Aterro sanitário 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 princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores, se for necessário. (LEITE, 2000).

De forma sintética, o funcionamento de um aterro sanitário pode ser melhor visualizado por meio da figura 1.

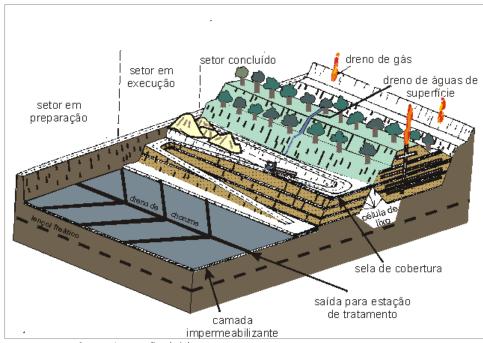


Figura 1- Representação de um Aterro Sanitário Fonte: PROIN/CAPES e UNESP/IGCE, 1999.

Outra grande vantagem do aterro sanitário é a possibilidade de melhor aproveitamento do biogás decorrente da decomposição anaeróbica, diante da existência de drenos, conforme visto acima e apontado por Vazin (2006):

Uma das alternativas de tratamento dos resíduos sólidos são os aterros sanitários, que tem como um dos subprodutos a emissão de gases provenientes da decomposição do material orgânico. Os principais constituintes é o gás dióxido de carbono e o gás metano, sendo este último um combustível possível de ser coletado e utilizado para a geração de energia.

Por tudo o que foi considerado, os aterros sanitários consistem, hoje, na melhor forma de disposição final de RSU, por se tratar da forma mais segura e ambientalmente adequada, além de consistir na melhor forma para fins de aproveitamento do biogás, motivos pelos quais deve sempre ser o objetivo final das municipalidades no trato de seus RSU.

1.1.4 Disposição Final de RSU e Danos Causados pelo Biogás não Aproveitado

A formação do biogás decorre de um processo natural de decomposição de matéria orgânica, sobretudo nos aterros sanitários, onde há grande concentração de resíduos orgânicos. Seu adequado aproveitamento pode trazer benefícios sociais, ambientais e econômicos. Em contrapartida a ausência de gerenciamento do biogás acarreta graves consequências que serão abaixo analisadas.

O primeiro dano destacado consiste na contaminação da atmosfera, contribuindo ainda mais com o efeito estufa, tendo em vista a grande quantidade de metano e dióxido de carbono presentes no biogás.

Além dos danos à atmosfera de forma geral, outros danos podem atingir aqueles que entram em contato com o biogás. Isto porque o biogás também contém quantidades significativas de gases tóxicos, podendo causar irritações nos olhos e vias respiratórias (gás sulfídrico), broncopneumopatias agudas, irritação nas mucosas e conjuntivites (amônia).

Especificamente com relação ao metano, o principal risco envolve a possibilidade de explosões. Já o gás sulfúrico, se mostra nas quantidades encontradas em unidades de disposição final de RSU, capaz de causar danos significativos à saúde humana, o que se recomenda a cobertura da massa de lixo para reter o gás.

1.2 Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás de Rsu

O processo de geração de energia elétrica a partir do biogás decorrente da decomposição anaeróbica de lixo orgânico **é** complexo, **e** se inicia com a coleta do lixo, passando pela sua disposição no aterro, decomposição aeróbica e anaeróbica, formação do biogás, sua extração, tratamento, armazenamento, para finalmente sua utilização em um gerador.

Dessa forma, antes que se possa estimar eventual produção de energia elétrica pelo aterro de Macapá, deve-se fazer uma revisão bibliográfica desse processo.

1.2.1 Formação de biogás em aterros

Robert Boyle foi quem, em 1692, primeiro identificou o biogás, tendo trabalhado nos anos seguintes com pesquisas sobre o assunto. O processo de decomposição da matéria orgânica em aterros sanitários é complexo diante da diversidade de materiais e de suas possíveis interações físico-químicas presentes, tratando-se de processos em que predominantemente resultam na formação de gases.

Refere-se a uma mistura inflamável, que consiste principalmente de CH₄ e CO₂, com pequenas quantidades de umidade, H₂S e compostos orgânicos voláteis (TSAI, 2005).

A formação do biogás em aterros sanitários é devido à degradação microbiana anaeróbia

de resíduos orgânicos, tais como: restos de comida, resíduos de jardim, papel, têxteis, resinas e outros (POPOV, 2004).

Entretanto, para ocorrência desses processos que resultam no biogás é necessário apenas a presença de condições anaeróbicas para decomposição da matéria orgânica, possibilitando sua produção em aterros sanitários ou mesmo em aterros controlados, bastando que ocorram compactação e cobertura do lixo.

Esses ambientes são verdadeiros "biorreatores", como bem explica Vanzin (2006):

Como efeito, um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos pode ser visto como grande biorreator, onde ocorre, naturalmente, a biodegradação da matéria orgânica existente no lixo, em ambiente predominantemente anaeróbio. Desta biodegradação resulta a geração do biogás de lixo, composto basicamente de CO_2 e CH_4 , em quantidades dependentes da forma de disposição [...].

Sua formação tem início logo após a disposição dos RSU e aumenta gradualmente, ocorrendo por um período de duração que depende da composição dos resíduos sólidos urbanos, das práticas de disposição, do clima local e demais características do aterro (TAI, 2005).

Lins (2005) ensina que o processo de decomposição da matéria orgânica no interior das células de um aterro possui uma fase aeróbia e outra anaeróbia. Durante a primeira etapa (aeróbica), há o desenvolvimento de microrganismos na presença de oxigênio molecular ou "excepcionalmente incorporado a elementos minerais (nitratos ou sulfatos)", sendo que os principais desses microrganismos são as bactérias, leveduras e fungos. A primeira etapa tem duração enquanto existir oxigênio, variando entre um dia a várias semanas, onde o oxigênio presente nas células do lixo é consumido, gerando gás carbônico e hidrogênio.

A segunda etapa de decomposição (anaeróbica) tem início com o fim do oxigênio, sendo feita por microrganismos anaeróbicos, ou seja, que se desenvolvem sem a presença do oxigênio, resultando em dois subprodutos: biogás e um digerido lodo orgânico (HESSAMI, CHRISTENSEN e GANI, 1996).

O processo anaeróbico se divide em duas etapas de fermentação:

Na primeira etapa, chamada de Fermentação Ácida, são produzidos diversos ácidos graxos, sendo os principais o ácido acético e o nitrogênio amoniacal, que se misturam com o líquido constante dos resíduos sólidos, reduzindo seu pH para valores entre 4 e 6, que por sua vez ajuda "na solubilização de materiais inorgânicos, podendo apresentar altas concentrações

de ferro, manganês, zinco, cálcio e magnésio." (LINS, 2005). Outra consequência dos baixos valores do pH é favorecer a presença de mau cheiro decorrente da liberação de gás sulfídrico (H₂S), amônia (NH₃), entre outros.

Por fim, na fase Metanogênica, há o consumo dos compostos orgânicos simples formados na etapa anterior por bactérias estritamente anaeróbias. Nessa etapa há a produção do gás metano e do gás carbônico, motivo pelo qual as bactérias são denominadas de metanogênicas.

Quanto mais próximo de uma neutralidade no pH (7,0) maior a produção de metano, tendo em vista que as bactérias responsáveis por sua produção se desenvolvem melhor nessas condições.

1.2.2 Composição do biogás de aterros

Ao contrário do que se possa imaginar, o biogás não é formado exclusivamente de metano, sendo sua composição, quando gerad**a** a partir d**a** decomposição de lixo urbano, basicamente de quantidades variáveis de CO₂, CH₄, H₂O, H₂S e mercaptanos, sendo o metano (CH₄) o mais importante, diante de seu potencial combustível e de ser o que mais contribui para o efeito estufa, na proporção de 21:1 em relação ao CO₂.

Entretanto, essa composição não é constante ao longo dos períodos de decomposição como bem explica Vanzin, Pandalfo, Lublo, Steffenon e Pandolfo (2005):

A composição da mistura de gases não é constante ao longo do período de decomposição dos resíduos sólidos urbanos, assim como também não é constante a quantidade de biogás gerada ao longo do tempo. Vale observar que a mesma varia em função da forma de disposição, características dos resíduos, etc.

Entretanto, para fins de análise e cálculos, faz-se necessário definir valores, conforme constam da tabela 1 que informa as substâncias mais importantes encontradas no biogás e seu respectivo volume molar, que nada mais é do que a razão entre o volume e a quantidade de matéria.

SUBSTÂNCIA	PERCENTUAL DE VOLUME	PERCENTUAL DE VOLUME
	MOLAR (%)	MOLAR
		CASO CONSERVADOR (%)
Metano (CH ₄)	55 a 75	55
Monóxido de Carbono (CO ₂)	25 a 45	42,2
Nitrogênio (N ₂)	0 a 3	1,5
Oxigênio (O ₂)	0 a 1	0,5
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	0 a 1	0,5
Amoníaco (NH ₃)	0 a 0,5	0,25
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0,1	0,05

Tabela 2- Composição do Biogás de Aterro

Fonte: (AZEVEDO, 2000).

1.2.3 Extração do biogás

A concepção extração biogás é dos de sistemas de de um elementos mais importantes para a boa gestão de grandes aterros sanitários (FABBRICINO, 2006). De acordo com o ICLEI (2009), o sistema de extração do biogás é composto "basicamente por drenos horizontais e verticais, sopradores, filtros para a remoção de material particulado e tanques separadores de condensado."

Para Popov (2004) o biogás é extraído de aterros sanitários por meio de extração de poços que estão instalados em todo o aterro e são conectados ao sistema de extração. Aplicando um ligeiro vacum, o biogás migra para os poços de extração. Por sua vez, como não há no aterro uma vedação perfeita, haverá uma diferença de pressão, especialmente em torno dos poços de extração, conforme figura 2.

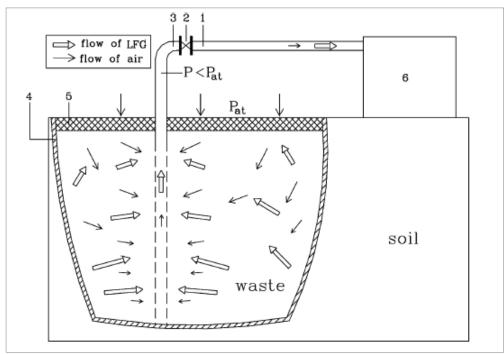


Figura 2- Seção Transversal de um Sistema de Extração e Utilização de Biogás de Aterro Sanitário Fonte: (POPOV, 2004).

Ao longo dos últimos 25 anos, diversos modelos para extração e utilização do biogás foram desenvolvidos, existindo hoje mais de 950 em todo o mundo (OLIVEIRA, HENRIQUES e COSTA, 2003).

O sistema de extração pode conter canais ou tubos verticais perfurados, ou mesmo membranas protetoras, por onde o gás será coletado, sendo o mesmo succionado por meio de bombas ou por compressor, enviando-o para o sistema de produção (OLIVEIRA, HENRIQUES e COSTA, 2003).

Qualquer sistema de extração e coleta de biogás terá os seguintes componentes:

1.2.3.1 Tubos de coleta

O início do processo de extração do biogás se dá com o fechamento da célula do aterro. Há duas formas de sistemas de coleta: poços verticais e trincheiras horizontais. Mas em ambas o sistema de coleta é o mesmo, sendo este (sistema de coleta) conectado a uma tubulação lateral, que transportará o gás para um coletor principal, devendo o sistema ser planejado para que o operador possa monitorar e ajustar o fluxo de gás necessário (LANDIM, 2008).

Na maior parte dos sistemas utilizados, os poços são ligado a um tubo principal que percorre todo o aterro, entretanto, trata-se de uma forma de extração irregular, visto que, por

imposição das normas nacionais [ABNT (1992 e 1995)], faz-se necessário que cada poço seja ligado a uma bomba e a uma casa de regulagem. A vantagem do sistema imposto pela ABNT consiste em uma maior segurança no controle da quantidade e da qualidade do gás e com o procedimento de identificação de vazamentos, uma vez que todos os tubos estão ligados a um grande sistema (LANDIM, 2008).

1.2.3.2 Compressor

O compressor possui duas funções primordiais no sistema de coleta. A primeira para sugar o gás dos poços de coleta. A segunda para comprimir o gás antes de ser enviado para o sistema de geração de energia.

1.2.4 Tratamento do biogás

Outro problema corrente no processo de extração do biogás consiste no fato de que, durante seu transporte pelo sistema de coleta, o biogás esfria e forma um condensado, resultado do esfriamento do biogás e de vapor de água, que por vezes bloqueia o sistema, o que faz com que seja necessário retirá-lo (condensado) para ser descartado. Antes da queima do biogás, faz-se necessário novo tratamento para a retirada de qualquer condensado que tenha sobrado, bem como outras impurezas, para evitar danos aos motores geradores. Esse tratamento é feito por meio de filtros.

1.2.5 Aproveitamento energético do biogás

O biogás obtido, conforme descrito anteriormente pode ter diversas destinações. Uma delas consiste na queima em flares enclausurados. Ainda que não seja a forma mais racional de utilização do biogás, a instalação de flares sempre é recomendável, sobretudo nos empreendimentos que visam à obtenção de créditos de carbono, pois caso ocorra falha no sistema de geração de energia, o metano será queimado e não liberado na atmosfera, mantendo-se assim os créditos de carbono.

¹ Estrutura feita em aço carbono e isolada internamente por meio de fibra de cerâmica, destinada à queima do biogás para obtenção de créditos de carbono (CENBIO, 2006).



Foto 1- Flare Enclausurado Fonte: CENBIO, 2006.

O biogás também pode ser utilizado para geração de energia térmica, combustível veicular, fornecimento de calor e dióxido de carbono para estufas e vários processos industriais onde o fornecimento de calor é necessário (POPOV, 2004).

Entretanto, aqui interessa sua potencialidade para geração de energia elétrica, por meio da conversão energética do biogás. Trata-se de um processo onde a energia química contida nas suas moléculas de biogás é convertida em energia mecânica por meio de um processo de combustão controlada que, por sua vez, aciona um gerador que a converte em energia elétrica.

Dentre as formas para efetuar essa conversão, os modelos mais utilizados são o ciclo Rankini (caldeira com turbina a vapor), motores de combustão interna, sobretudo "Ciclo – Otto", assim como microturbinas. Todas elas serão analisadas a seguir.

1.2.5.1 Ciclo Rankine

Também conhecido como Ciclo Ambiental, trata-se do mais antigo sistema de geração de energia, sendo ainda muito utilizado no Brasil, sobretudo nas Usinas de Açúcar e Álcool que utilizam como combustível o bagaço da cana-de-açúcar. É composto basicamente por uma caldeira, onde é gerado valor de alta pressão e temperatura, por uma turbina a vapor, condensadores e bombas, além, é claro, do gerador.

1.2.5.2 Microturbina

Esse sistema teve origem na indústria aeroespacial e automotiva, sendo seu uso posteriormente evoluído para uso em sistemas de geração de energia elétrica, com utilização

de mancais a ar, de ligas metálicas e cerâmicas resistentes a altas temperaturas e de componentes eletrônicos de alta potência.

Nesse sistema de geração de energia o ar é forçado para dentro das turbinas em alta velocidade e pressão, onde é misturado com o combustível, sendo então queimado na câmara de combustão, conforme figura 3.

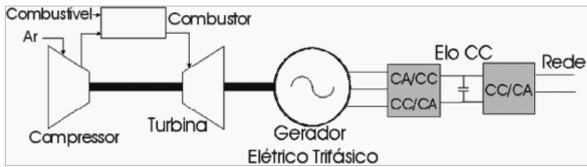


Figura 3- Modelo de Gerador com Utilização de Microturbina

Fonte: De Bona e Ruppert Filho (2004).

1.2.5.3 Motor ciclo Otto

Seu funcionamento se dá com a aspiração da mistura ar (oxigênio) e combustível (biogás, no caso), sendo esta comprimida no interior dos cilindros. Sua combustão ocorre por meio de uma centelha produzida por uma vela de ignição.

Em regra, esses motores não são produzidos para utilização de biogás, o que faz com que sejam necessárias modificações nos sistemas de alimentação, ignição e taxa de compressão. Trata-se do meio mais utilizado para queima de biogás para geração de energia elétrica, por resultar em uma maior capacidade de conversão energética e de seu custo reduzido em relação à microturbina.

Outra vantagem, sobretudo para certificação de créditos de carbono, é que ele queima 100% do metano, o que garante maior quantidade de créditos.

Não por outros motivos que, o maior empreendimento de geração de eletricidade por meio exclusivamente de biogás do mundo, o aterro sanitário municipal Bandeirantes, utiliza 24 grupos geradores (motores ciclo Otto importados acoplados a geradores) com capacidade de geração de 22,2 MW (925 kW cada um).

Diante das vantagens apontadas, o biogás será usado como referencial para o presente estudo.

1.3 Efeito Estufa e o Protocolo de Quioto

A questão ambiental referente às mudanças climáticas globais não recebeu apoio político dos governos até 1988, quando a maior incidência de catástrofes naturais e o aumento de suas consequências, atribuídas ao aquecimento do planeta, sobretudo à elevação da temperatura das águas dos oceanos, trouxe para o cenário internacional a discussão sobre efeito estufa, aquecimento global e as formas para seu controle, resultando num acordo internacional que ficou conhecido como Protocolo de Quioto (DESSLER e PARSON, 2006).

Diante da relação da matéria com a pesquisa, faz-se necessário revisá-la para melhor compreendê-la.

1.3.1 Aquecimento global e mudanças climáticas

Não há dúvidas de que as alterações climáticas consistem em processos naturais que acompanharam toda a história do planeta terra. A discussão em pauta é a velocidade e intensidade com que tem ocorrido, sobretudo após a revolução industrial. Dentro desse contexto, deve-se entender que, quando se fala na problemática do aquecimento global, referese ao aquecimento gradual da superfície terrestre ao longo do tempo, decorrente do aumento do nível de gases de efeito estufa (STILES, 2006).

Trata-se de um problema global que afeta a todos, ainda que de forma diferente, pois não há dúvida de que países menos desenvolvidos sofrem mais, sem falar em pequenas ilhas, nações que correm o risco de desaparecerem.

1.3.1.1 O Modelo de consumo e o meio ambiente

Durantes vários séculos a humanidade vem explorando de forma predatória os recursos naturais. Entretanto, como bem alerta Yu (2004), antes da revolução industrial,

Não obstante ao caráter explorador das práticas desse período, estas não eram insustentáveis ou provocavam crises ambientais de escala, pois os impactos eram localizados e de intensidade restrita, o que dava margem à resiliência da natureza.

A problemática ambiental global surge quando a exploração dos recursos naturais atinge um patamar maior do que a capacidade do planeta de repô-los, ou mesmo de absolver os dejetos dessa exploração. Esse quadro só piorou com o crescimento demográfico e aperfeiçoamento das tecnologias empregadas.

O modelo de exploração requerido pelo mercado de consumo alterou o planeta ao ponto de comprometer a manutenção dos sistemas básicos de sobrevivência. Essa transformação tem sido expressiva, sobretudo na atmosfera, onde a emissão de gases causadores do efeito estufa, entre eles o metano, tem causado drásticas alterações climáticas, que, em médio prazo comprometerão a sobrevivência humana.

O problema climático tem íntima relação com o desenvolvimento das noções europeias e norte-americana e com a desigualdade entre estas e as nações periféricas.

Tudo teve início no modelo de desenvolvimento baseado no uso não sustentável dos recursos naturais, que possibilitou, entre outras, a revolução industrial, quando o homem impôs à atmosfera um aumento alarmante na emissão de gases do efeito estufa, causando um desequilíbrio climático no planeta.

Deve-se ter em mente que não apenas a queima de combustível é responsável pelas emissões de gases de efeito estufa. O desmatamento e a destruição de florestas em geral têm sido prejudiciais sob duas perspectivas. Primeiro pela emissão decorrente da queima ou decomposição orgânica dessas estruturas. Segundo porque essas estruturas atuam como reservatórios e sumidouros naturais de absorção de dióxido de carbono (CEBDS, 2009). Esse desmatamento é o principal responsável pelas emissões de gases no Brasil.

1.3.1.2 Estudos iniciais

A preocupação com o aquecimento global, decorrente dos gases do efeito estufa, tem sido há algum tempo objeto de preocupação mundial, sobretudo na Conferência de Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992.

O primeiro Relatório de Avaliação Sobre Aumento de Temperatura em decorrência do efeito estufa foi concluído em 1991, no Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) das Nações Unidas. Esse relatório alertou sobre as consequências pelas quais iria passar o planeta. Diante da ausência de estudos que contradissessem o relatório e do princípio da precaução, passou o relatório a

"ser considerado como referência mundial para se discutir medidas de mitigação do efeito estufa." (YU, 2004).

1.3.1.3 Os impactos do aquecimento global

Ainda não é possível ter uma dimensão totalmente precisa dos efeitos do aquecimento global. As previsões são as mais variadas possíveis. Mesmo que não seja possível de forma precisa definir todos os efeitos, alguns são bem previsíveis. O IPCC afirma em seu último relatório que, mantendo-se as emissões de GEE, prevê-se um aumento nas temperaturas entre 1,8 °C e 4 °C até 2100 (IPCC, 2007).

O mais evidente consiste na subida do nível dos mares, decorrente da expansão volumétrica das águas dos oceanos e do descongelamento das geleiras e calotas polares, o que causaria a inundação de grande parte do atual litoral e desaparecimento de algumas ilhas. Essa consequência já é sentida. O derretimento das calotas polares e das geleiras na Groenlândia têm resultado no aumento dos níveis dos mares, o que por consequência resulta no desaparecimento de cidade e até mesmo nações, como no caso de Seychelles². Grandes e importantes cidades estão sob risco, como Miami com danos estimado em US\$ 3,1 trilhões, e Xangai com danos estimado em US\$ 2,3 trilhões.

O derretimento das calotas polares teria outra consequência devastadora: acelerar o aquecimento global. Isto porque o gelo age como um espelho, refletindo cerca de 90% da luz solar mandando-a de volta ao espaço. Em contrapartida, a água do oceano absorve 90% dessa luz/calor, tendo por consequência o aquecimento da água dos oceanos e mais derretimento (ADB, 2007). Soma-se a isso o fato de que os oceanos são responsáveis, a cada ano, por absorver metade do CO2 emitidos pelo homem, mas conforme esquentam, sua capacidade de absorção diminui, pois a água quente dissolve menos gás, o que mais uma vez acelera o processo de aquecimento global (ADB, 2007).

A agricultura seria outra grande vítima do aquecimento global, com o deslocamento das condições para a agricultura das latitudes baixas para mais altas, o que prejudicaria ainda mais as populações mais pobres (COMMON e STAGL, 2005).

Haveria também diminuição da disponibilidade de água em regiões carentes desse recurso (terras áridas, semiáridas, regiões subtropicais).

² Nação insular localizada no Oceano Índico, formada por várias ilhas que estão sendo alagadas em consequência do aumento dos níveis das águas dos oceanos.

Outra consequência já bem conhecida dos cientista é a ampliação da dinâmica da atmosfera, ocasionando uma maior incidência de furação, enchentes, tempestades, secas, nevascas, deslizamentos de neve, entre outros desastres naturais, assim como os impactos sociais e econômicos decorrentes das inundações e secas em determinadas regiões (COMMON e STAGL, 2005).

Os mesmos autores citam danos a ecossistemas naturais frágeis como "as geleiras, recifes de corais e atóis, mangues, florestas boreais e tropicais, sistemas polares e alpinas eco, as zonas úmidas da pradaria e remanescentes nativos terras grama." (COMMON e STAGL, 2005).

Entretanto, as consequências do aquecimento global serão diferentes em cada país, dependendo de suas respectivas condições socioeconômicas e ambientais (STERN, 2006).

1.3.2 Aquecimento global e o aumento nas emissões dos gases do efeito estufa

Nosso planeta funciona como uma estufa. Consiste o efeito estufa em um processo físico que ocorre naturalmente, servindo, entre outros, para estabilizar a temperatura do planeta, evitando que a radiação infravermelha térmica solar absorvida pela Terra se dissipe no espaço, mantendo-a dentro de uma faixa de sustentação da vida (ADB, 2007). Aproximadamente 60% da radiação solar que penetra na atmosfera atingem a superfície da Terra, dos quais aproximadamente 18% é refletida de volta (COMMON e STAGL, 2005).

É evidente que o calor absolvido pelo planeta, cedo ou tarde, é liberado. Parte dele retorna ao espaço. O restante é mantido no planeta por meio dos gases do efeito estufa existentes na atmosfera, água, vapor, CO₂, os clorofluorcarbonos (CFCs), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), entre outros, aquecendo a baixa atmosfera da superfície da Terra (SATHIENDRAKUMAR, 2003).

Isso ocorre por que a radiação do Sol pode ser descrita como de curto comprimento de onda da radiação ou do infravermelho próximo, enquanto a radiação mais fria da Terra emite uma radiação de longo comprimento de onda, encontrando-se na região do infravermelho do espectro eletromagnético (DESSLER e PARSON, 2006).

Esse calor que não consegue sair pela atmosfera da Terra e é refletido de volta a terra é responsável por manter o planeta mais aquecido do que o espaço, visto que existe mais calor entrando do que saindo.

Calcula-se que sem esse fenômeno, a temperatura média da superfície da Terra seria de -20 °C (DESSLER e PARSON, 2006). O grande problema é o efeito estufa em excesso de origem antrópica (COMMON e STAGL, 2005). Victor e House (2004) ressaltam que a principal preocupação da concentração de GEEs na atmosfera se deve ao fato de que, uma vez emitidos, o problema é global, já que as emissões não se restringem a área onde foram disseminados.

Para melhor entender o efeito estufa, devemos partir da composição da atmosfera terrestre, formada em sua maior parte por nitrogênio (78%) e oxigênio (21%). Menos de um milésimo da atmosfera representa os gases do efeito estufa que se concentram naturalmente.

Por incrível que pareça, o de maior concentração é o vapor de água. Porém, sua concentração é pouco alterada pelas atividades humanas. Posteriormente, devemos conhecer os principais gases responsáveis por esse fenômeno que tiveram acréscimo em suas emissões por atividades humanas. Na tabela 3 consta de forma resumida essas informações.

GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE)	POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	PRINCIPAIS CAUSAS	
CO ₂ (dióxido de carbono)	1 x CO ₂ (referência)	Uso intensivo de combustíveis fósseis, aumento da ocorrência de queimadas e incêndios florestais que provocam o aumento das emissões de CO ₂ para a atmosfera; Redução das áreas florestadas, que absorvem e estocam o carbono atmosférico.	
CH ₄ (metano)	21 x CO ₂	Degradação anaeróbica de material orgânico em aterros, estações de tratamento de efluentes, lagoas anaeróbicas com dejetos animais, além do processo digestivo de animais ruminantes (Ex: gado bovino).	
N2O (óxido de nitrogênio)	310 x CO ₂	Queima de combustíveis fósseis, uso abusivo e incorreto de fertilizantes químicos no solo.	
CFCs, HFCs, PFCs	140 x até 11.700 x CO ₂	Sistemas de refrigeração e sprays aerossóis	
SF ₆ (hexafluoreto de enxofre)	22.500 x CO ₂	Produzido industrialmente para uso principalmente pela indústria elétrica, como meio isolante e extintor de arco elétrico, tanto em disjuntores, como em subestações blindadas	

Tabela 3- Principais Gases de Efeito Estufa, Origens e Potencial de Aquecimento Global Fonte: (IPCCC, 2007).

Por serem os que mais interessam ao presente trabalho, abaixo serão tratados o carbono, na forma de dióxido de carbono (CO₂), e o metano (CH₄).

1.3.2.1 O dióxido de carbono e o efeito estufa

Antes de tratarmos propriamente do dióxido de carbono (CO₂), faz-se necessário um breve estudo sobre o próprio carbono. A palavra carbono foi criada pelo químico francês Lavoisier, oriunda da palavra francesa *charbon* (carvão) (MATHEWS, 2008).

A maior parte dos compostos químicos existentes na atmosfera tem o carbono em sua composição. O carbono é a base das matérias orgânicas, estando presente em todos os seres vivos, motivo pelo qual o carbono 14 é utilizado para datar objetos e resíduos de seres vivos.

O ciclo do carbono inclui sua liberação na atmosfera e sua absorção. Um primeiro ponto que devemos partir ao tratar do clico do carbono é que, não importa onde ele foi emitido para a atmosfera, a partir desse momento ele passa a ser um problema de todos, pois seus efeitos serão suportados por todas as nações, ainda que com maior intensidade para algumas.

Segundo Yu (2004), o carbono pode ser encontrado basicamente em quatro principais estoques: a atmosfera, os oceanos, os depósitos de combustível fóssil e a biomassa terrestre e solo. Sobre emissões e absorções de carbono, o mesmo autor alerta que:

No balanço global de carbono na atmosfera de nosso planeta, dos 6,3 Gt C emitidos, 3,3 Gt C permanecem na atmosfera, provocando o aumento do efeito estufa, e o restante é reabsorvido pelos oceanos e pela biota terrestre, aproximadamente em partes iguais. Segundo o Relatório Especial sobre Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta (IPCC, 2000a), no período de 1989 a 1998, a emissão de CO₂ resultante da queima de combustível fóssil e a produção de cimento foi de 6,3 Gt C/ano (nos anos 1980 foi de 5,4 Gt/ano); desta emissão, os oceanos absorveram 2,3 Gt C/ano e o ecossistema terrestre absorveu 0,7 Gt C/ano, líquidos. Portanto, o balanço anual de CO₂, na última década, foi um incremento de 3,3 Gt C/ano na atmosfera na última década. (YU, 2004).

O maior causador do efeito estufa é o dióxido de carbono (CO₂), representando aproximadamente 55% do total das emissões mundiais do referido gás e sendo responsável por 80% do aquecimento de causa antrópica. Os combustíveis fósseis classificados como não renováveis, tendo em vista que o prazo de seu ciclo de formação não é compatível com as necessidades humanas, são os maiores responsáveis pelo CO₂ emitido pelo homem.

Segundo Yu (2004), mais de 80% das emissões de carbono no mundo é resultante da queima de combustíveis fósseis, o que segundo o autor "[...] significa um fluxo do carbono depositado e retido no subsolo há milhões de anos e liberado novamente na atmosfera." (YU, 2004). O restante provém em sua maioria dos processos de uso da terra, em especial desmatamentos e queimadas. O CO₂ após emitido, permanece na atmosfera por no mínimo 100 anos.

1.3.2.2 O metano e o efeito estufa

Em relação aos gases de feito estufa resultantes da ação humana, o metano (CH₄) vem em segundo lugar, com aumento médio de 1% ao ano. Parte de sua importância se dá pelo fato de ser de 21 vezes mais potente que o CO₂ para o mencionado gás (PEARSON, 2005). Segundo Yu (2004) "As principais fontes antropogênicas do metano estão na atividade agrícola, produzidas pela fermentação das bactérias anaeróbicas associadas aos arrozais, pela fermentação entérica dos ruminantes e pela queima de biomassa."

Sua forte atuação no efeito estufa se dá "por que as moléculas de CH₄ absorvem uma maior fração dos fótons do infravermelho térmico que a atravessam do que as moléculas de CO₂." (LINS, 2005).

Em 1991, a concentração atmosférica de CH₄ foi de 1,72 ppmv (partes por milhão), o que é mais do que o dobro do nível pré-industrial, que é de 0,8 ppmv (POPOV, 2004).

Percebe-se que a única forma, hoje viável, de conter o avanço do aquecimento global é estabilizar as concentrações de gases do efeito estufa GEE dentro de limites seguros, equilibrando a quantidade desses gases emitidos e a capacidade natural da Terra para absolvêlos.

1.3.3 Protocolo de Quioto

Conforme afirmado, a questão ambiental, sobretudo o aquecimento global, até 1988 não recebeu atenções governamentais. Esse quadro mudou quando o mundo passou a enfrentar uma série de incidentes climáticos adversos, o que fez a comunidade internacional científica se voltar para a problemática causada pela emissão de gases do efeito estufa (WILSON, 2007).

Diante disso, foi criado um organismo internacional (IPCC), responsável por avaliar o conhecimento científico relativo à mudança climática, tendo publicado três relatórios (1990, 1995 e 2001) desde a sua formação, fundamentais para as principais respostas dos respectivos governos no que se refere a tal mudança (DESSLER e PARSON, 2006).

Seguiu-se longa discussão entre a comunidade científica e os setores industriais. Somente após uma conscientização da problemática foi possível levar a questão para o âmbito das Nações Unidas. Finalmente, no Rio de Janeiro, em 1992, durante a ECO 92, foi possível firmar o primeiro compromisso internacional, que futuramente levou à elaboração do Protocolo de Quioto (DESSLER e PARSON, 2006).

Em linhas gerais, o Protocolo de Quioto visa controlar as emissões antropogênicas de GEE, a fim de estabilizar o montante desses gases na atmosfera, que tendem a interferir com o sistema climático mundial, diferenciando as responsabilidades das nações, requerendo, nessa fase inicial, apenas dos países industrializados, atingirem metas pelas quais eles devem reduzir as suas emissões (THORNE e RAUBENHEIMER, 2001).

Para implementar seus objetivos, o Protocolo de Quioto permite que as partes compensem suas emissões por meio de sumidouros de carbono, que nada mais são, para o Protocolo, que mudança no uso da terra e silvicultura, tendo ainda o florestamento e o reflorestamento como atividades elegíveis.

Consiste no instrumento jurídico de direito internacional mais importante no combate ao aquecimento global e suas nefastas consequências, fundado em diversos princípios ambientais, aceitos internacionalmente, como: Precaução (Precautionary), Prevenção (Preventative), Responsabilidade Comum mas Diferenciada (Common but Differentiated), Poluidor-pagador (Polluter Pays), Desenvolvimento Sustentável (Sustainable Development) e Equidade Intergeracional (Intergenerational Equity) (WILSON, 2007).

1.3.3.1 Elaboração

Até a assinatura do Protocolo de Quioto, foram necessárias muitas discussões. Tudo teve início em Estocolmo, Suécia, em 1972, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano. Esse que foi o primeiro encontro de líderes de Estados para discutir o assunto e deu início a diversos outros, sobretudo a ECO 92, realizada no Rio de Janeiro, em 1992.

Nessa ocasião foi assinada a Convenção Quatro sobre Mudança Climática, por 160 países, objetivando evitar interferências antropogênicas perigosas no sistema climático.

A Convenção Quatro foi responsável pela criação dos mais importantes princípios no combate internacional ao aquecimento global. Mas talvez a sua principal conquista tenha sido a conscientização do público mundial da importância do tema "mudanças climáticas". Nessa oportunidade não foram definidos índices de redução das emissões, sendo firmado apenas o compromisso de estabelecê-los.

As primeiras negociações para definições de medidas de reduções das emissões por parte dos países desenvolvidos foram feitas em Berlim, em março de 1995, durante a Primeira Conferência das Partes. Mas somente cinco anos após a Rio 92, em Quioto, no Japão, foi elaborado o Protocolo de Quioto, sendo seu principal objetivo a redução de emissões de seis gases do efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆) pelos países desenvolvidos.

O Protocolo de Quioto foi assinado em 29 de abril de 1997, por 160 nações dos 192 Estados-membros, após 13 anos de negociações, visando a criação de um novo mercado dos direitos de uso da atmosfera.

Sua lógica consiste em reduzir as emissões de gases do efeito estufa pelos países desenvolvimentos, maiores emissores, além de tornar as emissões economicamente onerosas. Em contrapartida, pretende tornar o desenvolvimento sustentável e as tecnologias limpas mais acessíveis.

1.3.3.2 Ratificação do protocolo

Após a assinatura do Protocolo, foi necessária sua ratificação por pelo menos 55 países que representassem, no mínimo, 55% das emissões emitidas em 1990, para que entrasse em vigor. O processo de ratificação perdurou de 1998, data em que as assinaturas de ratificação começaram a ser colhidas, até 2004, quando finalmente entrou em vigor com a adesão da Rússia (WILSON, 2007).

Atualmente, cerca de 100 países ratificaram o Protocolo. Entretanto, os Estados Unidos, responsável por 36,1% das emissões, não ratificaram sob argumento de que a redução das emissões poderia acarretar recessão, altos custos de redução, que as teorias sobre aquecimento global são questionáveis e pela ausência de metas de emissão para países em desenvolvimento (DESSLER e PARSON, 2006).

Um dos últimos a ratificarem o documento foi a Austrália, em dezembro de 2007, durante a Conferência das Nações Unidas, que discutiu o relatório do Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas.

Em julho de 2002 o Brasil ratificou o Protocolo de Quioto, sendo recepcionado em nosso sistema Jurídico por meio do Decreto Legislativo Nº 144/2002.

1.3.3.3 Objetivos do protocolo de Quioto

O Protocolo de intenções prevê o compromisso de redução das emissões por parte de 84 países, mas o termo de compromisso de redução gera obrigações apenas aos 38 países constantes do Anexo I, para que reduzissem suas emissões anuais de gases de efeito estufa, entre 2008 e 2012, em 5,2% ao ano, tendo por base as emissões referentes ao ano de 1990, quando foram emitidas 3,87 bilhões tC pelos países do Anexo I, em contrapartida com o resto do mundo que emitiu 2,22 bilhões tC.

Dessa forma, buscava o Protocolo, quando criado, uma redução efetiva de 200 milhões tC/ano, resultando em um total de 1 bilhão tC durante os cinco primeiros anos.

Para implementação das reduções, o Protocolo adotou o princípio de direito ambiental denominado de "responsabilidade comum, mas diferenciada", que para Thorne e Raubenheimer (2001) se destina a diferenciar as responsabilidades das nações, exigindo apenas dos países industrializados, nessa fase, o cumprimento de metas, pelas quais devem reduzir suas emissões. Por sua vez, os países que ainda estão em desenvolvimento não possuem metas nesta fase (THORNE e RAUBENHEIMER, 2001).

Isso se justifica porque os países do Anexo I são responsáveis por ¾ (três quarto) de todas as emissões de GEE, além do que, esses países possuem maior capacidade financeira de custear a redução das emissões, sem comprometer sua capacidade de sustentar o desenvolvimento em termos econômicos (THORNE e RAUBENHEIMER, 2001).

1.3.3.4 Mecanismos de redução

Como forma de viabilizar que os países alcancem suas metas de redução, bem como incentivar os países em desenvolvimento e o setor privado a também reduzirem suas emissões, o Protocolo de Quioto previu três mecanismos de mercados voltados para a redução das emissões: Comércio de Emissões, Implementação Conjunta e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo.

Por meio do Comércio Internacional de Emissões (International Emissions Trading), previsto no art. 17 da Convenção, é possível que países do Anexo I que possuam créditos de carbono, tenham emissões abaixo de seu limite, vendam esses créditos para outros países do Anexo I que estejam com emissões acima de seus limites. Exemplo desse comércio é a European Climate Exchange.

A Implantação Conjunta (Joint Implementation), art. 6° do Protocolo, possibilita que os países do Anexo I atuem de forma conjunta para que possam atingir suas metas. Por meio

desse instituto, um país com redução acima do limite pode firmar um acordo com um país com redução abaixo do limite e, juntos, atingirem as metas de ambos (IETA, 2004). O país com redução abaixo do limite se beneficiaria com investimentos, transferência de tecnologia etc.

Por fim, o mais complexo dos mecanismos é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (Clean Development Mechanism). Por meio dele é possível que projetos que reduzam as emissões de GEE tenham essas reduções certificadas e negociadas como créditos de carbono. Esses projetos podem ser unilaterais, quando financiados e executados somente por países de fora do Anexo I, ou bilaterais, quando o financiamento for feito por países do Anexo I.

1.3.3.5 Críticas ao protocolo

Em que pese o apoio de cientistas, ecologistas e da população em geral, o Protocolo de Quioto não está isento de críticas. A mais relevante é sobre a possibilidade de causar recessão nos países desenvolvidos e com economias estáveis, tese fortemente defendido pela Austrália e Estados Unidos. Alega-se também que as metas previstas não terão efeitos a longo prazo.

Questiona-se também o fato de países em desenvolvimento, como a China, não terem metas de redução, o que pode favorecer uma industrialização maciça desses países e, por consequência, o aumento das emissões.

Alega-se também que o Tratado não foi capaz de frear as emissões de gases de efeito estufa, o que motivou a ideia de sua extinção por parte da Austrália, apoiada pelos EUA e Japão em Bancoc, na Tailândia, durante reunião coordenada pela Organização das Nações Unidas (ONU), que contou com a participação de representantes de 190 países. A proposta da Austrália se fundamenta no fato de que muitos países signatários do tratado aumentaram as emissões nos quatro anos de sua existência.

Victor (2001) argumenta que o aquecimento global é, em regra, decorrente de mudança de tecnologia e crescimento econômico, logo, difícil de regular. Diante disso, critica o Protocolo, por ser baseado em uma premissa fundamentalmente errada do que é melhor para diminuir o aquecimento global, definindo objetivos e calendários rigorosos para regular a quantidade de GEEs emitidos (VICTOR, 2001).

Em que pese às críticas e deficiências do Protocolo de Quioto, este ainda consiste no único acordo internacional a tratar da matéria, tendo validade apenas até 2012, o que torna necessário o esforço de toda a comunidade internacional para sua prorrogação e aperfeiçoamento.

1.4 Modelos de Estimativa de Produção de Biogás

O principal problema do desenvolvimento de projetos que utilizam gás de aterros não é apenas a previsão da quantidade de biogás que será produzido, mas também a taxa e a duração da produção.

Existem diversos meios e métodos para calcular/estimar a quantidade de biogás produzido por determinado aterro sanitário ao longo dos anos, desde modelos que consideram apenas a quantidade disposta de resíduo doméstico, o que resulta em estimativas grosseiras e imprecisas, até metodologias que considerem uma cinética de geração de biogás em função das condições climáticas locais, concentração de nutrientes no solo e composição do resíduo (CETESB/SMA, 2003). Abaixo serão abordados os mais importantes modelos de meios e métodos até então utilizados.

1.4.1 Banco mundial

Um dos modelos mais utilizados, sobretudo nas Américas do Norte e do Sul, é o previsto no Manual para a Preparação de Gás de Aterro Sanitário para Projetos de Energia na América Latina e Caribe (2003), que utiliza o modelo cinético Scholl Canyon, de primeira ordem (BORBA, 2006).

Este método é aceito no meio acadêmico por partir do próprio Banco Mundial, grande financiador desse tipo de projeto, além de ser aceito por agências e instituições financeiras que estão interessadas em apoiar esses tipos de projetos.

O referido modelo parte da premissa de que sempre há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo, onde a quantidade de geração de metano (L₀) variará em função da qualidade dos resíduos presentes no aterro, variando entre 5 a 310 m³ CH₄ por tonelada de resíduos, em função da maior quantidade de matéria orgânica. Neste modelo o valor de L₀ é modificado em função das características dos resíduos, da forma

construtiva do aterro e de condições ambientais ligadas ao clima da região onde o mesmo está localizado (VANZIN, PANDOLFO, LUBLO, STEFFENON e PANDOLFO, 2005).

Além disso, também haverá variação da quantidade de biogás produzido em função da idade dos resíduos depositados e da quantidade de carbono orgânico, por ser a matéria prima para produção do metano.

Outro fator importante nesse sistema é a taxa de geração de metano (k), que determina a velocidade de geração do mesmo e, por consequência, a velocidade de esgotamento do vazadouro. Esse índice variará em "função da umidade do resíduo, tipo de resíduo, disponibilidade de nutrientes para o processo anaeróbico, pH e temperatura." (DE ABREU, 2009).

Nesse modelo são considerados parâmetros similares de entrada de:

- a) massa de resíduos que ingressa no aterro anualmente (m_i);
- b) tempo de atividade do aterro e/ou após o fechamento (t);
- c) taxa de geração de metano (k); e
- d) potencial de geração de metano (L_0) .

O cálculo do metano produzido é feito por meio da equação 1.1.

$$Q_{(CH4)i} = k * L_0 * m_i * e^{-k.t}$$
(1.1)

Onde:

Q_{(CH4)i} = Metano produzido no ano "i" a partir da seção "i" do resíduo, (m³/ano);

k = Taxa da geração de metano, (ano-1);

L₀ = Potencial da geração de metano, (m³ CH₄ / t resíduo);

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

t_i = Anos após o fechamento.

1.4.2 USEPA – United States Environmental Protection Agency

Segundo Borba (2006), a "USEPA apresenta duas metodologias para calcular os gases emitidos pela degradação de Resíduos Sólidos em aterros." A primeira se destina a sistemas de disposição sem controle, como lixões ou vazadouros. A segunda visa estimar as emissões de

sistemas de disposição controlada. Diante do objetivo do trabalho, somente a segunda interessa.

O método considera que exista no aterro um sistema de captação do biogás para sua posterior queima ou aproveitamento para a produção de energia elétrica. Segundo Borba (2006) devem ser considerados os seguintes aspectos: eficiência do sistema de captação e dispositivos de controle.

Com relação ao primeiro ponto, eficiência do sistema de captação, deve-se ter em mente que, por não ser totalmente eficiente, a metodologia considera que apenas 75% do biogás gerado é captado. Já referente ao segundo ponto, dispositivo de controle, deve ser levado em conta a eficiência dos sistemas de controle em função do dispositivo utilizado (USEPA, 1998).

A tabela abaixo apresenta as eficiências dos diferentes tipos de dispositivos.

Dispositivo de Controle	η cont (%)	Qualidade dos Fatos
Queimador	99,2	Médio - Alto
Motor de combustão interna	97,2	Baixo
Caldeira	98,0	Médio - Baixo
Turbina de gás	94,4	Baixo

Tabela 4- Eficiência do Sistema de Controle (η cont.)

Fonte: (USEPA, 1998).

Dessa forma, para estimar as emissões de CH₄, utiliza-se a equação 1.2.

$$CM_{CH4} = (Q_{CH4} * (1 - \eta col / 100)) + (Q_{CH4} * \eta col / 100 * (1 - \eta col / 100))$$
(1.2)

Onde:

CM_{CH4}= emissões controladas de metano (m³/ano);

Q_{CH4}= emissões não controladas de metano (m³/ano);

η col = eficiência do sistema de captação;

 η cont = eficiência do dispositivo de controle, ver Tabela 1.4.

Por sua vez, para estimar as emissões de CO₂, usa-se a equação 1.3.

$$CM_{CO2} = Q_{CO2} + (Q_{CH4} \eta col / 100 * 2,75)$$
(1.3)

Onde:

CM_{CO2}= emissões controladas de CO₂ (m³/ano);

Q_{CO2}= emissões não controladas de CO₂ (m³/ano);

η col = eficiência do sistema de captação, 75%, valor sugerido;

2,75= razão do peso molecular de CO₂ e CH₄.

1.4.3 IPCC

Este método foi desenvolvido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 1996) para estimar as emissões de metano em aterros sanitários. Tratam-se na verdade de dois métodos. O primeiro, simplificado, parte da premissa de que o total de metano potencial se libera durante o ano em que se produz a disposição dos resíduos. Por sua vez, o segundo é um método de decomposição de primeira ordem, que gera um perfil de emissões que depende do tempo transcorrido, refletindo de forma mais realística as pautas do processo de degradação ao longo do tempo (BORBA, 2006).

Diante da simplicidade e imprecisão do método simplificado, abordaremos apenas o segundo, modelado pelas equações 1.4 e 1.5.

$$CH_{4} \text{ gerado } (t/\text{ano}) = \sum (A * k * RSU_{T}(x) * RSU_{F}(x) * L_{0}(x)) * e^{-k(t-x)}$$
(1.4)

$$CH_{4} \text{ emitido } (t/\text{ano}) = [CH_{4} \text{ gerado} - R(t)] * (1 - OX)$$
(1.5)

Onde:

t = ano de realização do inventario;

x =ano de contribuição (desde o início da atividade até "t");

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

 $k = constante de geração, ano^{-1};$

RSUT(x) = total de RSU gerados no ano x, t/ano;

RSUF(x) = fração de RSU depositada no aterro no ano x;

RSUT(x) * RSUF(x) = massa de resíduos despejados no ano x, t/ano;

 L_0 = potencial de geração de metano (t CH₄/t RSU) no ano x;

R(t) = quantidade de metano recuperada no ano "t";

OX = fator de oxidação (fração).

Trata-se de uma metodologia de fácil aplicação, que envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável presente no lixo para calcular a quantidade de metano possível de ser gerada por determinada quantidade de resíduo depositado, considerando diferentes categorias de resíduos sólidos domésticos (MENDES e MAGALHÃES SOBRINHO, 2005).

1.5 Métodos de Análise Econômica

Para análise da viabilidade econômica de um empreendimento é necessário considerar o dinheiro investido no tempo. Para isso, surgiram diversos métodos ao longo dos anos. Antes de optar por um deles para ser utilizado no presente trabalho, faz-se necessário um estudo sobre os mais difundidos na literatura, com suas respectivas vantagens e desvantagens.

Diante disso, serão abordadas de forma sucinta as principais metodologias de análise econômica de projetos, para ao final ser possível optar por uma delas de forma fundamentada.

1.5.1 Payback - Período de recuperação do investimento

O primeiro método a ser estudo é denominado de *payback*. Trata-se da mais antiga e simples metodologia para análise de projetos de investimentos e busca calcular o número de anos necessários para recuperar o investimento, feito por meio do fluxo de caixa estimado para o empreendimento. Através dele será possível identificar quando as receitas e despesas do projeto serão equivalentes. Dessa forma, busca-se determinar o tempo necessário para que o fluxo de caixa iguale o investimento inicial, ou seja, para que o investimento inicial seja recuperado.

Para seu cálculo será preciso identificar o fluxo de caixa esperado ao longo dos anos do empreendimento, as expectativas de investimento e de retorno ano a ano e, por fim, identificar quando a soma dos retornos iguala ou supera o total do investimento. O *payback* é calculado por meio da equação 1.6.

(1.6)

$$\sum_{i=0}^{n} Ri = \sum_{t=0}^{n} Ct$$

Onde:

Ri = receitas;

Ct = custos;

i , t = período em que o custo ou receita ocorrem;

n = número máximo de períodos.

A deficiência desse sistema consiste no fato de não ser possível identificar a rentabilidade e o valor de retorno do investimento, o que pode resultar em uma decisão equivocado por parte do investidor, por não levar em consideração o valor do dinheiro no tempo.

1.5.2 Taxa interna de retorno

Por sua vez, a Taxa Interna de Retorno (TIR) consiste em um método para calcular a taxa de desconto que torna o valor presente das receitas igual ao valor presente das despesas, ou seja, o fluxo será igual a zero, não levando em conta a taxa de juros. Trata-se de um índice baseado apenas em fluxos de caixa de um projeto, que é a base do mercado interno, servindo para analisar a atratividade do mesmo.

Para o cálculo do projeto é utilizada a seguinte equação 1.7.

(1.7)

$$\left[\sum_{t=0}^{r} \frac{Rt}{(1+i)^{r-t}}\right] - \left[\sum_{t=0}^{r} \frac{Ct}{(1+i)^{r-t}}\right] = 0$$

Onde:

C = custos;

R = receitas;

i = TIR;

r = rotação ou vida do projeto;

t = tempo (período onde os custos e receitas ocorrem).

A deficiência desse método consiste no fato de ser baseado apenas no fluxo de caixa do projeto e por não considerar a taxa de juros, o que pode resultar numa análise distorcida da realidade e, por consequência, numa decisão equivocada.

1.5.3 Valor presente líquido

Trata-se do método de análise de investimento baseado no fluxo de caixa descontado. Consiste o VPL (Valor Presente Líquido) em um indicador que permite analisar a viabilidade econômica de determinado projeto em determinado período de tempo. Fácil de entender e utilizar, pois combina nossa compreensão intuitiva de dinheiro, já que temos uma sensação intuitiva do significado do resultado.

Nesse método, o VLP será definido pela soma do valor presente das receitas do projeto ao longo de sua vida útil trazido para a presente data, subtraído da soma das despesas previstas pela vida do empreendimento trazidas para **a** presente data, atualizada pela(s) taxa(s) de desconto, de acordo com a equação 1.8:

$$VPL = \sum_{t=0}^{h} \left[\frac{Rt}{(1+i)^{t}} \right] - \sum_{t=0}^{h} \left[\frac{Ct}{(1+i)^{t}} \right]$$
(1.8)

Onde:

R = receitas;

C = custos;

h = período de investimentos;

t = ano em que ocorre o custo ou a renda;

i = taxa de desconto.

Ao final da análise, sendo o VPL positivo, isso quer dizer que o capital investido será remunerado no valor encontrado para o VPL, o que resultará na viabilidade do empreendimento. Caso negativo, o investimento resultará em juízo. Por sua vez, caso seja nulo, as receitas serão suficientes apenas para pagar o custo do investimento. Dessa forma, quanto maior for o VPL, melhor retorno financeiro para o capital investido.

Para seu cálculo por meio de planilha eletrônica, utiliza-se a função 1.1.

$$= VPL(i; Vi:Vf) + Ii$$
 (1.1)

Onde:

i = taxa de juros;

Vi = saldo entre receita e despesa no ano inicial;

Vf = saldo entre receita e despesa no ano final;

Ii = investimento inicial.

1.5.4 Valor presente líquido anualizado

Trata-se de um método relativamente novo, alternativo e complementar ao anterior (VPL), inicialmente idealizado para estudo de culturas perenes. Com esse método é possível transformar a fluxo do VPL em uma série temporal uniforme, sendo o fator de correção o mesmo da "Tabela Price".

Seu cálculo é feito a partir do VPL, com a equação 1.9.

(1.9)

$$VPLA = VPL \left(\frac{i (1+i)^{n}}{(1+i)^{n} - 1} \right)$$

Esse cálculo pode ser realizado por meio de planilha eletrônica, utilizando as funções financeiras de recuperação de capital, como a função 1.2.

$$= PGTO (i; n; VPL)$$
 (1.2)

Onde:

i = taxa de juros a 8%;

n= período das atividades em "n" anos;

VPL = valor presente líquido.

1.5.5 Custo da energia elétrica

Ainda que esse não seja propriamente um método de análise econômica de um projeto, como os acima abordados, por meio dessa sistemática, será possível identificar o custo estimado para geração de energia elétrica, no caso, por meio do biogás de aterro sanitário de Macapá. Posteriormente será possível comparar com outras formas de geração ambientalmente limpa, possibilitando a tomada de decisão por parte de um empreendedor ou mesmo do poder público.

Outra vantagem desse método consiste em utilizar apenas dados relativos às despesas do projeto, isso porque esses são mais previsíveis, como menor sujeição a fatores externos. Ressalta-se a dificuldade de estimar o valor de venda da energia elétrica gerada e dos créditos de carbono de forma precisa.

Identificado o valor do custo de geração da energia elétrica pelo aterro sanitário de Macapá, será possível simplesmente compará-lo com outros formas de geração, por exemplo eólica, fotovoltaico e combustíveis fósseis, possibilitando a tomada de decisão.

Ao final, esta mesma análise poderá ser feita levando-se em consideração as receitas obtidas com a certificação de créditos de carbono, sobretudo em relação aos sistemas que não permitem, por não serem limpos.

Essa metodologia parte da ideia básica de que qualquer forma de geração de energia elétrica possui um custo e que, com esse custo, é possível gerar determinada quantidade de energia. Por meio de um sistema simples de cálculo será possível identificar o custo estimado de energia.

$$CE = \frac{CCVa}{E_c}$$

Esse custo é dado pela equação 1.10.

(1.10)

Onde:

CE = custo da energia elétrica;

CCVA = custo do ciclo de vida anualizado do sistema (VPLa);

Ec = energia elétrica consumida no período de um ano ($\Delta t = 8.760 \text{ h}$).

Utiliza-se na fórmula o valor correspondente a energia consumida e não a gerada, visto que é a energia consumida que gera receitas para o projeto. Entretanto, no presente caso, como

se estima que toda energia gerada seja consumida, poder-se-á considerar a energia consumida igual a energia gerada.

1.5.6 Métodos utilizados na pesquisa

Diante do exposto, optou-se por identificar inicialmente o Valor Presente Líquido do projeto, por ser uma sistemática simples e de fácil compreensão. Posteriormente, será calculado o Valor Presente Líquido Anualizado, permitindo-se assim, ao final, calcular o custo da energia elétrica do projeto, comparando-o com outras formas de energias limpas.

Ressalta-se que para os cálculos acima, serão considerados apenas os valores das despesas, tendo em vista a grande variação que estão sujeitos os valores da energia elétrica e dos créditos de carbono, o que dificulta, ou mesmo inviabiliza, a fixação de preços que refletirão a realidade futura.

A ausência de inclusão das receitas obtidas com a venda da energia elétrica será suprida, tendo em vista que, em última análise, busca-se identificar a valor da energia elétrica gerada pelo projeto.

Com relação às receitas decorrentes dos créditos de carbono, estas serão consideradas no cálculo do valor da energia, de forma separada, com base em valores objetivos em projetos semelhantes existentes no Brasil.

1.6 Financiamento do Empreendimento

Empreendimentos para geração de energia a partir de biogás de aterro sanitário, sobretudo se enquadrado com Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, podem ser financiados de diversas maneiras, sendo interessante fazer uma breve explanação dos mais utilizados.

1.6.1 Financiamento tradicional

Trata-se da mais comum forma de financiamento, onde o empreendedor do projeto pega dinheiro emprestado de uma entidade financeira com recurso (corporativo) ou sem recurso (financiamento do projeto). A maior problemática dessa forma de financiamento é a alta taxa de juros que pode comprometer a viabilidade econômica do empreendimento.

1.6.2 Financiamento de "carbono"

Essa espécie de financiamento somente será possível se o empreendimento for enquadrado como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Nesta hipótese o responsável pelo empreendimento assina um Contrato de Venda e Compra de Reduções de Emissões (ERPA) com a entidade financiadora, que por sua vez, fica com o direito total ou parcial dos créditos de carbono a serem certificados em determinado período, até a quitação do financiamento.

A grande vantagem desse empreendimento consiste em ser desnecessária a mobilização de capital por parte do empreendedor.

1.6.3 Financiamento por meio de capital de terceiros (concessão tradicional)

Essa modalidade tem sido muito utilizada pelas prefeituras municipais detentoras dos aterros. Aqui, o município proprietário dos direitos do biogás concede, por meio de licitação, os direitos de explorar o biogás do aterro a um particular em troca de *royalty*, ou seja, em barganha de remuneração paga pelo particular.

A grande vantagem desse modelo é que não resulta em qualquer ônus financeiro para o poder público, além de ser beneficiado pelos pagamentos feito pelo particular.

1.6.4 Financiamento por meio de parceria público privada (concessão patrocinada)

Trata-se de um modelo instituído pela Lei Nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004, onde é feita a concessão de determinado serviço público ou obra pública, onde o particular além de receber pela exploração do serviço, também receberá uma contraprestação pecuniária do parceiro público.

A inviabilidade dessa modalidade consiste na imposição de um ônus financeiro para a municipalidade, além de legalmente somente ser aplicável para contratos acima de R\$ 20 milhões.

1.6.5 Modelos tradicionais subsidiados

Essa hipótese nada mais é do que uma forma tradicional de financiamento, conforme descrito acima, com a peculiaridade de que a linha de financiamento não é voltada

propriamente para o lucro, e sim para o desenvolvimento. Dentro dessa modalidade estão linhas especiais dos Bancos de Desenvolvimento (BNDES e Caixa Econômico Federal), além de Programas Governamentais específicos. O Banco Mundial também apresenta linhas de créditos para projetos de créditos de carbono.

Outra possibilidade são os Fundos de Carbonos mantidos por alguns bancos como o World Bank Carbon Funds, Nordic Environment Investment Corp (NEFCO), KfW e Gazprom.

A título de exemplo, o Banco Mundial possui uma linha de crédito específica para empreendimentos de geração de energia elétrica, para pagamento em até 10 anos, com taxa de juros de 8% ao ano e Sistema de Amortização Constante – SAC.

2 O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO E O REGRAMENTO LEGAL

2.1 Mercado de Carbono

Para uma melhor compreensão do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, é preciso conhecer o mercado de carbono e seu funcionamento. Este mercado nada mais é que "[...] o termo popular utilizado para denominar os sistemas de negociação de unidades de redução de emissões do GEEs." (DA COSTA, 2011). Para Rosenberg e Geyser (2005), consiste numa nova forma de gestão de riscos no ambiente contemporâneo.

Esse mercado permitirá que se reduzam suas emissões de gases de forma menos onerosa (VICTOR, 2001). Isto porque, apesar de que no âmbito internacional a responsabilidade pelo cumprimento das metas de redução seja dos países do Anexo I, a maior parte do comércio será concluída por empresas e indivíduos, que terão responsabilidade em âmbito interno (VICTOR, 2001).

Da celebração do Protocolo de Quioto até por volta do ano 2000, havia uma grande concentração dos vendedores de crédito de carbono nos países desenvolvidos. Mas esse quadro passou a mudar em 2001, por meio do Protocolo de Quioto, que viabilizou aos mercados dos países em desenvolvimento que comercializassem créditos de carbono, vendendo-os aos países desenvolvidos. O Banco Mundial estima que o mercado global de carbono tenha crescido a um valor de US\$ 64 bilhões em 2007, dobrando seu tamanho em um ano a partir da estimativa de US\$ 31 bilhões em 2006 (MATHEWS, 2008).

No Brasil a maior parte dos projetos é relacionada ao setor energético, como pequenas hidrelétricas, biodigestores e termoelétricas que usam a biomassa como combustível e utilização de biogás oriundo de aterros sanitários. Os principais estudos são mantidos pela Universidade de São Paulo – USP.

O número de projetos brasileiros ainda é pequeno se comparado à Índia e China, líderes entre os países em desenvolvimento.

Os fundamentos para o mercado de carbono parte da necessidade dos países desenvolvidos reduzirem suas emissões em cumprimento do Protocolo de Quioto e do grande

custo envolvido na redução de centenas de milhões de toneladas de emissões por ano. Dentro da lógica do Protocolo de Quioto, podem-se identificar três formas de negociação, que serão abaixo tratadas.

Além do mercado criado pelo Protocolo de Quioto, há os mercados voluntários de carbono. Trata-se de mercados paralelos "onde projetos privados são negociados em bolsas de carbono localizadas principalmente nos EUA, possuindo, no entanto, regras e parâmetros diferentes dos adotados pela ONU em razão do Tratado de Kyoto." (DA COSTA, 2011).

2.1.1 Lógica do mercado de carbono

O Protocolo de Quioto impôs obrigações de reduções das emissões de GEEs aos países do Anexo I. Como esses países terão que reduzir suas emissões, os governos impõem ao seu setor produtivo o dever de reduzir as emissões, por meio de impostos sobre emissões de gases causadores do efeito estufa, entre outras formas.

Essas entidades terão que adequar sua forma de produção para cumprimento das metas impostas pelos governos locais ou poderão se socorrer de outra forma prevista no Protocolo de Quioto, qual seja, por meio da comercialização de créditos de sequestro ou redução de gases causadores do efeito estufa.

Por esse conceito, os países ou empresas que reduzirem suas emissões de gases abaixo das metas estipuladas, terão o direito de vender este crédito excedente para aqueles que não cumpriram, seja outro país ou empresa.

Entretanto, o custo estimado para redução das emissões de gases nos países desenvolvidos é extremamente alto se comparado ao custo de redução de emissões em países em desenvolvimento. Com base em estudos feitos pela Universidade do Colorado e pelo Executive Office of President (EOP) sobre o custo de redução de uma tonelada de CO₂ nos Estados Unidos, chegou-se ao valor entre US\$ 100 e US\$ 200. Com a utilização dos mecanismos de flexibilização do Protocolo de Quioto, esse custo poderia cair pela metade (CEBDS, 2009).

Sendo assim, o Protocolo prevê métodos aceitos para realizar as reduções das emissões de gases.

A forma preferida por vários países consiste em aperfeiçoar a eficiência na utilização e na transmissão de energia, processos industriais e sistema de transporte. Outra forma consiste

na substituição de combustíveis muito poluentes (carvão mineral ou diesel) por outros menos poluentes.

O Protocolo prevê ainda a possibilidade de compensar as emissões de gases com a absorção de CO₂ pela vegetação. Esse método pode ser muito vantajoso para países com aptidão florestal. Por fim, o cumprimento das metas de redução pode ser obtido com a compra de RCEs (Reduções Certificadas de Emissões) decorrentes de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

2.1.2 Surgimento

As raízes para o mercado de carbono surgiram na Convenção de Mudança Climática que ocorreu em junho de 1992, na cidade do Rio de Janeiro, onde as nações participantes se comprometeram a ratificar uma convenção para desenvolver mecanismos para diminuir as emissões dos gases do efeito estufa.

Entre esses mecanismos estavam projetos para absorção de CO₂ por meio do sequestro de carbono.

Mas a consolidação do mercado de carbono veio com o Protocolo de Quioto celebrado em 1997, onde ficou assumido um compromisso mais rígido para redução das emissões de gases do efeito estufa pelos países signatários. Dentro desse contexto, a redução das emissões passa a possuir valor econômico.

Segundo Barreto, Freitas e Paiva (2009), as vantagens ambientais e econômicas do mercado de créditos de carbono, tanto para o Brasil quanto para o mundo, implementadas pelo Protocolo de Quioto, em relação aos demais programas ambientais, consiste na possibilidade de aferição de lucro com a preservação ambiental, ou ao menos reduzir custos.

2.1.3 Credito de carbono e carbono equivalente

Definiu-se então uma nova unidade conhecida como "crédito de carbono", que corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂). O crédito de carbono passou a ser a unidade básica de negociação. A redução de emissão dos demais gases do efeito estufa também pode ser comercializada, mas esses gases devem ser convertidos em "créditos de carbono", por meio do conceito de Carbono Equivalente.

Obtêm-se o valor do carbono equivalente pela multiplicação da quantidade que deixou de ser emitida do gás do efeito estufa pelo seu potencial de aquecimento global. A referência é o gás CO₂, cujo potencial foi definido em 1 carbono equivalente.

Tomando por exemplo o gás metano (potencial 21), a emissão de uma tonelada de metano equivale a 21 créditos de carbono. A tabela 1 traz o valor equivalente dos principais gases do efeito estufa.

CARBONO EQUIVALENTE			
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1		
Metano (CH ₄)	21		
Óxido Nitroso (N ₂ O)	310		
Hidrofluorcarbonetos (HFCs)	140 ~11700		
Perfluorcarbonetos (PFCs)	6500~9200		
Hexafluoreto de enxofre (SF ₆)	23900		

Tabela 1- Valores de Referências dos Gases do Efeito Estufa

Fonte: Vanzin, 2006.

2.1.4 Mercado obrigatório de carbono

Dentro da sistemática do Protocolo de Quioto, têm-se basicamente três espécies de negociação de permissão de emissões de gases, cada uma delas relacionada a um dos instrumentos de redução do Protocolo.

A primeira espécie de negociação tem relação com a Implementação Conjunta (Joint Implementation). Por meio dessa forma de negociação, países do Anexo I, a fim de cumprir suas metas, podem transferir ou adquirir de outro país, igualmente do Anexo I, unidades de redução de emissões de gases resultante de projetos visando diminuir as emissões antrópicas por fontes ou o aumento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa em qualquer setor da economia (UNFCCC, 1997).

A segunda forma de negociação se refere ao comércio de emissões relativas ao International Emissions Trading. Previsto no art. 17 do Protocolo, permite que os países do Anexo I vendam para outros países do Anexo I, na forma de créditos de carbono, direitos de emissão provenientes das reduções que excederem suas metas previstas no Anexo B (LAMARCA JÚNIOR, 2007).

Por fim, a terceira forma de negociação é a única que está aberta aos países não constantes do Anexo I e se refere às reduções de emissões baseadas em projetos de

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Prevista no art. 12 do Protocolo, permite que países sede vendam Reduções Certificadas de Emissões para países do Anexo I e entidades lá sediadas.

Como o Protocolo de Quioto não limita as formas de negociação de redução das emissões, diversos mercados foram desenvolvidos, sendo o mais importante o European Trading Scheme – ETS (Esquema de Comércio Europeu), sendo obrigatório para os países da União Europeia. Ainda assim, esse mercado possui uma dimensão internacional na medida em que incorpora operações de créditos emitidos no âmbito de organizações exteriores à UE, particularmente os créditos emitidos no âmbito do MDL (MATHEWS, 2008).

Esse sistema, fundado na lógica de "limitar e negociar", tem início com a fixação de limite de emissões por cada país (plano nacional de alocação) com base no Protocolo de Quioto e em metas nacionais. Esses limites representarão licenças que serão distribuídas para empresas que estarão por elas limitadas. Estas licenças, ainda que nacionais, podem ser negociadas por toda a União Europeia (MONTAGNOLI e VRIES, 2009).

Críticas ao sistema decorrem do fato de não incluir emissões provenientes do transporte, residências e setores públicos e pela possibilidade de serem concedidas licenças livres às empresas.

O sistema europeu também possibilita a aquisição de créditos de carbono por meio de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo e Implantação Conjunta. Ele engloba 25 países e aproximadamente 12 mil indústrias e empresas de serviços públicos.

2.1.5 Mercado voluntário de carbono

Além do mercado de carbono regrado pelo Protocolo de Quioto, conhecido como "Mercado Regulado", voltado para cumprimento de metas por parte dos países do Anexo I, surgiu o denominado "Mercado Voluntário", onde são negociados créditos de carbono (*VERs* - *Verified Emission Reduction*) adquiridos por entidades públicas, empresas privadas, ONGs e até mesmo cidadãos, por meio de projetos de redução.

Este mercado inclui todas as negociações de créditos de carbono realizadas por empresas que não possuem metas de redução impostas pelo Protocolo de Quioto. Para implementar essa ideia, os países desenvolvidos e as indústrias desenvolveram um novo mercado para o carbono, voltado para o comércio do carbono capturado e mantido pela vegetação ou deixado de ser emitido.

Essas reduções voluntárias de carbono são, em regra, instrumentos financeiros negociáveis denominados Reduções Verificadas de Emissão (VERs), que correspondem uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) reduzida ou deixada de ser emitida.

Está em amplo crescimento, em grande parte devido ao "boom verde" das empresas americanas. Em 2008 houve uma duplicação das negociações de créditos de carbono, sendo esse negociado em média por US\$ 7,34/tCO₂ e, com negociações de 123 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO₂), que movimentaram US\$ 705 milhões. No ano anterior as negociações totalizaram 65 milhões de toneladas, com movimentação de US\$ 331 milhões.

A regularidade desses créditos é atestada por uma entidade independente do sistema das Nações Unidas.

O surgimento do mercado voluntário decorreu das regras rígidas e da dificuldade de aprovação junto à ONU dos projetos, visto que todas as atividades de MDL obedecerão às diretrizes e orientações de um Conselho Executivo.

Trata-se de um mercado voluntário e autorregulado de carbono "socioambiental".

O primeiro mercado de carbono dessa espécie foi o UK Emission Trading Scheme, do governo do Reino Unido, que teve suas operações iniciadas em 11 de março de 2002. Possui regras próprias de comercialização de emissões, sendo a participação voluntária. Para incentivar as empresas a participarem, o governo concede incentivos por meio de descontas nas taxas de uso de energia para aquelas que atinjam suas metas (LAMARCA JÚNIOR, 2007).

Porém, o melhor exemplo de mercado voluntário de carbono é o da Bolsa do Clima de Chicago (Chicago Climate Exchange – CCX). Consiste em um projeto piloto do sistema de teto e comércio de emissão (cap-and-trade). Surgiu de um acordo entre companhias norte-americanas que decidiram voluntariamente limitar suas emissões de gases do efeito estufa entre os anos de 2003 e 2006, por meio de reduções internas, compra de permissões de outras companhias participantes ou compra de VER's de projetos que cumpram regras específicas (COSTA, 2004).

2.1.6 O Mercado de commodities de carbono

A estrutura de um mercado de carbono é semelhante aos demais mercados de *commodities*³. Inicialmente se faz necessário, por parte do governo, definir o limite de emissões de gases a ser comercializado, em forma de permissões, que será então disponibilizado para negociação. Cada permissão consiste no direito de emitir certa quantidade de gases do efeito estufa.

Diversos estudos já foram feitos abordando a viabilidade econômico-financeira para negociação de créditos de carbono.

A Bolsa de Mercadorias e Futuros – BM&F foi pioneira entre os países em desenvolvimento ao instituir a comercialização de carbono por meio do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões – MBRE. Trata-se de um mercado facultativo e alternativo às vendas direta de créditos ou nas bolsas dos países desenvolvidos.

O mercado de carbono certamente apresenta grande oportunidade de negócios. Os interessados na aquisição de créditos de carbono podem sinteticamente serem divididos em quatro grupos: governos, grandes investidores privados, pequenos investidores privados e ONG's.

2.1.7 Vantagens do mercado de carbono

Para formalizar o controle sobre as emissões de gases, a primeira ideia foi tributar os poluidores, mas isso traria consequência no custo final ao consumidor. Surgiu então a ideia de negociar o direito de poluir. Dessa forma um país com baixo índice de poluição poderia vender "seu direito de poluir" a outro país com alto nível de poluição.

A ideia que teve início em relações entre países chamou a atenção de empresas interessadas nessa negociação.

Um dos primeiros países a legislar sobre a matéria foram os Estados Unidos. Lá a sistemática funciona da seguinte forma: o Environment Protection Agency, órgão ambiental americano, emite todo ano direitos para emissão de determinada quantidade de gases do efeito estufa, que é reduzido a cada ano. Se determinada empresa conseguir emitir quantidade inferior ao seu limite, ela poderá negociar esse saldo com outras empresas que não cumpriram seus limites.

³ Produtos e mercadorias base, homogêneos, de alto consumo, pouca industrialização, produzidos e comercializados por muitas empresas com qualidade quase uniforme, e que possuem grande importância na economia mundial, em regra negociados em bolsas.

A vantagem desse sistema em relação à tributação é que **os** custos operacionais são arcados pelo mercado de *commodities* e não pelo consumidor final. Outro benefício apontado por CEBDS (2009) é que:

Ao agregar valor comercial aos resultados de redução de emissões, o MDL confere, de imediato, maior competitividade às práticas de conservação e uso de fontes renováveis de energia. No momento em que o país é pressionado pelo aumento da demanda por recursos energéticos (em especial de eletricidade), abre-se ao empresariado um importante leque de novas oportunidades de negócios. Negócios e empreendimentos de absoluta consistência econômica e ambiental, que poderão ser decisivos para a oferta dos recursos energéticos necessários ao desenvolvimento e à urgente diminuição das desigualdades regionais do Brasil. (CEBDS, 2009).

Ainda que o mercador de carbono não vá solucionar o problema do aquecimento global, sua sistemática tende a amenizá-lo, até que uma melhor solução esteja disponível.

2.1.8 Mercado de carbono no Brasil

Como o Brasil não consta do Anexo I do Protocolo de Qui**ot**o, sua participação no mercado obrigatório de carbono se limita aos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (COSTA, 2004). Ainda assim, indiscutivelmente o Brasil possui um grande potencial para contribuir para a redução dos GEE, logo, por consequência, para participar ativamente do mercado de créditos de carbono. Dessa forma, torna-se imprescindível que o país estimule um mercado próprio de carbono, regido por regras próprias e com mecanismos locais de comercialização.

Surge ainda a possibilidade de integração desse sistema nacional com outros sistemas internacionais, o que possibilitaria maiores volumes de negócios.

A regulação da matéria no país se deu com a publicação do Decreto Presidencial de 07 de julho de 1999, que criou a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, com o objetivo de articular as ações de governo decorrentes da Convenção Quatro das Nações Unidas sobre mudança do clima e seus instrumentos subsidiários (COSTA, 2004).

A Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei Federal Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, prevê um compromisso nacional e voluntário de redução das emissões de GEE entre 36,1% e 38,9% até 2020. A mesma lei prevê um mercado interno com característica voluntária, podendo passar para um sistema obrigatório ao longo do tempo.

Da mesma forma, a PNMC incentivará a promoção e o desenvolvimento de pesquisas científico-tecnológicas, além de processos e práticas voltadas a amenizar a mudança climática

por meio da redução de emissões antrópicas. Para isso, a lei prevê o estabelecimento de padrões ambientais e de metas, quantificáveis e verificáveis, para a redução de emissões antrópicas por fontes e para as remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa.

Outro ponto favorável da lei é a previsão da utilização de instrumentos financeiros e econômicos para promover ações de mitigação e adaptação à mudança do clima, além de medidas fiscais e tributárias para estimular a redução das emissões e a remoção de gases de efeito estufa.

Além da norma federal, assim como ocorreu nos EUA, legislações estaduais voltadas à redução das emissões de GEE, como as de Minas Gerais e São Paulo, que preveem registro público de emissões de gases de efeito estufa, de adesão voluntária por parte das fontes emissoras, podem contribuir para a consolidação de um mercado interno de carbono.

O Brasil tem tido ótimos resultados em relação ao mercado obrigatório de carbono, sendo um dos maiores organizadores de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Citam-se como exemplo os projetos da prefeitura municipal de São Paulo de captação de gás metano nos aterros Bandeirantes, em Perus, na zona norte da Capital, e São João, em São Mateus, na zona leste. Os créditos obtidos desses empreendimentos foram leiloados na Bolsa BM&F/Bovespa. No primeiro, o município negociou por volta de 800 mil créditos de carbono por €16.20 cada, arrecadando 12 milhões de euros. Já no segundo leilão foram comercializados 713 mil créditos de carbono por meio de leilão na Bolsa BM&F/Bovespa. O valor mínimo na abertura do leilão foi de 14,20 euros. Já o preço final de venda foi de 19,20 euros, valor superior a 35% sobre o preço mínimo, sendo o lance vencedor da Mercuria Energy Trading, de Genebra (Suíça).

Por sua vez, no mercado voluntário as coisas não estavam tão bem. A primeira tentativa de leiloar créditos de carbono no mercado voluntário no Brasil ocorreu em 09 de abril de 2010, quando foram ofertadas 180 mil unidades, referente a 180 mil toneladas de CO₂ que deixaram de ser emitidas, com preços mínimos entre R\$ 10,00 e R\$ 12,00. Os créditos ofertados eram referente a nove projetos de cerâmicas que reduziram emissões ao substituir lenha nativa por biomassa (como bagaço de cana e casca de arroz), sediados em São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Pará, Pernambuco e Sergipe.

Entretanto, nenhum dos lotes foi arrematado pelos participantes brasileiros e estrangeiros.

Apesar disso, seja no obrigatório ou mesmo no voluntário, o mercado de carbono pode ser importante para o Brasil diante de sua condição natural. Países desenvolvidos que não

consigam cumprir suas metas podem ter no Brasil a possibilidade de atingi-las por meio de projetos de reflorestamento, adoção de tecnologias limpas, entre outros.

O comércio de carbono no Brasil tem se desenvolvido nos últimos anos. Em 2007 o país já tinha 61 empresas com créditos emitidos pela ONU. Estima-se que o volume negociado ultrapasse 90,4 milhões de euros.

O comércio de carbono apesar de indiscutivelmente não ser uma solução definitiva para o problema de emissões de gases, traz uma carga de justiça por poder favorecer economias em desenvolvimento que pouco contribuem para o aquecimento global, mas sofrem de forma acentuada as consequências. A sistemática tem sua lógica, pois incentiva que empresas adotem tecnologias que reduzam as emissões na medida em que, caso reduzam, podem negociar seus créditos, ou seja, o investimento terá retorno financeiro.

Porém, para que o sistema de crédito de carbono funcione, é necessário que haja um equilíbrio na quantidade de emissões autorizadas pelo poder público, evitando que em decorrência de um limite muito grande para emissão dos GEE, o preço dos créditos de carbono seja muito baixo, inviabilizando investimentos no setor.

Se as empresas estiverem autorizadas a uma emissão muito grande, o valor dos créditos despencará, resultando em prejuízo para as empresas que investiram na redução, comprometendo todo o sistema. Já se a quantidade de licenças for muito baixa, resultará num elevado valor dos créditos de carbono, o que também prejudicará o sistema.

Entretanto, eventuais distorções podem ser reguladas pelo órgão responsável com o aumento ou redução dos limites de emissões, que manterá o valor das licenças num patamar razoável.

Durante os 12 dias de debates da Conferência das Partes nº 15 – COP15, promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU), no final de 2009, temas polêmicos foram levados à discussão. Entre eles um certamente interessou ao Brasil, a possibilidade de geração de créditos de carbono com o desmatamento evitado e reflorestamento.

Percebe-se assim, que além de projetos de MDL na área de combustíveis renováveis, muitas outras oportunidades para o Brasil surgem no mercado de carbono, podendo ser não apenas mais uma fonte de investimento e capital estrangeiro, mas também uma forma de modernização da indústria nacional, com a absorção de tecnologia transferida pelos países investidores.

2.2 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL

Criado na Conferência de Quioto consiste em "um instrumento pelo qual os países desenvolvidos podem investir em projetos em países em desenvolvimento, com a promoção de sequüstro de carbono, contabilizando redução em suas emissões." (BARRETO, FREITAS e PAIVA, 2009). Trata-se de uma ferramenta original na arena internacional, projetada para lidar com o problema mundial de redução de gases de efeito estufa que são prejudiciais para o sistema climático mundial (THORNE, 2001).

Sua origem decorreu da proposta do Brasil para criação de um fundo de Desenvolvimento Limpo, formado com recursos financeiros dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas de redução de emissões de gases do efeito estufa. Diante da recusa da ideia por alguns países do Anexo I, houve sua transformação no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MCT, 2009).

Por meio dele os países desenvolvidos, podem atender suas metas de redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE), por meio de *offsets* ganhos a partir de projetos que financiam nos países sem metas definidas pelo Protocolo de Quioto ou pela compra de créditos de carbono de projetos que não financiem (RUTH, WORRELL e PRICE, 2000). Para isso, uma nação do Anexo I pode financiar um projeto em um país em desenvolvimento (que não tem meta de atingir) e posteriormente reivindicar os de crédito de carbono decorrente (THORNE, 2001). Neste caso, trata-se de um projeto bilateral. Mas também é possível a existência de projetos unilaterais. Nessa situação, o financiamento não é feito por um país ou empresa do Anexo I. Logo para se beneficiar dos créditos de carbonos, deve comprá-los de quem os detenha. Finalmente, ainda existe o conceito de projetos multilaterais, onde há intervenção de fundos de carbono intermediando os países do Anexo B, por meio de captação de recursos para financiamento dos projetos.

Segundo MCT (2009):

Esperava-se que sempre houvesse um participante de projeto pertencente ao Anexo I e outro ao não-Anexo I desde o início do projeto. Entretanto, na prática, isto não ocorre necessariamente. Um exemplo disto é o fato de que a maior parte dos projetos brasileiros registrados pelo Conselho Executivo do MDL tem sido desenvolvida apenas por participantes nacionais, sem envolvimento direto de Partes no Anexo I. Estes projetos são conhecidos como "projetos unilaterais".

Entretanto, para receber os créditos, denominados de Unidades de Redução de Emissões de Carbono (RCE), faz-se necessário comprovar uma redução adicional nas

emissões de GEE em relação às que ocorreriam na ausência do projeto (UNFCCC, 1997). Além disso, o projeto deve resultar em benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo, devendo também contribuir para o desenvolvimento sustentável no país onde o investimento for realizado (THORNE, 2001).

Como afirmam Ruth, Worrel e Price (2000), em outras palavras, a eficiência dos projetos de MDL deve ser comparada com alguns de base para quantificar a redução de carbono, e essa referência deve refletir, tanto quanto possível, o que teria acontecido na ausência do projeto de MDL.

Após a certificação, os créditos de carbono podem ser utilizados pelos países do Anexo I para cumprir suas metas nacionais de redução, permitindo que os países industrializados tenham uma maior flexibilidade para atender as suas metas de emissões e, simultaneamente, possam transferir tecnologia limpa para os países em desenvolvimento.

O MDL possui grande potencial para direcionar o capital dos países industrializados numa direção ambientalmente mais sustentável, resultando em benefícios ambientais e sociais. Segundo Werksman, Baumert e Dubash (2002), se projetado corretamente, o MDL poderia tornar-se um elemento importante do esforço mais amplo para evitar ou amenizar as mudanças climáticas induzidas pelo homem. Entretanto, para os autores, nos termos do artigo 12 do Protocolo de Quioto de 1997 e o subsequente Acordo de Marraquexe (2001), projetos de MDL são destinados a promover dois objetivos principais: ajudar as não Partes do Anexo I para o desenvolvimento sustentável e ajudar os países do Anexo I no cumprimento de suas metas de compromissos através da geração de créditos de emissão.

Prosseguem os autores afirmando que a criação de um mecanismo de mercado que promova esses objetivos vai exigir uma intervenção reguladora ativa e aprovação por parte dos governos e órgãos do Protocolo de Quioto, pois o MDL é apenas um elemento dentro de um quadro político mais amplo, elaborado no mencionado Protocolo (WERKSMAN, BAUMERT e DUBASH, 2002).

Consiste no único Mecanismo de Flexibilização que permite a participação de países não constantes do Anexo I.

Segundo Fennhan (2009), até 2009 foram desenvolvidos 4.586 projetos de MDL em 76 países em desenvolvimento, o que resultaria em uma redução das emissões de gases do efeito estufa de 2,91 Gt de CO₂ equivalente até 2012.

Outro importante objetivo do MDL é impulsionar a transferência de tecnologia, desde "Hardware" a elementos, tais como máquinas e equipamentos envolvidos na produção de processo, e ou "software" elementos, incluindo o conhecimento, habilidades e *know-how* (DECHEZLEPRÊTRE, GLACHANT e CERNA, 2007).

2.2.1 Elegibilidade para participação

Antes do início de qualquer projeto de MDL, faz-se necessário definir quais países e/ou entidades privadas podem se eleger para investir ou hospedar projetos de MDL, segundo as regras do Protocolo de Quioto.

A possibilidade de sediar um projeto de MDL está aberta apenas àqueles países que não constem do Anexo I. Também devem necessariamente ser membros das Nações Unidas. Por sua vez, para que possa ser um país investidor, este deve inicialmente constar do Anexo I e, evidentemente, ratificar os termos do Protocolo. Além disso, a participação (que possibilitará utilizar os créditos) pelas Partes do Anexo I está condicionada a implementar com sucesso outras obrigações internacionais previstas pelo Protocolo de Quioto, bem como obrigações nacionais (WERKSMAN, BAUMERT E DUBASH, 2002).

O modelo previsto no parágrafo anterior se refere a projeto de MDL bilaterais. Entretanto, na prática, sobretudo no Brasil, a maior parte dos projetos de MDL é executada de forma unilateral, ou seja, sem a participação de país investidor. Nestes casos, o próprio país sede, por meio do Estado ou da iniciativa privada é responsável pelo financiamento do projeto MCT (2009).

Por questões de soberanias, os governos nacionais podem também estabelecer seus próprios requisitos de participação e os procedimentos de aprovação para os atores não estatais (WERKSMAN, BAUMERT E DUBASH, 2002). Deve-se sempre ter em mente a voluntariedade dos projetos, sejam para os investidores ou para os países sedes.

Os requisitos finais de elegibilidade se referem aos tipos específicos de projeto, o que pode até mesmo excluir determinadas espécies de projetos, como aqueles relacionados à energia nuclear, visto que, como explica Werksman, Baumert e Dubash (2002), projetos de energia nuclear comumente têm se tornados inelegíveis pelas partes, na tentativa de restringir a utilização dessa forma de energia.

Para que os países em desenvolvimento possam participar, devem definir Autoridade Nacional Designada, cujas funções serão abordadas abaixo (FENHANN, 2005).

Além do exposto, um projeto de MDL para ser elegível, deve contribuir para o desenvolvimento sustentável no país sede. Essa exigência decorre da necessidade de evitar que os benefícios se restrinjam aos países investidores. Diante disso, o Protocolo de Quioto exige que os projetos de MDL tratam benefícios que contribuam para o desenvolvimento sustentável nos países sede dos projetos, devendo, entre outros, contribuírem para a diversidade biológica, a melhoria de emprego local, aquisição de bens e serviços locais, construção de capacidades locais, e limitação explícita sobre os tipos de projetos, tais como a exclusão de projetos de combustíveis fósseis (WERKSMAN, BAUMERT E DUBASH, 2002).

2.2.2 Adicionalidade e linha base

Dentro da lógica do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, os conceitos de adicionalidade e linha base estão relacionados e são de suma importância na elaboração e execução de um projeto.

Em última análise, visa o MDL obter uma redução líquida das emissões globais de gases do efeito estufa. Dessa forma, o Protocolo de Quioto exige que os projetos de MDL resultem em reduções de emissões adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade do projeto (UNFCCC 1997, artigo 12).

Para definição da quantidade de emissões evitadas, faz-se necessário definir a linha base do projeto, que para Werksman, Baumert e Dubash (2002) é o que teria ocorrido na ausência da atividade do projeto, ou seja, deve-se entender por linha base a quantidade de emissões atrópicas de gases de efeito estufa de determinada atividade sem o projeto de MDL. Sua definição é de extrema importância para o projeto, visto que as reduções de emissões serão calculadas a partir dela.

Para seu estabelecimento devem ser utilizados alguns dos procedimentos padrões constantes das "Ferramenta para demonstrar e avaliar a adicionalidade" e na "Ferramenta combinada para identificar o cenário da linha de base e demonstrar a adicionalidade". Para os projetos de pequena escala existem procedimentos simplificados.

Mas em qualquer dos casos há etapas em comum, como a identificação de cenários hipotéticos na ausência da atividade de projeto e procedimentos para avaliar se o mesmo seria desenvolvido sem o MDL (MCT, 2009).

Caberá a organismos independentes definir pela aceitabilidade ou não da linha base de um projeto, bem como ao país anfitrião. Deve-se ter em mente que a linha base não consiste num valor imutável, podendo ser objeto de revisão periódica durante a vida de um projeto de MDL (UNFCCC, 2002)

Por sua vez, a diferença entre as emissões reais do projeto e a linha base anteriormente definida resultará na quantidade de créditos de emiss**ões** evitadas a serem certificadas pelo projeto (WERKSMAN, BAUMERT E DUBASH, 2002). Dessa forma, a adicionalidade consiste na diferença de emissões entre a linha base (emissões sem o MDL) e as emissões após a execução do MDL. A ausência de adicionalidade implicará na rejeição do projeto de MDL. Sua previsão está no art. 12, §5°, do Protocolo de Quioto:

As reduções de emissões resultantes de cada actividade de projecto devem ser certificadas por entidades operacionais a serem designadas pela Conferência das Partes na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo, com base em:

- (a) Participação voluntária aprovada por cada Parte envolvida;
- (b) Benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima, e
- (c) Reduções de emissões que sejam adicionais às que ocorreriam na ausência da actividade certificada de projecto.

Cita-se um exemplo hipotético de uma indústria que possua emissão de 1.000 toneladas anuais de CO₂. Após a implantação de um projeto de MDL sua emissão passa a ser de 500 toneladas anuais de CO₂. Nesse exemplo, a linha base seria 1.000 toneladas e a adicionalidade seria de 500 toneladas.

A definição da adicionalidade de um projeto de MDL é de grade importância, sob pena de comprometimento de todo o sistema.

Além disso, tendo em vista que o MDL também visa promover o desenvolvimento sustentável, também deve ser considerado como adicionalidade do projeto, todos os efeitos benéficos ao meio ambiente e à sociedade em termos de qualidade de vida, tais como a geração de emprego.

CEBDS (2009) ressalta que em projetos em execução é mais fácil definir a linha base, como no exemplo acima, entretanto para novos empreendimentos essa tarefa se torna mais complexa. Para a autora:

Uma alternativa é trabalhar o cálculo da linha de base, considerando como seria desenvolvido o empreendimento (business as usual) sem a preocupação explícita de redução de emissões. Considerando as fontes de abastecimento a serem utilizadas para a expansão da oferta de energia em uma determinada região ou

localidade, outra possibilidade é calcular a adicionalidade do projeto, tendo como linha de base o padrão de emissões tradicional de empreendimentos equivalentes. Por exemplo, em uma região servida por gasoduto, pode-se ter como linha de base o padrão de emissão de uma usina térmica convencional, movida a gás. Dadas as especificidades da matriz energética brasileira e de suas projeções para o futuro, releva-se de fundamental importância a definição ainda que em linhas gerais e apenas para os próximos 10 anos de um plano nacional de suprimento energético, que delineie as principais fontes de abastecimento para cada região do país. Ao se levar em conta a fase de transição em que o país se encontra, essas definições darão amparo e consistência à linha de base e cálculo da adicionalidade dos projetos de MDL.

2.2.3 Modalidades de projetos de MDL

Ainda que formalmente não exista distinção ou classificação de espécies de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, a prática, considera**n**do a forma como será atingida a adicionalidade nos projetos de MDL, demonstra a possibilidade de identificar três modalidades de MDL: redução de emissões, emissões evitadas e resgate de carbono.

2.2.3.1 Redução de emissões

Certamente consiste na mais exemplificativa das modalidades de MDL. Nessa espécie de projeto, busca-se reduzir as emissões de GEE. Esses projetos partem da ideia de que a redução total nas emissões é impossível ou, ao menos, onerosa demais para ser executada, sendo possível pelo menos reduzir as emissões.

Sua adicionalidade será identificada pela diferença entre as emissões anteriores e posteriores à execução do projeto. Sua execução pode consistir em implantação de melhorias tecnológicas, substituição de combustíveis, conservação de energia e/ou aumento da eficiência energética, sendo facilmente mensuráveis CEBDS (2009).

2.2.3.2 Emissões evitadas

Por meio de projetos de Emissões Evitadas busca-se aumentar a oferta de energia por meio de fontes renováveis ou de baixas emissões. Com esses projetos, deve-se desenvolver meios de aumento da oferta de energia de fontes renováveis, como energia eólica e solar.

Nesse modelo, a forma de cálculo da adicionalidade é complexa, conforme explica CEBDS (2009):

Para efeito do cálculo de sua adicionalidade, um projeto na área de emissões evitadas necessariamente envolve extrapolações dos padrões de oferta e consumo de energia praticados no presente e a elaboração de um modelo consistente de emissões para o futuro, no caso de ausência do referido projeto. No caso brasileiro de energia elétrica, por exemplo, uma simples extrapolação do presente (basicamente de recursos hídricos e não emissores) seria inútil para a identificação de adicionalidade (de redução de emissões) em projetos de aumento de oferta energética. Nesse caso, a adicionalidade será mensurável mediante os planos públicos nacionais, regionais e locais de suprimento e abastecimento futuro e, ainda, se forem consideradas (com o amparo de estudos sólidos e de análises de credibilidade) as bases de abastecimento comercialmente usuais (padrão business as usual) que teriam lugar para atender ao suprimento da mesma demanda energética, sem o incentivo do MDL.

2.2.3.3 Resgate de carbono

Com projetos de MDL de resgate de carbono, retira-se o carbono da atmosfera e armazena-se em outro meio. Essa forma também conhecida como sequestro de carbono, pode se dá por meios químicos, físicos e biológicos.

O carbono retirado da atmosfera pode ser armazenado em reservatórios geológicos, poços de gás e petróleo.

Outra forma empregada é o sequestro por meio de reflorestamento, utilizando-se das plantas que, quando se desenvolvem, armazenam grande quantidade de CO_2 durante sua vida. De todas as modalidades, esta é a que apresenta maiores dificuldades para \mathbf{o} cálculo da adicionalidade.

Isso se deve, segundo CEBDS (2009), ao fato de que:

[...] cada ecossistema, cada padrão particular de degradação de áreas florestais, cada metodologia de plantio, de recuperação e/ou de preservação florestal exigem estudos muito bem amparados em bases científicas. Além disso, mais do que em qualquer outra modalidade de MDL, o resgate de carbono baseado em atividades florestais envolve questões sensíveis que dizem respeito às políticas nacionais de destinação e uso do solo. Quando se desenvolve um projeto de resgate tendo por base o plantio ou a recuperação de uma floresta, ainda que para uso industrial, como é o caso do plantio de seringueiras para extração da borracha, por exemplo, é preciso levar em consideração a sua duração e a sua permanência. Ou seja: o tempo em que a área florestal funcionará como elemento de resgate e sumidouro de carbono. Esse aspecto, além de dar ao CER uma duração específica, envolve de modo direto a questão da propriedade da terra e de sua destinação de uso, diante da legislação em vigor. (área de proteção, área de proteção permanente, área não protegida etc.).

2.2.4 Sistemas de registros

Os sistemas de registros foram estabelecidos para garantir a transparência e a credibilidade dos sistemas de transações das unidades do Protocolo de Quioto e é composto por três subsistemas: o Registro do MDL, os Registros Nacionais e o ITL (International Transaction Log). Passaremos, a seguir, por cada um desses subsistemas para esclarecer o seu funcionamento.

2.2.4.1 Registro do MDL

Criado pelo Conselho Executivo trata-se de um sistema eletrônico semelhante a um sistema bancário, que visa controlar as emissões, posses e transferências das RCEs pelas partes que não integram o Anexo I e pelos participantes de projetos por eles autorizados. Por meio dele as unidades são emitidas e transferidas para as contas dos participantes de projetos dos países que não fazem parte do Anexo I no Registro do MDL, podendo também ser transferidas para as contas dos participantes de projeto dos países no Anexo I nos seus respectivos Registros Nacionais (MCT, 2009).

Ressalta-se a impossibilidade de transferência de RCEs entre contas no Registro do MDL. A função de administrador do Registro do MDL é desempenhada pelo Secretariado.

Cabe ao Registro do MDL, por meio da internet, publicar as informações não confidenciais acerca das contas, das atividades de projeto, das transações, entre outras (MCT, 2009).

2.2.4.2 Registros Nacionais

Diferentemente do Registro do MDL, os Registros Nacionais se destinam apenas aos países do Anexo I, devendo cada um possuir um Registro Nacional, para garantir a correta contagem de emissão, posse, tranferência e aquisição das diversas unidades previstas no Protocolo de Quioto (MCT, 2009).

Por meio dele, os países do Anexo I podem negociar RCEs entre si, sendo permitido o comércio de RCEs entre contas nos Registros Nacionais. A administração do Registro Nacional cabe a uma organização indicada por cada parte.

Desde que respeitadas as regras internacionais aplicáveis à transação de RCEs, cuja fiscalização cabe ao ITL (International Transaction Log), além de utilizar a forma de uma base de dados eletrônica padronizada, os Registros Nacionais podem ter regras nacionais próprias.

Da mesma forma que o Registro de MDL, os Registros Nacionais devem publicar na internet as informações não sigilosas relativas às contas, à quantidade total de unidades, às atividades de projeto, às entidades autorizadas pela Parte a participar dos mecanismos do Protocolo de Quioto, entre outras (MCT, 2009).

2.2.4.3 International Transaction Log - ITL

A última forma de registro é denominada de *International Transaction Log* (ITL). Mais do que um mero sistema de registro, o ITL é um mecanismo essencial do sistema de registro do MDL, responsável por controlar a comunicação, transferência e aquisição de unidades entre todos os registros, por meio de base eletrônica de dados.

O ITL é mantido pelo Secretariado4, responsável pela verificação e validação de todas as transações de unidades previstas pelo Protocolo de Quioto, podendo interromper qualquer negociação que viole as regras previstas pelo Protocolo.

Como dito, a maior parte das transações das unidades são limitadas aos países do Anexo I, visto que os países que não a integram, apenas possuem contas no Registro do MDL, sendo este o caso do Brasil.

Para permitir maior liquidez no mercado de carbono, o registro da Comunidade Europeia (CITL) foi devidamente incorporado pelo ITL.

2.2.5 Procedimento para elaboração e aprovação de MDL

Na elaboração de um projeto de MDL é preciso sempre ter em mente o disposto no Princípio nº 12, do Protocolo de Quioto. Nesse sentido, deve o projeto visar possibilitar aos países do Anexo I atingirem suas metas de redução, bem como viabilizar um desenvolvimento sustentável ao país sede do projeto.

Es**s**es projetos devem passar por um conjunto de etapas comuns, iniciando com a ideia do projeto, passando para sua implementação e terminando com as emiss**ões** de créditos, onde es**s**es serão certificados (BAUMERT e KETE, 2000).

No desenvolvimento do projeto deverão ser conduzidos estudos de viabilidade para obter aprovação do governo local. Em seguida, o projeto será submetido a uma organização

⁴ Órgão responsável pelas ações organizacionais, operacionais, de coordenação, suporte e integração interna e externa da Convenção das Partes (MCT, 2009).

independente para validá-lo, garantindo que o mesmo atenda os requisitos para Projetos de MDL (WERKSMAN, BAUMERT e DUBASH, 2002).

Segue-se com o registro junto ao Conselho Executivo do MDL, instituição criada pelo Protocolo de Quioto, responsável por supervisionar o mecanismo.

Por fim, já durante a execução, cabe aos participantes do projeto monitorar o desempenho do projeto de forma transparente e verificável, visto que todos os projetos devem ter suas reduções de emissões verificadas de forma independente, para somente após, terem os créditos emitidos (WERKSMAN, BAUMERT e DUBASH, 2002).

A estrutura básica de funcionamento do mercado de carbono é traçada pelo Protocolo de Quioto. Inicialmente os países que receberão o projeto devem designar uma Autoridade Nacional Designada (AND), responsável por aprovar os projetos (MICHAELOWA e JOTZO, 2003). Por questão de soberania, cabe a essa autoridade definir se o projeto contribui para o desenvolvimento sustentável do país, além de aferir se está de acordo com os demais requisitos (THORNE, 2001).

Com designação da Autoridade Nacional Designada, será possível ao país decidir sobre as taxas cobradas para os proponentes do projeto. Por exemplo, Sri Lanka cobrar 1% das RCEs estimadas. Além disso, os países poderiam estipular a cobrança de um imposto sobre RCEs parecido com *royalties* para a exploração de recursos naturais (MICHAELOWA e JOTZO, 2003).

Para aprovação do projeto, deve esse comprovar que realmente reduzirá as emissões em relação a uma base de emissões previstas que teriam ocorrido sem o projeto (adicionalidade).

Tanto entidades públicas como privadas podem desenvolver projetos de MDL. Mas em ambos os casos as atividades de projeto do MDL, bem como as reduções de emissões de gases de efeito estufa ou aumento de remoção do CO₂ a estas atribuídas, deverão ser submetidas a um processo de aferição e verificação por meio de instituições e procedimentos estabelecidos abaixo especificados.

2.2.5.1 Exigências Básicas para Projetos de MDL

Um projeto somente poderá ser considerado como de MDL e por consequência ser aprovado, gerando créditos de carbono, se os benefícios decorrentes forem de longo prazo, reais e mensuráveis objetivando a redução da mudança climática.

Por decorrência lógica, o projeto deve oferecer uma redução adicional frente à inexistência do projeto, adicionalidade (WILSON, 2007). O projeto de MDL deverá ser aprovado pelo país hospedeiro do ponto de vista das políticas e planos nacionais, benefícios para efetiva redução de emissões e sustentabilidade (CEBDS, 2009).

2.2.5.2 Documento de Concepção do Projeto (DCP)

Para serem reconhecidos e por consequência gerarem créditos de carbono, inicialmente é necessário elaborar o Documento de Concepção do Projeto (DCP). Trata-se de um documento padronizado pelas normas internacionais, no qual constam todas as informações de determinada atividade do projeto de MDL, como informações técnicas, organizacionais, adicionalidade, metodologia de definição da linha base e de monitoramento. Deve ser necessariamente acompanhado de instruções específicas para orientar os participantes do projeto no processo de concepção e apresentação das informações e documentos exigidos (MCT, 2009).

Deve haver uma descrição geral do projeto com título de atividade, sua descrição técnica, tecnologia empregada, forma pela qual haverá redução de emissão e forma pela qual atingirá o desenvolvimento sustentável.

Outro ponto fundamental necessariamente presente no projeto diz respeito à metodologia aplicada para definição da linha base, adicionalidade e de monitoramento. A linha base servirá para definição da adicionalidade, que por sua vez refletirá diretamente na certificação de créditos de carbono.

Por meio do plano de monitoramento será possível acompanhar as medidas adotadas pelo projeto, com criação e manutenção de um arquivo onde serão documentas de forma cronológica as etapas envolvidas nos cálculos da redução de emissões e das fugas, seguindo os protocolos usuais de planos de monitoramento de processos e de meio ambiente, com detalhamento de todos os passos a serem obedecidos; os parâmetros e respectivos equipamentos de medição ou métodos para estimativa; frequência de medição; verificação, responsáveis, controles de qualidade e de garantia da qualidade; programas de manutenção preventiva, calibração; e outras atividades indispensáveis à verificação de acurácia do processo e de credibilidade dos resultados (MCT, 2009).

Também deve constar do DCP quando irá iniciar o projeto, sua duração e período de obtenção de créditos de carbono. Este poderá ser de 10 anos sem possibilidade de renovação ou de sete anos com possibilidade de duas renovações (total de 21 anos).

Os projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo não estão isentos de obterem as respectivas licenças, incluindo as ambientais. Tratando-se de empreendimento que cause significativos impactos ambientais, sob o ponto de vista dos participantes do projeto ou do país anfitrião, será necessária a elaboração de estudo de impacto ambiental e seu respectivo relatório. Caso contrário, será cobrada apenas a apresentação de documentos sobre possíveis impactos ambientais.

Por fim, deve constar do projeto um resumo das consultas feitas a diferentes públicos de interesses e da forma como foram levados em consideração nas decisões relativas à atividade do projeto.

2.2.5.3 Validação do projeto

O Processo de Validação do projeto tem início com a análise de sua(s) atividade(s) por uma Entidade Operacional Designada (EOD), onde será verificado se nele consta todas as exigências acima especificadas.

Para ser autorizada a essa validação, a EOD deve estar credenciada junto ao Conselho Executivo para aquela determinada atividade.

Segue-se com uma visita ao empreendimento e checagem da documentação. Caso necessário, serão solicitadas alterações e complementações, entre outras providências, de forma a garantir que a atividade de projeto cumpre a regulamentação do MDL, antes de solicitar seu registro ao Conselho Executivo (MCT, 2009).

Posteriormente, o projeto deve ser apresentado à Autoridade Nacional Designada (AND) para aprovação das atividades de projeto do MDL por meio de Carta de Aprovação. Caberá à AND nesse momento atestar o caráter voluntário das partes e que o projeto contribui para o desenvolvimento sustentável no país sede. Sendo o projeto bilateral, será necessária a aprovação pelas AND de ambos os participantes.

No Brasil a Autoridade Nacional Designada é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC).

Com a validação do projeto, será possível sua instalação em âmbito nacional. Ressaltase que a validação não dispensa as demais licenças, incluindo as ambientais.

2.2.5.4 Registro do projeto

Com a validação e obtenção da Carta de Aprovação, será possível o envio do projeto para registro no órgão gestor dos projetos de MDL da ONU (Executive Board), âmbito internacional, com o pagamento da taxa de registro.

Inicialmente é feita uma análise para verificar se a documentação enviada está completa. Após o registro do projeto, este será divulgado publicamente no site da Convenção.

Ressalta-se que além da aprovação, é possível que o Conselho Executivo recuse o projeto de plano ou condicione seu registro a ajustes a serem feitos pela Entidade Operacional Designada (EOD) e aos participantes.

2.2.5.5 Monitoramento do projeto

Antes que possam ser negociados os créditos de carbono, há exigência de que os carbonos evitados sejam sujeitos a um processo de verificação e certificação por uma entidade credenciada à ONU (BOYD, HULTMAN, ROBERTS, CORBERA, COLE, BOZMOSKI, EBELING, TIPPMAN, MANNA, BROWN e LIVERMAN, 2009). Isso porque o MDL é baseado emabordagem, com novos créditos continuamente sendo criados (BOYD, HULTMAN, ROBERTS, CORBERA, COLE, BOZMOSKI, EBELING, TIPPMAN, MANNA, BROWN e LIVERMAN, 2009).

Trata-se de monitoramento do "processo de coleta e armazenamento de todos os dados necessários para o cálculo da redução de emissões de GEE, ou do aumento das remoções de CO₂, de acordo com a metodologia de linha de base e monitoramento da atividade de projeto." (MCT, 2009).

Apesar do registro, o projeto ainda estará sujeito ao monitoramento a ser feito pelos participantes, segundo o que fora disposto no Documento de Concepção do Projeto (DCP) registrado. Elabora-se um relatório de monitoramento que será enviado para EOD, que por sua vez realizará a etapa de verificação/certificação (WILSON, 2007). As reduções de emissões reivindicadas pelos participantes precisam ser verificadas por uma Entidade Operacional Independente (EOI) que vai emitir uma carta de confirmação para o Conselho Executivo. Esse organismo, por sua vez, emite os créditos de carbono, conforme detalhado abaixo (WILSON, 2007).

2.2.5.6 Certificação e emissão das unidades de redução

O processo de certificação tem início com o envio do Relatório de Monitoramento por parte da EOD para que o Secretariado o publique no site da Convenção. A partir daí, compete à EOD verificar se as reduções de emissões constantes do Relatório efetivamente ocorreram, por meio de inspeção a ser realizada.

Dessa inspeção será elaborado um Relatório de Verificação, a ser tornado público ao Conselho Executivo, às partes e aos participantes do Projeto. Após a verificação é feita a certificação que consiste "na garantia escrita pela EOD de que, durante o período de tempo declarado no Relatório de Monitoramento, uma atividade de projeto atingiu a redução de emissões de GEE ou remoções de CO₂, conforme verificado." (MCT, 2009).

2.2.5.7 Emissão das reduções certificadas de emissões (RCEs)

No próprio Relatório de Certificação será feita uma solicitação ao Conselho Executivo para emissão de uma quantidade de RCEs equivalente às emissões reduzidas ou removidas e que foram devidamente certificadas. Será então designado um membro do RIT (Registrations and Issuance Team) para apreciar a regularidade do pedido. Estando em conformidade, a solicitação será apreciada pelo Secretariado, que terá três dias para enviar uma nota resumo ao Conselho Executivo.

Aprovado o Relatório de Certificação, serão emitidas as RCEs, sendo-as creditadas na conta pendente do Conselho Executivo no Registro do MDL, sendo tornado público por meio do site da Convenção. As RCEs serão então transferidas para uma conta no Registro de Desenvolvimento Limpo ou para algum Registro Nacional, de acordo com o previsto no Projeto.

2.2.6 MDL na geração de energia elétrico por meio do biogás de aterros sanitários

O setor de geração de energia certamente está entre aqueles com maiores oportunidades para desenvolvimento de projetos de MDL. Isso se deve em grande parte pelo fato de que "a realidade é que muito do aumento a curto prazo de geração de energia basear-

se-á no uso de combustíveis fósseis, especialmente de carvão." (MOTTA, FERRAZ, YOUNG, AUSTIN e FAETH, 2000).

O uso de MDL pode solucionar, ou ao menos minimizar, o maior problema de desenvolvimento e execução de projetos de energia renováveis: o alto custo inicial. Além disso, ainda que as receitas decorrentes das RCEs não ocorram subsequente a transformação de um lixão em aterro sanitário, em médio prazo poderão ser utilizadas como ajuda financeira às prefeituras, contribuindo para financiar a correta operação de instalações para destinação final do lixo urbano.

Não por outro motivo que, juntamente com as usinas eólicas, a geração de energia elétrica a partir de biomassa, é a segunda mais difundida modalidade de MDL no Brasil, ficando atrás apenas de projetos de hidrelétrica. Os projetos de MDL na área de energia, no Brasil, representam mais de 60% do total dos projetos de MDL (PADPS, 2009).

Uma grande vantagem de projetos baseados em geração de energia elétrica a partir de biogás consiste na atenuação dos efeitos negativos do aterro na realidade local, impondo melhorias na gestão do aterro, com redução da poluição das águas subterrâneas e superficiais (FENNHAN, 2009).

Outro ponto relevante para essa espécie de MDL consiste em serem menos onerosos em relação a outras formas de redução de emissões dos GEE, o que por consequência faz com que projetos aplicados em aterros sanitários sejam objeto do interesse das principais corporações internacionais, para obterem os RCEs de forma mais acessível economicamente.

2.3 Aspectos Jurídicos de um Projeto de MDL para Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás

Antes mesmo do início da geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da decomposição anaeróbica do lixo orgânico, diversas etapas legais devem ser superadas. Iniciada a produção, por se tratar de um serviço público, para dar destinação a essa energia, outra série de etapas também terão que ser observadas.

Abaixo, serão abordadas as exigências legais para produção e comercialização da energia elétrica, explicitando as possibilidades legalmente permitidas para um empreendimento de geração de energia elétrica a partir do biogás. Porém, antes de tratar da legislação propriamente dita, será feita uma breve introdução dos princípios ambientais relacionados e do regime jurídico do biogás.

2.3.1 Princípios ambientais relacionado

Ainda que praticamente todos os princípios de direito ambiental tenham relação com o tema de geração de energia elétrica, disposição final de RSU e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, optou-se por tratar apenas de alguns, sobretudo aqueles **que** possuem maior relação com o Protocolo de Quioto e com o direito internacional.

A importância do estudo dos princípios pode ser perfeitamente tirada de seu conceito que, para Mello (1994) é:

[...] mandamento nuclear de um sistema, verdadeiro alicerce dele, disposição fundamental que se irradia sobre diferentes normas compondo-lhes o espírito e servindo de critério para sua exata compreensão e inteligência, exatamente por definir a lógica e a racionalidade do sistema normativo, no que lhe confere a tônica e lhe dá sentido harmônico.

Dessa forma, com base no estudo de Wilson (2007), chegou-se aos seguintes princípios abaixo analisados.

2.3.1.1 Precaução e prevenção

Ainda que alguns autores tratem os princípios da precaução e da prevenção como sinônimos, a maior parte da doutrina ambientalista os defini**u** com conceitos distintos, ainda que complementares.

O princípio da precaução consiste, talvez, no principal orientador das políticas ambientais. A Declaração de Wingspread, na Alemanha, foi um dos primeiros diplomas formais a abordá-lo, ainda nos anos 1970 (DERANI, 1997). Diante de sua importância, o legislador constituinte o tratou no texto constitucional, art. 225, §1°, inciso IV. Antes disso, já era previsto na Lei de Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Nº 6.938, de 31/08/1981).

No âmbito do direito internacional, este princípio está previsto, entre outros, no Princípio 15 da Declaração do Rio, que prevê que se houver ameaça de graves danos irreversíveis, a falta de plena certeza científica não deve ser utilizada como razão para evitar os custos das medidas eficazes para prevenir a degradação ambiental (Sands, 2003).

Quanto à definição do vernáculo precaução, Milaré (2000) ensina que "Precaução é substantivo do verbo precaver-se (do latim prae = antes e cavere = tomar cuidado), e sugere

cuidados antecipados, cautela para que uma atitude ou ação não venha resultar em efeitos indesejáveis."

Por sua vez, para Sands (2003) visa o Princípio da Precaução fornecer orientação no desenvolvimento e aplicação de legislação ambiental, particularmente nos casos em que há incerteza.

Percebe-se dessa forma que o foco do princípio da precaução é a incerteza do dano, ou seja, diante do não conhecimento das exatas consequências de determinada atividade, deve-se abster de executá-la diante da prevalência da proteção ambiental.

Complementando o princípio da precaução está o princípio da prevenção, que por sua vez tem relação com a obrigação de evitar atividades que causam, ou tenham o potencial de causar, danos ao meio ambiente (SANDS, 2003). Ou seja, aqui já se tem uma compreensão dos danos que a atividade irá causar, sendo justamente nesse ponto que se diferencia do princípio da precaução.

Para Ayala e Leite (2003) o conteúdo cautelar do princípio da prevenção "é dirigido pela ciência e pela detenção de informações certas e precisas sobre a periculosidade e o risco corrido da atividade ou comportamento, que, assim, revela situação de maior verossimilhança do potencial lesivo que aquela controlada pelo princípio da precaução".

Sua previsão infraconstitucional mais importante em nossa legislação está na Lei de 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:

IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;

IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação.

2.3.1.2 Responsabilidade comum, mas diferenciada

Trata-se de um princípio inerente ao direito ambiental internacional. Parte da ideia básica do reconhecimento de que as necessidades peculiares dos países em desenvolvimento devem ser levadas em consideração no desenvolvimento, aplicação e interpretação do direito internacional (WILSON, 2007).

Possui basicamente dois elementos. O primeiro impõe uma responsabilidade comum para a proteção do ambiente. Já, a segunda, considera a contribuição que cada país pode/deve dar para minimizar a ameaça ou dano ambiental (SANDS, 2003).

Seu surgimento de forma clara ocorreu durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, de 1972, onde ficou consignado que as responsabilidades dos problemas causados ao ambiente pelo desenvolvimento econômico nos moldes até então ocorridos, desconsiderando os problemas ambientais, são diferentes para os países desenvolvidos e para os países em desenvolvimento.

Isso se deve ao fato de que apesar de hoje os países desenvolvidos possuírem um invejável ativo econômico, isso somente foi possível, pelo menos da forma como ocorreu, em consequência de um grande passivo ecológico. Logo, a responsabilidade pela amenização das consequências ambientais, sobretudo o aquecimento global, não pode agora ser partilhado de forma equitativa por todos.

Esse princípio foi o fundamento para diversas negociações internacionais, em destaque a Convenção do Clima e o Protocolo de Quioto que, adotando o princípio, impuseram maiores obrigações aos países industrializados, entre elas a transferência de tecnologias aos países em desenvolvimento, objetivando evitar que esses países se tornem grandes emissores (GOLDEMBERG, 2003).

2.3.1.3 Poluidor pagador

Segundo o princípio do poluidor pagador, aquele responsável por causar a poluição deve arcar com o custo dessa poluição (SANDS, 2003). Segundo defende Wilson (2007), do ponto de vista econômico, os custos negativos da poluição tipicamente suportados pela sociedade em geral devem ser internalizados pelo autor do dano.

O objetivo do princípio é bem delimitado por Wold (2003), para quem "O princípio do poluidor pagador funciona como uma ferramenta que permite aos Estados conduzirem os atores econômicos a arcar com todos os custos dos impactos negativos da produção de bens e serviços mesmo antes que estes venham a ocorrer."

Com base nele, devem as autoridades buscar formas de internalizar os custos ambientais nos empreendimentos, evitando assim que sejam suportados pela coletividade. Entretanto, deve ficar claro que o princípio não pode consistir num cheque em branco àqueles que queiram fundamentar sua poluição ao fato de pagarem por ela, ou seja, busca o princípio

ressarcir a coletividade pelo dano ambiental sofrido e não permitir que se polua mediante o pagamento.

Sua previsão constitucional está no art. 225, parágrafo 3º da Constituição Federal:

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.

[...]

§ 3° - As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

Já na legislação infraconstitucional, o princípio é previsto, entre outras, na Lei Nº 6.938/81, quando idealizou como finalidades da Política Nacional do Meio Ambiente "a imposição ao usuário, da contribuição pela utilização dos recursos ambientais com fins econômicos e da imposição ao poluidor e ao predador da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados."

2.3.1.4 Desenvolvimento sustentável

Entende-se o Desenvolvimento Sustentável como uma condição dinâmica onde sistemas econômicos, ambientais e sociais atendam as necessidades e desejos da presente geração, mantendo ou aumentando a recursos e capacidades produtivas que são legadas às gerações futuras (FLYNN, BERRY e HEINTZ, 2002).

Visa o princípio conciliar o direito dos Estados e de todos se desenvolverem e utilizarem os recursos naturais de maneira sustentável, ou seja, conciliar os interesses econômicos com a preservação e equilíbrio ecológico.

Sua previsão no texto constitucional se dá de forma implícita no caput do art. 225. Por sua vez, no texto da Declaração do Rio, sua previsão ocorre de forma expressa em grande destaque no Princípio 4: "Para se alcançar o desenvolvimento sustentável, a proteção do meio ambiente deve constituir parte integrante do processo de desenvolvimento e não pode ser considerada isoladamente em relação a ele".

Por sua vez, a Lei Nº 6.938/81 (Política Nacional de Meio Ambiente) igualmente deu destaque ao princípio em seus artigos 2º e 4º:

assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana. Art. 4° - A Política Nacional do Meio Ambiente visará à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico.

2.3.1.5 Equidade intergeracional

Este princípio está diretamente relacionado com o desenvolvimento sustentável, na medida em que visa assegurar a terra em confiança para as futuras gerações (WILSON, 2007). Sua nomenclatura não encontra unanimidade na doutrina, sendo por vezes denominado solidariedade intergeracional. Essa nomenclatura também foi a utilizada pelo Princípio 1 da Convenção do Clima pois "inferiu que o homem é portador solene de obrigação de proteger e melhorar o meio ambiente para as gerações futuras"

Teve origem na Declaração de Estocolmo, especificamente nos Princípios 1 e 2, onde está expresso o dever de preservar os recursos naturais existentes na natureza em benefício das gerações atuais e futuras.

O princípio da equidade intergeracional parte da ideia básica de que os recursos naturais são esgotáveis, e diante disso a atual geração deve explorá-los de forma que não impeça que as futuras gerações tenham condições de também o fazer.

Justamente por isso sua grande importância no trato do aquecimento global, já que as gerações de forma sucessiva estão abusando dos combustíveis fosseis de tal forma que as futuras gerações além de sofrerem as consequências estarão impedidas de utilizá-los.

Na visão de Weiss (2005), o princípio possui três aspectos fundamentais. O primeiro, diversidade de opções, determina que cada geração deve ser demandada a conservar a diversidade dos recursos naturais e culturais. O segundo, conservação da qualidade, impõe que cada geração deve ser demandada a manter a qualidade ambiental, assegurando que o planeta deixado não esteja em condições piores do que foi recebido. Por fim, o terceiro aspecto, conservação do acesso, impõe que cada geração deve assegurar aos seus membros a equidade no direito de acesso ao legado das gerações passadas e deve conservar esse acesso às futuras gerações (WEISS, 2005).

O princípio da isonomia intergeracional não pode ser considerado de forma isolada por cada nação, pelo contrário, para uma efetiva valoração, deve ser considerado com o princípio que em seu alcance extrapola o direito nacional de cada Estado para atingir um patamar

intercomunitário, internacional, identificando-se como um direito que assiste a toda a humanidade (LEITE, 2000).

Dessa forma, esse princípio caracteriza-se pela sua aplicação temporal sincrônica e diacrônica. Esse (diacrônica) por se referir às futuras, implicando que as futuras gerações não podem deixar de garantir a proteção do meio ambiente que herdarão e transmitirão para as gerações seguintes. Já a aplicação temporal sincrônica se refere à geração atual, com seus problemas e eventuais soluções para os problemas ambientais.

2.3.2 Regime jurídico do biogás e seu aproveitamento

Nos termos do art. 20 da Constituição Federal de 1988, as principais fontes de energia são bens públicos da União, logo, faz-se necessário identificar a propriedade do biogás decorrente da decomposição dos resíduos sólidos urbanos.

Entretanto, por gerar certas dúvidas na população em geral, torna-se recomendável diferenciar o biogás do gás natural, cuja competência para exploração é da União. O gás natural se encontra dentro da crosta terrestre, de onde é explorado por meio **de** poços perfurados ou mesmo orifícios naturais. Trata-se de um combustível fóssil, não renovável que nos termos do art. 20, inc. IX e art. 176, da Constituição Federal, é de gestão e propriedade da União Federal.

Por sua vez, o biogás decorre da decomposição anaeróbica de matéria orgânica, ocorrendo naturalmente em meios naturais (pântanos, áreas alagadas) ou meios artificiais (esgotos, aterros). Trata-se de um combustível renovável.

Ainda que o biogás, assim como o gás natural, consista em propriedade distinta do solo, possuem diferenças significativas importantes, o que exclui o biogás do regime jurídico de monopólio a que está sujeito o gás natural. Este entendimento fica ratificado pelo art. 176, § 4°, da CF, que exclui até mesmo da necessidade de autorização ou concessão para o aproveitamento energético de fontes de capacidade reduzida.

Superada a questão acima, parte-se para definir a que regime jurídico se enquadra a exploração energética do biogás.

Indiscutivelmente a exploração do biogás não se enquadrará como serviço público essencial por não ser imprescindível ao atendimento das necessidades básicas da população. Poder-se-ia até enquadrar como serviços de utilidade pública, tendo em vista os indiscutíveis

benefícios e, sobretudo, diante da atual Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos que traz o aproveitamento energético do biogás como objetivo.

Entretanto, ao que tudo indica, essa atividade parece melhor se enquadrar como atividade econômica do ente municipal, autorizado a explorá-la nos termos do art. 173, da Constituição Federal. Mas enquadrá-lo como uma extensão do serviço público de disposição final de resíduos sólidos urbanos é algo perfeitamente possível e recomendável, visto que, neste caso, nada mais está sendo feito além de dar um destino ambientalmente recomendável de um subproduto da disposição final dos resíduos sólidos.

Com base na conclusão acima, deve-se definir a forma e o regime de como será explorado o biogás. Porém, antes de tratar propriamente do biogás, deve-se tratar o serviço público de coleta e destinação final de resíduos sólidos.

Todos os serviços públicos relacionados com o controle sanitário (coleta de lixo, destinação final dos resíduos sólidos, limpeza de vias e logradouros etc.) em regra são de competência dos municípios nos termos do art. 30, inciso I, da CF (Constituição Federal).

Disso decorre a responsabilidade dos municípios pela gestão do lixo, inclusive empenhando-se de criar e gerir os depósitos finais. Dessa forma, conclui-se que os lixões, aterros sanitários e controlados são bens públicos municipais de uso especial, o que torna o município proprietário do lixo que lá se encontra por se tratar de *res derelicta*. Por consequência qualquer forma de aproveitamento do biogás decorrente do lixo terá que ser feito pela própria municipalidade ou por meio de concessão.

Para haver o aproveitamento direto pelo próprio município, haveria a necessidade de uma lei local atribuindo a esse serviço a condição de serviço público (art. 30, inc. V, da CF). Por outro lado, poderia a exploração dessa atividade ser feita por particulares, por meio de concessão de serviço público, nos termos da legislação local e da Lei Nº 8.987/95.

Tratar-se-ia de um contrato administrativo atípico, algo perfeitamente possível pelo ordenamento jurídico, visto que a Lei Nº 8.666/93, não traz um rol taxativo de contratos que a Administração pode celebrar. É esse o entendimento de Marçal Justen Filho (2010):

A Administração não está jungida a pactuar apenas contratos típicos (nominados). Entendimento contrário conduziria a inviabilizar a atividade contratual da Administração Pública. Ainda reconhecendo que o princípio da legalidade apresenta configurações distintas no âmbito da Administração, disso não se segue que os modelos de contratação pública tenham de ser previamente definidos em lei. A lei concede autorização para o Estado contratar, mas não fornece parâmetros exaustivos dos modelos de contratação.

Ou seja, a satisfação do interesse público através da via contratual não pode ser reconduzida à via da mais estrita vinculação. O interesse público pode apresentar-se com complexidade similar àquela que se passa no campo privado. Tanto quanto os particulares, o Estado pode encontrar-se na situação da insuficiência dos modelos contratuais preexistentes.

Por ser considerado um contrato administrativo atípico, necessariamente precedido de licitação (concorrência), de concessão para exploração de biogás, celebrado entre o particular e o município, com prévia autorização legislativa, onde o município cederia o uso do espaço público (aterro sanitário) e a exploração do material nele depositado por terceiro particular, onde seriam previstos o prazo de duração da fase de exploração e as condições para sua prorrogação, ficando o concessionário com a propriedade do produto da exploração (FECURI, 2004).

Entretanto, mesmo antes da licitação, haverá a necessidade de uma lei municipal que autorize o poder público a conceder o uso do aterro sanitário com a finalidade de exploração do gás produzido na decomposição dos resíduos, como recurso energético e execução de projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL. A exigência de lei, municipal no caso, está prevista na Lei Nº 9.074, de 7 de julho 1995:

Art. 2º - É vedado à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios executarem obras e serviços públicos por meio de concessão e permissão de serviço público, sem lei que lhes autorize e fixe os termos, dispensada a lei autorizativa nos casos de saneamento básico e limpeza urbana e nos já referidos na Constituição Federal, nas Constituições Estaduais e nas Leis Orgânicas do Distrito Federal e Municípios, observado, em qualquer caso, os termos da Lei nº 8.987, de 1995.

Cita-se como exemplo a Lei Nº 11.268, de 16 de dezembro de 2004, do município de Curitiba e a Lei Nº 8.140, de 23 de abril de 2007, do município de Sorocaba.

Essa forma de exploração é extremamente conveniente nos casos de exploração de aterros sanitário e controlados para geração de energia elétrica, diante da complexidade do empreendimento, o que se reflete no grande número de projetos executados dessa forma no Brasil.

2.3.3 Aproveitamento energético do biogás e a política nacional de resíduos sólidos

Após mais de 20 anos de negociações e discussões, em agosto de 2010 foi sancionada a Lei Nº 12.305, Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) sendo, posteriormente, em dezembro do mesmo ano, regulamentada pelo Decreto Nº 7.404/10.

Esta Lei certamente será um marco no trado dos resíduos sólidos no Brasil, solucionando, ou ao menos amenizando, um problema que atinge a grade maioria das cidades brasileiras. A nova Lei aborda diversos meios para o trato dos resíduos sólidos, como coleta seletiva, estação de tratamento, centro de triagem, cooperativa e central de reciclagem, vedação expressa à catação e alimentação em lixões e aterros, algo tão comum e igualmente nocivo nos grandes centros urbanos brasileiro.

Além disso, alguns pontos da Lei tratam de temas relacionados com a geração de energia elétrica a partir do biogás, consistindo em um de seus objetivos:

Art. 7º - São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético [...]

A Lei também determina o aproveitamento energético dos RSU por meio de tecnologias comprovadamente eficazes, bem como a obrigatoriedade das Políticas Estaduais e Municipais adotarem essas mesmas diretrizes:

- Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.
- § 1º Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.
- § 2º A Política Nacional de Resíduos Sólidos e as Políticas de Resíduos Sólidos dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios serão compatíveis com o disposto no caput e no § 1º deste artigo e com as demais diretrizes estabelecidas nesta Lei.

Outro ponto relevante da nova Política Nacional de Resíduos Sólidos relativo ao tema consiste na previsão da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, englobando os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e mesmo os consumidores.

Como uma das formas de efetivação da responsabilidade compartilhada surge o sistema de retorno pós-consumo, logística reversa, obrigando os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes estabelecerem sistema de retorno pós-consumo de embalagens e produtos de forma independente do serviço de limpeza pública.

Na sistemática da logística reversa, o consumidor é responsável pela devolução, depois de utilizar, dos produtos e embalagens que podem ser reaproveitados ou reciclados aos fabricantes, distribuidores, importadores, ficando estes obrigados a dar destinação correta aos RSU.

Essa sistemática, quando efetivamente implementada contribuirá, sobretudo, para a diminuição da quantidade efetiva de lixo nos aterros, mas também trará benefícios evidentes para geração de energia a partir do biogás, visto que, segundo a nova Lei, somente materiais que não possam ser reaproveitados ou reciclados serão encaminhados aos aterros.

Dessa forma, num futuro breve, os RSU que serão descartados nos aterros consistiram basicamente de matéria orgânica, o que favorecerá a produção de biogás, diminuindo os custos envolvidos.

2.3.4 Licenciamento ambiental e necessidade de EIA e RIMA

Vencida a licitação, o ganhador deverá proceder e se responsabilizar por todos os tramites legais de aprovação do projeto, bem como o licenciamento ambiental necessário para que a operação proceda em conformidade com as exigências legais correspondentes ao tipo de atividade. Caso a exploração ocorra de forma direto pela municipalidade, ainda assim haverá a necessidade do licenciamento ambiental.

Durante o procedimento de licenciamento ambiental, estando tudo de acordo com a legislação, serão concedidas as seguintes licenças: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO).

É possível e provável que em cada etapa do licenciamento, os órgãos ambientais exijam o cumprimento condicionante, normalmente relacionada às normas da legislação ambiental vigente, sobretudo controle da poluição (ICLEI, 2009).

Referente à obrigatoriedade do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA), deve-se considerar que o licenciamento ambiental referente à geração de energia elétrica por meio do biogás, em regra, será distinto do licenciamento do próprio aterro. Isso porque, normalmente a instalação de uma usina para

aproveitamento do biogás ocorre em uma unidade de disposição final de RSU já em atividade. Mas nada impede que a instalação de ambas ocorra simultaneamente, quando haverá a necessidade de estudo e relatório de impacto ambiental, conforme abordado abaixo.

No que se refere ao licenciamento ambiental da unidade de disposição final de resíduos sólidos, este será sempre precedido da elaboração de EIA e do respectivo relatório, que deverão ser submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) de forma supletiva. Essa obrigatoriedade é prevista na Resolução nº 01/86 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), art. 2º, inciso X.

Por sua vez, com relação ao licenciamento ambiental da usina, em regra, todas as unidades de geração de energia elétrica estão sujeitas a licenciamento ambiental, conforme a Resolução nº 01/86 do CONAMA. Entretanto, a mesma norma ressalva dessa obrigatoriedade as usinas com capacidade de até 10 MW:

Artigo 2º - Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:

X - Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos;

XI - Usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, acima de 10 MW [...]

Conforme visto acima, caberá ao órgão ambiental estadual a responsabilidade pelo licenciamento ambiental e ao IBAMA, este apenas em caráter supletivo. No Estado do Amapá o licenciamento ambiental será de responsabilidade da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA).

2.3.5 Autorização da ANEEL

A geração de energia elétrica consiste em um serviço público federal, logo, mesmo com a concessão da exploração do serviço pelo município, ainda assim a geração de energia elétrica a partir do biogás poderá depender de concessão ou autorização da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), nos termos do Decreto Nº 2003/96: "Art. 1º A produção de energia elétrica, por produtor independente e por autoprodutor, depende de concessão ou autorização, que serão outorgadas na forma da legislação em vigor e deste Decreto."

Para empreendimentos de geração de energia a partir do biogás, de acordo com a legislação, não será caso de Concessão precedida de licitação, restando saber se será necessária a autorização.

Nos termos do mesmo decreto, somente será necessária a autorização da Agência para usinas termoelétricas com potência superior a 5.000 KW, destinada a autoprodutor e a produtor independente (art. 4°, inciso I). Para potencial abaixo de 5.000 KW, apesar de não haver necessidade de autorização, deverá haver comunicação ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, para fins de registro.

2.3.6 Cadeia produtiva da energia elétrica

Ao contrário do regramento anterior, na atual legislação, as ações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica correspondem a atividades distintas, que inclusive devem ser exercidas por entes distintos. Ainda que ao presente trabalho interesse mais a atividade de produção, será feita uma rápida análise de cada uma para melhor compreensão da matéria.

2.3.6.1 Atividade de geração

Indiscutivelmente, nos termos da Constituição Federal, a geração de energia elétrica, assim como a transmissão e distribuição, corresponde a serviço público. Diante disso, sua execução por particular pode ocorrer por meio de concessão, permissão ou autorização, a depender da fonte primária (hidroelétrica, termoelétrica, hidráulica etc.) e da potência da usina.

Esse item é o que mais interessa ao presente trabalho e será melhor abordado abaixo.

2.3.6.2 Atividade de transmissão

Segundo Campos (2010) na atividade de transmissão da energia elétrica, cabe ao poder concedente definir quais linhas e instalações se destinam à formação da Rede Básica dos sistemas interligados, as de âmbito próprios do concessionário de distribuição e as de interesse exclusivo das centrais de geração, conforme art. 17 da Lei Nº 9.074/95:

Art. 17. O poder concedente deverá definir, dentre as instalações de transmissão, as que se destinam à formação da rede básica dos sistemas interligados, as de âmbito próprio do concessionário de distribuição, as de interesse exclusivo das centrais de geração e as destinadas a interligações internacionais.

Essa atividade será objeto de concessão ou permissão de serviço público, precedido de licitação (concorrência ou leilão). Excetua-se da regra acima, sendo caso de autorização, as instalações de transmissão de interesse restrito das centrais de geração, as instalações de transmissão de interesse restrito aos aproveitamentos de produção independente e as instalações de transmissão de interesse restrito à importação e exportação de energia elétrica (CAMPOS, 2010).

2.3.6.3 Atividade de distribuição

Trata-se de um serviço com caráter de monopólio, exercido por meio de permissão ou concessão de serviço público, devidamente precedido de licitação. Por questões econômicas e operacionais, em regra, somente um concessionário ou permissionário exerce atividades em determinada área geográfica. Entretanto, existem exceções.

Refere-se à última etapa da cadeia produtiva de energia elétrica, onde esta finalmente é entregue ao consumidor final.

2.3.7 Formas de exploração

Segundo a atual legislação, empreendimentos privados para geração de energia elétrica podem ser classificados, de acordo com o destino da energia gerada, em Autoprodutor (AP) e Produtor Independente (PIE). Este PIE, quando possuem autorização ou concessão para produzir e vender a energia ao mercado. Já aquele, AP, destina-se a empreendimentos que consumem a totalidade ou parte da energia produzida e comercializam eventuais excedentes (Decreto N° 2003/96).

A legislação ainda prevê uma terceira categoria, Concessionárias de Serviços Públicos, modalidade que não interessa a este trabalho.

2.3.7.1 Autoprodutor

Anteriormente à reforma do setor elétrico, diante do monopólio estatal sobre as redes de transmissão e distribuição, os autoprodutores se limitavam à geração distribuída feita por meio de pequenas centrais hidroelétricas, termoelétricas ou plantas de cogeração, para atender diretamente as unidades de consumo (PIERONI, 2005).

O objetivo principal dos autoprodutores é a geração de energia elétrica para consumo próprio, visando atender suas próprias necessidades. Esta modalidade foi regulamenta**da** pelo Decreto 2.003/96, que definiu os termos gerais do contrato.

Para que seja possível a concessão ou autorização para geração de energia, o autoprodutor deverá demonstrar ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente que a energia elétrica a ser produzida será destinada ao consumo próprio atual ou projetada. Isso se deve a própria natureza do autoprodutor.

Entretanto, por meio de prévia autorização do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, será facultada a cessão e permuta de energia e potência entre autoprodutores consorciados em um mesmo empreendimento, na barra da usina. Da mesma forma será possível a compra, por concessionário ou permissionário de serviço público de distribuição, do excedente da energia produzida (CAMPOS, 2010).

Por fim, ainda será possível permuta de energia, em montantes economicamente equivalentes, explicitando os custos das transações de transmissão envolvidos, com concessionário ou permissionário de serviço público de distribuição, para possibilitar o consumo em instalações industriais do autoprodutor em local diverso daquele onde ocorre a geração.

Consigna-se que a comercialização dos excedentes de energia elétrica pelos autoprodutores deve ser eventual e temporária, já que este não é seu objetivo.

2.3.7.2 Produtor independente

A figura do Produtor Independente, até então inexistente no ordenamento brasileiro, surgiu com a Lei Nº 9.074/1995. Trata-se de pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco (Lei Nº 9.074/95, art. 11). Campos (2010) ressalta que se o destino da energia elétrica produzida for o mercado de curto prazo (spot), denomina-se o empreendimento de "usina Merchant."

Uma das principais características do Produtor Independente é a grande liberdade para comercialização de sua energia.

Apesar de se tratar de modalidade distinta de produção, no regramento atual há grandes semelhanças entre o Produtor Independente e o Autoprodutor já que ambos podem negociar a energia produzida por meio de contratos, nos termos do art.5° da Resolução ANEEL n° 341, de 2 de dezembro de 2008:

Art. 5º Na apuração de lastro contratual para a venda de energia elétrica por agente autoprodutor deverá ser considerado, além da garantia física e consumo próprio da usina, seus contratos de compra de energia, conforme disposto no § 1º do art. 2º do Decreto n. 5.163, de 2004.

Parágrafo único. A CCEE deverá incorporar à versão 2009 das Regras, a verificação da vigência da autorização para comercialização do excedente de energia concedida pela ANEEL ao agente autoprodutor.

Para comercialização da energia produzida, sujeitar-se-á às regras de comercialização regulada ou livre, atendido ao disposto na Lei Nº 9.074/95 e demais normas pertinentes e no contrato de concessão ou no ato de autorização, sendo-lhe assegurado o direito de acesso à rede das concessionárias e permissionárias do serviço público de distribuição e das concessionárias do serviço público de transmissão (Art. 11, da Lei Nº 9.074/95).

A comercialização da potência e/ou energia poderá ser feita com o concessionário ou permissionário de serviço público de energia elétrica, devendo neste caso, submeter os contratos a homologação do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente.

Também poderá ser feita diretamente com consumidores de energia elétrica nas condições estabelecidas nos artigos 15 e 16 da Lei N° 9.074/95, ou consumidores de energia elétrica integrantes de complexo industrial ou comercial, aos quais forneça vapor ou outro insumo oriundo de processo de cogeração. Poderá ainda comercializar com o conjunto de consumidores de energia elétrica, independentemente de tensão e carga, nas condições previamente ajustadas com o concessionário local de distribuição (CAMPOS, 2010).

Por fim poderá negociar com qualquer consumidor que demonstre ao poder concedente não ter o concessionário local lhe assegurado o fornecimento no prazo de até 180 dias, contado da respectiva solicitação.

2.3.8 Uso do sistema de transmissão

Produzida a energia elétrica, caso não seja completamente utilizada pelo próprio autoprodutor, será negociada. Para que o comprador receba essa energia, o Produtor Independente ou o Autoprodutor precisará se utilizar do sistema de transmissão concedido à Concessionária local.

Para isso, o art. 13, do Decreto N° 2.003/96, garante ao Autoprodutor e ao Produtor Independente, para garantir a utilização e a comercialização da energia produzida, o livre acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição de concessionários e permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante o ressarcimento do custo de transporte envolvido.

Para empreendimentos com base em biomassa e cogeração qualificada, que utilize como insumo energético, no mínimo, 50% de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou de biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, ou lodos de estações de tratamento de esgoto, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 30 mil KW, terá redução não inferior a 50% a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos aproveitamentos. Atualmente, essa redução é de 100%, nos termos da Resolução Normativa Nº 77, de 18 de agosto de 2004.

2.3.9 Comercialização da energia elétrica produzida

O novo modelo do setor elétrico surgiu em 15 de março de 2004, com a Lei Nº 10.848, em uma tentativa do governo para reestruturar o Setor de Energia Elétrica, por meio de incentivos aos agentes privados e públicos para construir e manter **a** capacidade de geração e garantir o fornecimento de energia no Brasil com tarifas moderadas, por meio de processos competitivos de leilões públicos de compra e venda de energia.

Campos (2010) adverte que apesar da energia elétrica para fins civis ser considerada bem móvel, o fornecimento de energia elétrica ao consumidor, por ser serviço público, por determinação constitucional, submete-se às regras do direito público, não podendo ser considerada uma simples negociação mercantil.

Dentro desse novo modelo, há a presença de dois ambientes de negociação de energia elétrica: ambiente de contratação livre e ambiente de contratação controlada. Seja em qual ambiente for celebrado o contrato, esse deve ser registrado na Câmara de Comercialização de

Energia Elétrica (CCEE) e servirá de referencial para a contabilização e liquidação das diferenças no mercado de curto prazo.

2.3.9.1 Ambiente de contratação regulada

No primeiro ambiente, denominado de Ambiente de Contratação Regulada (ACR), a contratação ocorre por meio de contratos bilaterais regulados, Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado, que são celebrados entres os Agentes Vendedores (comercializadores, geradores, produtores independentes e autoprodutores) e Compradores (distribuidores), por meio de leilões de compra e venda de energia elétrica.

Este ambiente se destina a negociação de energia elétrica destinada ao serviço público de distribuição, feito pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas, visando o fornecimento ao mercado regulado, formado pelos consumidores cativos (CAMPOS, 2010). Este modelo é voltado para Agentes de Geração e Agentes de Distribuição de Energia Elétrica

Deve-se ter em mente que a energia proveniente de projetos de geração de baixa capacidade localizados próximos a pontos de consumo (tais como usinas de cogeração e pequenas centrais hidrelétricas), por usinas qualificadas de acordo com o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), e por Itaipu, não estão sujeitos a processo de leilão para fornecimento de energia ao Ambiente de Contratação Regulada.

Por meio desse ambiente, as empresas distribuidoras de energia elétrica adquirem através de leilões públicos regulamentados pela ANEEL a energia a ser fornecida aos consumidores cativos. Esses leilões são operacionalizados diretamente pela própria ANEEL ou por intermédio da CCEE, art. 2, da Lei Nº 10. 848/04.

Cabe a cada distribuidora adquirir 100% (era 95% no sistema anterior) da energia necessária para suas projeções de consumo. O não atendimento de seu mercado pode resultar em multas para as distribuidoras.

Para Maia (2011), nesse ambiente a contratação de energia pode ser analisada do ponto de vista do consumidor cativo frente à distribuidora local e das distribuidoras de energia junto aos agentes geradores, sendo que os dois processos se inter-relacionam já que a compra de energia pelas distribuidoras destina-se a atender a demanda dos seus consumidores cativos para quem vende.

2.3.9.1.1 Aquisição pelo consumidor cativo

Os consumidores cativos se dividem em duas categorias. A primeira formada por aqueles que, mesmo preenchendo os requisitos legais para se tornarem consumidores livres, optaram por manter a aquisição de energia de forma exclusiva do distribuidor local. A segunda categoria é integrada por aqueles que não preenchem os requisitos legais, logo somente podem adquirir energia elétrica do distribuidor local.

Em qualquer um dos casos, os consumidores cativos somente podem comprar energia elétrica da concessionária de distribuição local, a qual sua rede esteja conectada, além de se sujeitar às tarifas regulamentadas pela ANEEL. Dessa forma, não pode esse consumidor escolher de quem adquirirá a energia e nem poderá exerce a liberdade contratual, negociando condições e preços, como ocorre nos Contratos Bilaterais celebrados no âmbito do mercado livre (MAIA, 2011).

Trata-se de um contrato mais simples, onde o consumidor paga apenas uma única conta de energia, referente ao consumo, ao contrário do consumidor livre que recebe fatura de venda de energia (agente vendedor, gerador ou comercializador), além de fatura referente ao uso do sistema de distribuição/transmissão (emitida pela concessionária) (MAIA, 2011).

Observa-se nessa relação entre o consumidor cativo e a concessionária local uma forte intervenção estatal por meio da ANEEL, com aprovação das regras de contratação, valor da energia, em decorrência da obrigatoriedade do consumidor comprar apenas da concessionária local.

2.3.9.1.2 Aquisição pela concessionária local

A aquisição de energia elétrica pela Concessionária de Distribuição é destinada para atender a demanda dos consumidores cativos, por meio de licitações, onde os agentes geradores vendem energia àquelas.

Maia (2011) ressalta que no modelo anterior não existia compra de energia elétrica por meio de licitação, já que as empresas concessionárias de distribuição eram responsáveis pela geração, o que prejudicava a concorrência no processo de compra de energia. Entretanto, no novo modelo, a desverticalização do setor de energia veda o exercício da atividade de geração pelas empresas concessionárias de distribuição.

A modalidade de licitação empregada para compra e venda de energia é o leilão reverso, onde o vencedor será aquele que ofertar o menor preço do lote de energia elétrica, conforme art. 2°, da Lei N.º 10.848, de 15 de março de 2004:

Art. 2º As concessionárias, as permissionárias e as autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional – SIN deverão garantir o atendimento à totalidade de seu mercado, mediante contratação regulada, por meio de licitação, conforme regulamento, o qual, observadas as diretrizes estabelecidas nos parágrafos deste artigo, disporá sobre:

Os leilões são realizados pela ANEEL, mediante delegação do Ministério de Minas e Energia, por meio de plataforma operacional disponibilizada na Rede Mundial de Computadores. Concluído o leilão, são celebrados os respectivos "Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado" entre cada ofertante vencedor da licitação e todas as concessionárias, permissionárias e autorizadas do serviço público de distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN). Para Campos (2010), as distribuidoras compram a energia em *pool* (parágrafo 2°, do artigo 2°, da Lei N° 10.848/04):

§ 2º A contratação regulada de que trata o caput deste artigo deverá ser formalizada por meio de contratos bilaterais denominados Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado – CCEAR, celebrados entre cada concessionária ou autorizada de geração e todas as concessionárias, permissionárias e autorizadas do serviço público de distribuição, devendo ser observado o seguinte:

Excluem-se do regime de compra em *pool* as licitações destinadas à compra de energia pelas distribuidoras, para individualmente ajustarem o atendimento do seu mercado consumidor, até 5% de suas cargas e prazo de até dois anos (parágrafos 3 e 13 do art. 2, da Lei nº 10.848/04). Igualmente estão excluídas desse sistema as distribuidoras de energia elétrica que detenham mercado próprio inferior a 500GWh/ano.

Tratam-se de contratos previamente estabelecido pela ANEEL, não havendo possibilidade de negociação de suas condições, devendo ser registrados na CCEE.

2.3.9.2 Ambiente de contratação livre

Atuam nesse ambiente os consumidores livres (e especiais) e empresas de comercialização de energia, PIEs, agentes importadores, exportadores e demais agentes de

geração. Por sua vez, os contratos celebrados neste Ambiente são livremente negociados, porém a preços controlados pela ANEEL.

Aqui é negociada a energia elétrica entre os agentes concessionários e autorizados de geração, comercialização e importação aos consumidores livres (CAMPOS, 2011).

Esse ambiente é voltado para aquisição de energia elétrica pelos denominados consumidores livres, que para Ganim (2003) "são aquelas empresas consumidoras que estão legalmente autorizadas a escolher o seu fornecedor de energia elétrica, dentre aqueles que lhes oferecerão melhores preços e condições."

Para negociar nesse ambiente, todos devem participar da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, ou pelo menos serem representados por um agente.

Dessa forma, caberá aos consumidores livres e especiais adquirirem a energia elétrica por meio de contratos de compra e venda com produtores independentes ou com as comercializadoras autorizadas pela ANEEL, negociando livremente a quantidade e preço, conforme previsto no Artigo 1°, §2°, inciso II, do Decreto N° 5.163/04:

Art. 1º A comercialização de energia elétrica entre concessionários, permissionários e autorizados de serviços e instalações de energia elétrica, bem como destes com seus consumidores no Sistema Interligado Nacional - SIN, darse-á nos Ambientes de Contratação Regulada ou Livre, nos termos da legislação, deste Decreto e de atos complementares.

[...]

§ 2º Para fins de comercialização de energia elétrica, entende-se como:

[...]

II - Ambiente de Contratação Livre - ACL o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica, objeto de contratos bilaterais livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos [...].

Esse contrato será celebrando entre o consumidor livre e o agente produtor diretamente, ou mesmo entre aquele e o Agente Comercializador, que por sua vez compra a energia do Agente Gerador.

Trata-se de um contrato exclusivamente de compra e venda de energia elétrica, o que por consequência força o consumidor adquirente a realizar contratos para viabilizar a transmissão da energia por meio do sistema de distribuição/transmissão da concessionária local, operado pelo Agente de Distribuição ou Transmissão, a depender do caso. Entretanto, conforme se verá, em alguns casos, a utilização da rede de transmissão estará isenta de custo.

Dessa forma, serão necessários os seguintes contratos com a concessionária local de distribuição/transmissão (Agente de Distribuição/Transmissão): a) Contrato de Conexão às

Instalações de Distribuição – CCD ou de Transmissão – CCT; b) Contrato de Uso do Sistema de Distribuição – CUSD ou de Transmissão – CUST.

No ACL, as partes envolvidas na compra e venda de energia (geradores, consumidores, comercializadores) precisam necessariamente participar da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) ou ao menos serem representados por agente que a integre, visto a CCEE é a responsável pela liquidação financeira dessas operações no mercado livre.

Nesse ambiente a energia elétrica é comercializada diretamente entre Concessionárias de Geração, Produtores Independentes de Energia, Autoprodutores, Agentes de Comercialização, Importadores de Energia e Consumidores Livres e Especiais.

Para finalizar o estudo do ambiente de contratação livre, faz-se necessário melhor entender os consumidores livres e consumidores especiais.

2.3.9.2.1 Consumidores livres

Em regra o consumidor só pode adquirir energia elétrica da concessionária de distribuição local onde esteja localizado. É o que se denomina de "consumidor cativo", que até 1999 era a única opção para os consumidores de energia elétrica. Em contraponto, a partir desse ano, passou a existir a figura do "consumidor livre".

A Lei Nº 9.074/95 inovou em relação ao regramento anterior, dando novo enquadramento ao consumidor livre. Trata-se de consumidor que tem a faculdade de escolher o fornecedor de energia elétrica, seja da concessionária ou mesmo de um gerador.

Esses consumidores, apesar de fisicamente estarem conectados à distribuidora local (ou à rede de transmissão, caso o acesso se dê em tensões iguais ou superiores a 230 KV), o mesmo não se pode dizer do ponto de vista comercial, já que podem adquirir energia de uma fonte que pode estar em qualquer ponto do Sistema Interligado Nacional, que engloba em torno de 97% da capacidade de produção de energia elétrica brasileira, ficando de fora sistemas isolados, em sua maioria na Amazônia.

Entretanto, somente aqueles que pertencem ao "Grupo A", que é o grupo dos consumidores de alta tensão podem ser assim considerados, o que exclui os consumidores residenciais, já que pertencem ao "Grupo B", de baixa tensão.

A possibilidade de enquadramento de um consumidor como Consumidor Livre depende exclusivamente de seu consumo. Logo, para isso ser possível, este deve contratar carga igual ou maior que 3 mil KW, em qualquer tensão. Porém, para consumidores atendidos

por Fonte de Energia Incentivada (Pequena Central Hidrelétrica, Biomassa, Solar ou Eólica), o que incluiria o Aterro de Macapá, a demanda mínima fica reduzida para 500 kW e atendimento em qualquer tensão do Grupo A.

Entretanto, as unidades consumidoras instaladas até 7 de julho de 1995, devem ter como requisito complementar serem atendidas em tensão maior ou igual a 69 kV.

Ressalta-se que a regra é o consumidor ser cativo, podendo optar por ingressar no mercado livre, desde que preencha os requisitos legais. Como dito, trata-se de uma opção. Nada impede que, apesar de preencher os requisitos, o consumidor prefira se manter cativo, configurando os denominados consumidores potencialmente livres.

Para viabilizar a negociação com o consumidor livre, diante do monopólio da distribuição, o artigo 15, § 6°, da Lei N° 9.074/95, assegura aos geradores e aos consumidores livre acesso aos sistemas de distribuição e transmissão de concessionários e permissionários de serviço público, mediante ressarcimento do custo de transporte envolvido. Entretanto, esse custo pode ser zero, conforme explicado acima.

O que se verifica é que, ao contrário dos demais consumidores, os Consumidores Livres não estão sujeitos ao monopólio das distribuidoras. Logo, seria perfeitamente possível a negociação direta entre o responsável pelo Aterro de Macapá e os Consumidores Livres.

Dessa forma, podem escolher livremente o fornecedor de energia elétrica, além de terem liberdade para negociar o preço e demais condições contratuais.

Normalmente, esse segmento é representado por indústrias automobilística, alimentícia, siderúrgica, química etc., onde o custo financeiro da energia contribui de forma significativa no valor total da produção, influenciando na competitividade comercial.

2.3.9.2.2 Consumidores especiais

Além dos consumidores livres, outra categoria também dispõe da possibilidade de compra direta de energia. Os Consumidores Especiais são aqueles que, não enquadrados como consumidores livres, são responsáveis "por unidade consumidora ou conjunto de unidades consumidoras do Grupo "A", integrante(s) do mesmo submercado no SIN, reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito, cuja carga seja maior ou igual a 500 kW. " (ANEEL, 2006).⁵

⁵ Resolução Normativa Nº 247, de 21 de dezembro de 2006 (ANEEL), art. 1º, §1º, inciso I.

Sendo o caso, o Consumidor Especial deverá comprovar a instituição da comunhão de fato ou de direito, por meio de instrumento pertinente.

Para atendimento da carga mínima (500 kW), cada única unidade consumidora deverá contratar montante de uso em qualquer segmento horossazonal, de no mínimo 500 kW. Outra opção para atendimento da carga mínima seria a contratação de no mínimo 500 kW para um conjunto de unidades consumidoras, enquadradas como consumidoras especiais, pela soma dos montantes de uso contratado, em qualquer segmento horossazonal, para o referido conjunto em um mesmo segmento (ANEEL, 2006).⁶

A eles é permitido adquirir energia de PCHs ou de geradores de fontes alternativas (solar, eólica, biomassa) com potência entre 1 MW e 30 MW. A comprovação da potência injetada deverá ser confirmada pelos montantes de uso contratado, associados às unidades geradoras em operação comercial de, no máximo, 30 MW.

Sua previsão legal está na Lei Nº 9.427/96:

Art. 26. Cabe ao Poder Concedente, diretamente ou mediante delegação à ANEEL, autorizar:

[...]

§ 5° O aproveitamento referido nos incisos I e VI do caput deste artigo, os empreendimentos com potência igual ou inferior a 1.000 (mil) kW e aqueles com base em fontes solar, eólica, biomassa, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 50.000 (cinquenta mil) kW, poderão comercializar energia elétrica com consumidor ou conjunto de consumidores reunidos por comunhão de interesses de fato ou de direito, cuja carga seja maior ou igual a 500 (quinhentos) kW, independentemente dos prazos de carência constantes do art. 15 da Lei Nº 9.074, de 7 de julho de 1995, observada a regulamentação da Aneel, podendo o fornecimento ser complementado por empreendimentos de geração associados às fontes aqui referidas, visando à garantia de suas disponibilidades energéticas, mas limitado a 49% (quarenta e nove por cento) da energia média que produzirem, sem prejuízo do previsto nos §§ 1° e 2° deste artigo.

Nesse tipo de transação, o gerador de energia é denominado de Agente Gerador Incentivado. Para que possa haver essa negociação, a Resolução Normativa Nº 247/2006 da ANEEL exige como condições para o atendimento ao conjunto de unidades consumidoras, reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito, estarem as unidades localizadas em áreas contíguas ou possuírem o mesmo Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica – CNPJ caso localizadas em áreas não contíguas.

⁶ Resolução Normativa Nº 247, de 21 de dezembro de 2006 (ANEEL), art. 1°, 3°.

Para comercialização entre produtor e consumidores especiais, a concessionária ou permissionária de distribuição ou transmissão, em cujo sistema a unidade consumidora esteja conectada, deverá celebrar com os consumidores, ou conjunto de consumidores, contratos de Conexão ao Sistema de Distribuição – CCD ou Contrato de Conexão ao Sistema de Transmissão – CCT, nos termos da regulamentação específica e Contrato de Uso do Sistema de Distribuição – CUSD ou Contrato de Uso do Sistema de Transmissão – CUST, nos termos da regulamentação específica.

Para fins da isenção a ser aplicada às Tarifas de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão e Distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada, a redução final deve ser calculada proporcionalmente aos submontantes obtidos a partir dos MW médios provenientes de cada fonte individualmente, e para cada período de consumo.

Entretanto, caso seja detectado, por mais de três períodos de comercialização, que a energia elétrica injetada pelo empreendimento de geração que utiliza fonte primária incentivada, nos sistemas de transmissão ou distribuição, for superior ao montante de 30 MWméd, contabilizados no período de um mês, será aplicada, a título de penalidade, a perda da isenção.

Será também necessário a celebração de Contrato de Compra de Energia Incentivada (CCEI), com cláusulas e preços livremente negociados entre o Agente Gerador Incentivado e o Consumidor Especial. Deve esse contrato dispor, além das cláusulas essenciais aos contratos administrativos, sobre energia elétrica contratada, discriminada por segmentos mensais e/ou anuais; período de suprimento; critérios de rescisão; submercados de entrega e de consumo.

Para celebração do CCEI deverão ser respeitados os contratos em vigor, devendo o consumidor comunicar, formalmente, à concessionária ou permissionária de distribuição responsável pelo atendimento, no prazo pactuado, seu interesse pela não prorrogação, total ou parcial, do instrumento contratual existente.

Caso o contrato entre a Concessionária seja por prazo indeterminado, somente poderá adquirir energia elétrica após 180 (cento e oitenta) dias de declaração formal dessa opção à concessionária ou permissionária de distribuição.

Posteriormente, caso o Consumidor Especial queira, poderá voltar a ser atendido plenamente pela respectiva concessionária ou permissionária de distribuição, sob a prevalência de tarifas e condições reguladas, devendo formalizar sua opção com antecedência de 180 (cento e oitenta) dias, em relação à data do início do fornecimento, cujo prazo poderá ser reduzido a critério da concessionária ou permissionária de distribuição.

2.3.10 Mercado de curto prazo – energia de reserva

Ainda que em regra as negociações de energia elétrica sejam feitas nos dois ambientes de comercialização, persiste a necessidade da existência de uma forma de contabilização e liquidação das diferenças entre energia fisicamente produzida/consumida e energia contratada.

Este que pode ser considerado o terceiro ambiente de contratação é denominado de "mercado de curto prazo" e é administrado pelo CCEE, onde esse órgão contabiliza e ajusta as diferenças entre a energia contratada e energia efetivamente consumida (Agente Consumidor) e produzida (Agente Gerador), sendo seu fundamento o § 3°, do art. 3° e no art. 3°-A, da Lei N° 10.848, de 15 de março de 2004:

Art. 3º O Poder Concedente homologará a quantidade de energia elétrica a ser contratada para o atendimento de todas as necessidades do mercado nacional, bem como a relação dos novos empreendimentos de geração que integrarão, a título de referência, o processo licitatório de contratação de energia.

[...]

§ 3º Com vistas em garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica, o Poder Concedente poderá definir reserva de capacidade de geração a ser contratada

Art. 3°-A Os custos decorrentes da contratação de energia de reserva de que trata o art. 3° desta Lei, contendo, dentre outros, os custos administrativos, financeiros e encargos tributários, serão rateados entre todos os usuários finais de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional - SIN, incluindo os consumidores referidos nos arts. 15 e 16 da Lei $N^{\rm o}$ 9.074, de 7 de julho de 1995, e no \S 5° do art. 26 da Lei $N^{\rm o}$ 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e os autoprodutores apenas na parcela da energia decorrente da interligação ao SIN, conforme regulamentação.

Trata-se de um mercado compulsório para geradores, distribuidoras, importadores, exportadores, comercializadores e consumidores livres no SIN, visando aumentar a segurança no fornecimento de energia elétrica.

Estão excluídos da obrigatoriedade os geradores menores que 50 MW e distribuidoras que comercializam menos que 500 GWh/ano, ainda que possam participar na condição de participantes facultativos.

Apenas a energia que tenha origem em novos empreendimen**tos** de geração de energia ou de empreendimentos que acrescentem garantia física ao SIN serão objeto desse tipo de contratação (MAIA, 2011).

O preço do mercado é denominado PLD e para seu cálculo se utilizam modelos matemáticos, com o objetivo encontrar a solução ótima de equilíbrio entre o benefício presente do uso da água e o benefício futuro de seu armazenamento, medido em termos da

economia esperada dos combustíveis das usinas termelétricas, tendo em vista a preponderância de geração de energia elétrica por meio de hidroelétricas, sendo determinado semanalmente.

Toda a energia de reserva deverá ser contabilizada e liquidada por meio de Mercado de Curto Prazo da CCEE.

A contratação dessa energia se dá através de Contrato de Energia de Reserva firmado entre a CCEE e os agentes geradores, precedido de leilão específico realizado pela própria ANEEL.

Da mesma forma como no ambiente de contratação regulada, não podem as partes negociar os termos e condições dos contratos, tratando-se de um modelo preestabelecido pela ANEEL.

Todo o custo decorrente da energia de reserva será dividido entre os consumidores finais de energia que estejam conectados ao SIN, por meio do Encargo de Energia de Reserva.

2.3.11 Câmara de comercialização de energia elétrica e o comércio de energia elétrica

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica é o órgão responsável pela liquidação das operações do ACL, bem como pela operacionalização de alguns aspectos do ACR, como os leilões de energia e o MCSD (Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits). CAMPOS (2010) a conceitua como:

[...] pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, sob autorização do Poder Concedente, regulada e fiscalização pela ANEEL, com a finalidade de viabilizar a comercialização de energia elétrica nos moldes da nova legislação (art. 4°, da Lei nº 10.848/04).

Integram a CCEE todos os titulares de concessão, permissão e autorização, além dos demais agentes vinculados aos serviços e instalações de energia elétrica e, finalmente, os consumidores livres (CAMPOS 2010).

Para que os agentes de geração possam comercializar no ACL é preciso que registrem seus contratos mensais por meio do SINERCON. Os consumidores livres e os geradores com potência instalada acima de 50 MW têm que se tornarem agentes da CCEE. Já os com potência abaixo de 50 MW podem ser representados por outro agente.

Deve-se sempre ter em mente que as operações de compra e venda de energia no ACL não significa entrega física direta da energia pelo agente gerador ao agente consumidor. Isso

porque o adquirente não receberá necessariamente a energia gerada pelo vendedor, e sim qualquer energia do SIN.

O sistema funciona da seguinte forma: o vendedor registra a quantidade de energia adquirida por determinado comprador, devendo este validar o registro. A partir daí, o comprador poderá consumir essa energia registrada, que consumida será liquidada pela CCEE. Dessa forma, percebe-se que os contratos de compra e venda se materializam por meio do registro da energia negociada no Sistema de Liquidação e Contabilização da CCEE (SCL ou SINERCOM).

A necessidade de liquidação decorre de uma característica particular da energia elétrica, consistente na sua instantaneidade, ou seja, a geração e consumo ocorrem ao mesmo tempo, o que força que os negócios sejam feitos por meio de instrumento contratuais que exijam um procedimento inicial de contabilização e liquidação para verificação do efetivo cumprimento (CAMPOS 2010).

Por sua vez, no Ambiente de Contratação Regulada, as licitações realizadas para que os distribuidores conectados ao SIN sejam regulamentados pela ANEEL, podendo este órgão realizá-las diretamente ou por meio da CCEE.

A contratação ocorre por meio de acordos bilaterais (Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado), firmados entre uma concessionária ou autorizada de geração e todas as concessionárias, permissionárias e autorizadas do serviço público de geração (CAMPOS, 2010).

2.3.12 Sistema Interligado Nacional - SIN

O Sistema Interligado Nacional brasileiro possui tamanho e características que o distingue de qualquer outro no mundo, sendo um sistema de produção e transmissão de energia elétrica hidrotérmico de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas de múltiplos proprietários.

Isso porque como usinas hidrelétricas são construídas em espaços onde melhor se podem aproveitar as afluências e os desníveis dos rios, muitas vezes distantes dos centros de consumo, houve a necessidade de um grande sistema de transmissão, somada as variações climáticas e hidrológicas do país, o que pode gerar escassez ou excesso de energia em determinadas regiões, fazendo-se necessário o transporte.

Este sistema é integrado pelos sistemas de produção e transmissão de energia elétrica de todo o Brasil, regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da Região Norte. Somente 3,4% (três vírgula quatro por cento) da capacidade de produção de energia elétrica não estão interligadas ao SIN nos sistemas isolados.

A partir da década de 1970, o sistema de transmissão brasileiro passou a ser operado de forma coordenada, visando diminuir os custos de produção e transmissão, além contemplar restrições intra e extrassetoriais, aumentando a confiança do sistema.



Mapa 1- Sistema Interligado Nacional

Fonte: ONS (2003).

2.3.13 Sistemas isolados e o Estado do Amapá

Como visto acima, o Sistema Interligado Nacional viabiliza a comercialização de energia elétrica por todo o país, excetuada pelos sistemas isolados. O conceito de sistema isolado se dá por exclusão, sendo todo aquele que não está interligado ao SIN e que, por consequência não pode realizar troca de energia com os demais submercados, dependendo exclusivamente da energia gerada dentro de seu sistema. É este o caso do Amapá, que não se encontra interligado ao SIN.

Entretanto, o Estado do Amapá será interligado ao SIN por meio da linha de transmissão Tucuruí-Macapá-Manaus. Trata-se de uma linha que integrará ao SIN as regiões de Macapá e Manaus, além de municípios localizados na margem esquerda do rio Amazonas

entre Manaus e Macapá, por meio da interligação de sete linhas de transmissão e oito subestações, das quais sete serão construídas. A extensão total será de aproximada 1.800 Km, atravessando 16 municípios paraenses, oito amazonenses e quatro amapaenses (DE DOILE e NASCIMENTO, 2010).

O valor total da obra é de aproximadamente R\$ 3 bilhões, financiados em parte pelo Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

A previsão de entrada em operação era no final de 2011, e a receita anual de R\$ 247 milhões, rateados entre os usuários conectados ao SIN.

A obra inclui a construção de um circuito duplo, com tensão de de 500 kV interligando a usina hidroelétrica de Tucuruí, segunda maior do país, à região de Manaus, com subestações intermediárias localizadas nos municípios de Anapú, Almeirim, Oriximiná e Silves (DE DOILE e NASCIMENTO, 2010).

Para interligação do Amapá será construída por uma linha de transmissão, igualmente em circuito duplo, mas com tensão de 230 kV, partindo da subestação rebaixadora de Jurupari (500/230 kV), localizada em Almeirim (PA).

No Estado do Amapá existirá subestações nos municípios de Laranjal do Jari e Macapá.

Para execução das obras, a ANEEL, em parceria com BM&F Bovespa, realizou em 2008 o leilão da concessão para construção, operação e manutenção da Interligação Tucuruí-Macapá-Manaus, dividida em três lotes.

Os vencedores foram a empresa espanhola Isolux e um consórcio liderado pela Eletronorte, que por sua vez criaram empresas específicas para receber as concessões dos referidos empreendimentos, conhecidas como Sociedades de Propósito Específico (SPE), ficando responsáveis pela construção e operação e manutenção das instalações por um período de 30 anos, contados da data de assinatura dos contratos de concessão conforme tabela abaixo (DE DOILE e NASCIMENTO, 2010):

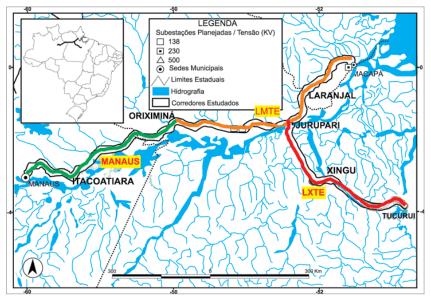
Tabela 2- Detalhes dos Empreendimentos e Concessionárias Responsáveis

Lote	Empreendimentos	Extensão (Km)	Concessionária - SPE	
	LT¹ Tucuruí - Xingu CD¹ 500KV			
A	LT Xingu - Jurupari CD 500 KV	527	LXTE - Linhas de Xingu Transmissora de Energia S.A.	
^	SE¹ Xingu 500 KV, em Anapú - PA	027	EXTE - Elillas de Xiliga Hallsillissora de Erleigia S.A.	
	SE Jurupari 500/230 KV, em Almeirim - PA			
	LT Jurupari - Oriximiná CD 500 KV			
	LT Jurupari - Laranjal CD 230 KV			
В	LT Laranjal - Macapá CD 230 KV	713	LMTF Linhar de Massa é Transmissans de Francis S A	
"	SE Oriximiná 500/138KV	/13	LMTE - Linhas de Macapá Transmissora de Energia S.A.	
	SE Laranjal 230/69 KV			
	SE Macapá 230/69 KV			
	LT Oriximiná - Silves CD 500 KV			
c	LT Silves - Cariri CD 500 KV	586	Manager Manager Transportation of Factoria S.A.	
١	SE Silves 500/138 KV	300	Manaus - Manaus Transmissora de Energia S.A.	
	SE Cariri 500/230 KV, em Manaus			

Fonte: De Doile e Nasciento (2010).

De Doile e Nascimento (2010) ressaltam que a necessidade de minimizar os impactos ambientais causados pelo empreendimento juntamente com os obstáculos à construção de linhas de transmissão em regiões de difícil acesso tornam a Interligação Tucuruí-Macapá-Manaus uma das obras de engenharia mais complexas realizadas no Brasil. Os mesmos alertam que para a interligação será necessário:

[...] construir estruturas com alturas maiores que as convencionais, acima da copa das árvores para evitar cortes, além de possível utilização de helicópteros para lançamento dos cabos. Nos trechos de várzea, inundáveis durante o ano todo e de difícil acesso, deverão ser utilizadas técnicas especiais de engenharia para realização das fundações, assim como as chamadas pontes brancas para o transporte de materiais (DE DOILE e NASCIMENTO, 2010).



Mapa 2- Eletrogeográfico dos Empreendimentos e Concessionárias Responsáveis Fonte: De Doile e Nasciento (2010).

Atualmente a conclusão das obras está atrasada por problemas no licenciamento ambiental. Diante desse fato, em 4 de julho de 2011, o Ministério de Minas e Energia publicou portaria no Diário Oficial da União, onde autoriza a Companhia de Energia do Amapá (CEA) a alugar unidades geradoras com potência de 23 MW para atender à demanda por energia elétrica, tendo em vista que o grupo técnico formado por membros do Ministério, da Eletrobras, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), da Eletronorte e da própria CEA, concluíram pela possibilidade de ocorrer um déficit na geração de energia elétrica até 23 MW no ano de 2011 (DE DOILE e NASCIENTO, 2010). Isso se houver um cenário hidrológico favorável. Caso contrário, o déficit chegaria até 29 MW.

2.3.14 Possíveis destinos da energia do aterro controlado de Macapá

No sistema anterior, a distribuição e venda de energia elétrica ao consumidor final era feita com exclusividade pelo concessionário local, ou seja, havia um verdadeiro sistema de monopólio. Nessa lógica, a energia gerada por aterros sanitários não teria destinação fora do próprio aterro.

Entretanto, conforme visto, no atual sistema existe muitas possibilidades. Abaixo serão examinados os possíveis destinos da energia eventualmente gerada pelo Aterro de Macapá dentro do regramento legal.

A análise será feita a partir de um cenário onde o Estado do Amapá esteja interligado ao Sistema Interligado Nacional. Essa opção foi feita inicialmente por ser algo eminente. Segundo, porque, caso contrário, haveria uma grande limitação de opções.

2.3.14.1 Consumo próprio

Gerada a energia, nada impede que toda ela seja consumida pelo próprio empreendimento, sobretudo se classificado com autoprodutor. Sua utilização pode se dá em qualquer atividade do empreendimento, como iluminação, refrigeração, entre outras.

Ainda que esta não seja a única utilização da energia, podendo o restante ser vendido, consiste numa opção recomendável, por se tratar de uma energia a preço acessível ao próprio gerador, reduzindo os custos com a compra externa de energia elétrica.

2.3.14.2 Venda para comercializadores de energia

Dentro das diretrizes da legislação atual, o Produtor Independente pode vender sua produção para aos comercializadores de energia, em Ambiente de Contratação Livre (ACL), gerenciado pela CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica).

Os valores e condições da negociação se darão nos termos acima expostos, referente ao Ambiente de Negociação Livre.

2.3.14.3 Venda a consumidores livres

Conforme visto acima, os Consumidores Livres, por serem livres do sistema de monopólio, podem escolher de quem comprar energia elétrica. Essa negociação se utilizaria dos sistemas de distribuição e transmissão de concessionários e permissionários de serviço público, mediante ressarcimento do custo de transporte envolvido.

Normalmente, esse segmento é representado por indústrias automobilística, alimentícia, siderúrgica, química etc., onde o custo financeiro da energia contribui de forma significativa no valor total da produção, influenciando na competitividade comercial.

Com a inclusão do Estado do Amapá ao SNI, surge a possibilidade de venda da energia elétrica do aterro de Macapá a consumidores livres, independentemente de onde se localizem.

2.3.14.4 Venda a consumidores especiais

Da mesma forma que os consumidores livres, os Consumidores Especiais são potenciais adquirentes da energia elétrica produzida pelo aterro. Correspondem a aqueles que, não enquadrados como consumidores livres, são responsáveis "por unidade consumidora ou conjunto de unidades consumidoras do Grupo "A", integrante(s) do mesmo submercado no SIN, reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito, cuja carga seja maior ou igual a 500 kW." (ANEEL, 2006). As vantagens e condições da negociação são semelhantes às referentes aos consumidores livres.

2.3.14.5 Venda em leilões do ambiente de contratação regulada

Tratam-se de leilões realizados no Ambiente de Contratação Regulada, ACR, gerenciados pela CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), onde os compradores serão as distribuidoras de energia, que posteriormente repassam essa energia aos consumidores cativos atendidos de forma exclusiva por elas. Atendidas as exigências, a energia elétrica gerado no aterro pode ter esta destinação.

2.3.14.6 Venda em leilões do ambiente de contratação livre

Também é possível a realização de leilão de venda de energia elétrica no ambiente de contratação livre, destinado a atender as necessidades dos agentes da CCEE que se tornarem vencedores do processo.

3 DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MACAPÁ E ANÁLISE ECONÔMICA DO EMPREENDIMENTO

3.1 Aterro Controlado de Macapá

3.1.1 Histórico

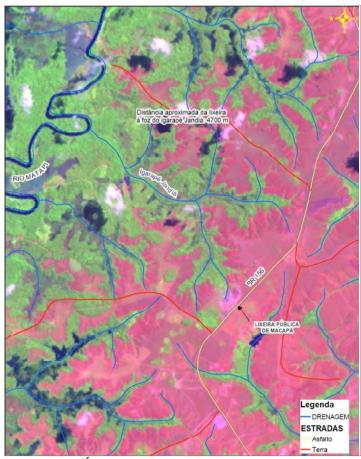
Macapá, com área de 24.557 km² e altitude de 16,5m, como a maioria das cidades brasileiras, dava destinação inadequada aos seus resíduos sólidos. Antes do aterro controlado de Macapá, os rejeitos eram lançados na "lixeira pública de Macapá", localizada a

aproximadamente 200m da margem esquerda da BR-156, sentido Macapá-Oiapoque, no Km 14, distante 3,5 Km do Rio Matapi (oeste) e a 13 Km do Aeroporto Internacional de Macapá (sul), conforme mapa 1, com área de 104 ha.



Mapa 1- Imagem de Satélite Destacando a Área do Lixão e a Cidade de Macapá-AP Fonte: MPF, 2011.

A vegetação predominante na região era de cerrado, possuindo mata de galaria. Ao norte, foi identificada uma nascente que dá orgiem ao igarapé Jandiá, afluente do rio Matapi. Essas águas são parcialmente represadas, sendo encontrados peixes no local. A região apresenta um complexo sistema de drenagem, conforme mostra o mapa 2.



Mapa 2- Imagem de Satélite Destacando a Área do Lixão e a Cidade de Macapá-AP Fonte: PMM, 2007.

A geologia do local é caracterizada pela formação de Barreiras⁷, sendo uma unidade argiloarenosa maciça, de textura mosqueada com espessura superior a 10m, ocupando 80% da área. Por sua vez, o relevo se caracteriza por platôs, onde estão entalhadas ravinas com até 12m de profundidade, responsáveis pelas drenagens intermitentes que, no período chuvoso, interligam-se com as drenagens perenes da região (MPF, 2011).

Na lixeira pública, o lixo era simplesmente jogado ravina à baixo, sem que antes recebesse qualquer tratamento, o que inevitavelmente contaminava o solo e a água. Outro problema era a grande quantidade de fumaça proveniente da queima dos resíduos domiciliares. Da mesma forma era tratado o lixo hospitalar, que era simplesmente queimado, o que inevitavelmente contaminava ainda mais o ar, conforme foto 1.

7 Unidade geomorfológica dos tabuleiros costeiros (LIMA, 2004)



Foto 1- Queima Dos Resíduos Domiciliares, que São Lançados nas Encostas das Ravinas Fonte: MPF, 2011.

Essa realidade resultava em grande quantidade de lixo a céu aberto, o que atraia muitos urubus, ocasionando sérios riscos à avião, sobretudo aos procedimentos de pouso e decolagem no Aeroporto Internacional de Macapá, contrariando a Resolução nº 04, de 09/10/1995, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que proíbe num raio de 20 km dos aeródromos, que operam de acordo com as regras de voo por instrumentos, vazadouros de lixo que atraiam aves.

Além disso, a realidade da lixeira pública acarretava sérias consequências ambientais, sendo ela a principal causadora do desequilíbrio no ecossistema, contaminação do solo e água, proliferação de macro e microvetores, destruição da vegetação, poluição do ar, escorrimento do chorume diretamente na nascente e exposição do ser humano a doenças. Após longas negociações, foi firmado o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre o Ministério Público do Estado do Amapá e os Municípios de Macapá e Santana, com objetivo de dar início à regularização do manejo adequado dos resíduos sólidos, com o descarte em Aterro Municipal devidamente aterrado em valas sépticas.

A partir do TAC teve início o processo de transformação do lixão em aterro nos termos do procedimento de licenciamento ambiental, que tiveram como condicionantes a realização periódica de análises da qualidade da água, bem como descrições das atividades de operação do aterro. Foi realizado um processo de recuperação da área do lixão, com o isolamento do entorno, canalização e tratamento do chorume, remoção do biogás produzido em diferentes profundidades do aterro. Houve também recobrimento das células de lixo, anteriormente expostas.

3.1.2 Situação atual

O atual Aterro Controlado de Macapá está localizado na margem esquerda da BR-156, sentido Macapá-Oiapoque, km 14, a partir de sua confluência com a Rodovia AP-070, a uma distância de 3,5 km do rio Macapi, a 13 km do Aeroporto Internacional de Macapá e 20 km do centro de Macapá, onde antes se localizava a lixeira pública. Possui uma área aproximada de 103 ha, com área afetada para disposição de diversas espécies de resíduos (domiciliar, comercial, entulhos, pneus etc.) de 35,7 ha. Cerca de 58,7 ha são ocupados por vegetação nativa, logo será possível a intervenção apenas em uma área de aproximadamente 36 ha.

Sua exploração como aterro controlado teve início em 2007. Nessa época já havia cerca de 653.214 toneladas, incluindo o entulho, proveniente da lixeira pública de Macapá. Seu gerenciamento foi concedido pela Prefeitura Municipal de Macapá a concessionária Rumos Engenharia Ambiental Ltda., com exclusividade para operação e implantação do Aterro Sanitário de Macapá, nos termos do Contrato nº 015/2008-PMM firmado em 2008, com período de vigência de 20 anos, podendo ser prorrogado por mais cinco anos.

A capacidade máxima do aterro controlado é de aproximadamente 465 mil toneladas de resíduos. A previsão de fechamento do aterro controlado é para 2012. A partir daí será explorada uma segunda célula, essa com características de aterro sanitário, que operará até 2027, com possibilidade de prorrogação por mais cinco anos, conforme informações prestadas pela administradora do aterro (MPF, 2011).

Atualmente o armazenamento dos resíduos sólidos urbanos (domiciliar, comercial, feiras e varrição) é feito numa célula de aproximadamente 52.800m² (220m x 240m), seguindo o procedimento da figura 1 e foto 2 imagem abaixo, impermeabilizada por meio de argila compactada e possui capacidade de aglomerar aproximadamente 465 mil toneladas de RSU.

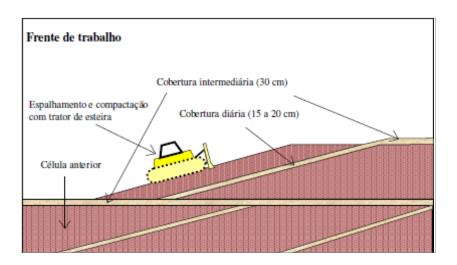


Figura 1- Frente de Trabalho no Aterro Controlado de Macapá Fonte: MPF, 2011.



Foto 2- Operação de Espalhamento e Compactação dos Resíduos Fonte: Elaboração própria.

Por sua vez, os resíduos provenientes de serviço de saúde são depositado em uma célula com dimensões de 532m² (28m x 19m) e capacidade de 908 toneladas. Além dela existe uma vala séptica de 732m² (36m x 20m), mas com operação encerrada e com capacidade da célula é 1.248 toneladas. A impermeabilização da vala séptica em operação é feita por meio de uma geomembrana de alta resistência *pead* 2.0mm.



Foto 3- Célula de Depósito de Resíduos Hospitalares

Fonte: Elaboração Própria

Além dos resíduos sólidos urbanos e hospitalares, outras espécies de resíduos sólidos têm destino próprio no aterro controlado de Macapá. Os resíduos de construção, constituído de restos de praticamente todos os materiais de construção (argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeira, metais, papéis, plásticos, pedras, tijolos, tintas etc.), são destinado à área de entulho.

Por sua vez, os resíduos de limpeza de terrenos (terra, galhos de árvore, capim, pedra, entre outros) trazidos por empresas terceirizadas, por não terem necessidade de nenhum tratamento, são encaminhados a uma área especifica do aterro, chamada de "bota fora", que poderá ser reutilizada como recobrimento em algumas partes das células. Por fim, o lixo industrial não é armazenado no aterro.

O esquema apresentado na figura 2, extraído de informação prestada pela Concessionária Rumos Construções Ambientais no Inquérito Civil Público 1.12.000.000610/2011-06 (MPF, 2011), sistematiza o destino dos resíduos sólidos no Aterro Controlado de Macapá.



Figura 2- Destinos dos Resíduos Sólidos no Aterro Controlado de Macapá Fonte: MPF, 2011.

A coleta do lixo destinado ao aterro é feita de duas formas diferentes: coleta diária noturna e coleta alternada diurna. A primeira é feita por meio de 10 caminhões compactadores de 15m, nos bairros Central, Jesus de Nazaré, Laguinho, Pacoval, Perpetuo Socorro, Trem, Beirol, Buritizal, Santa Rita e Alvorada. A segunda coleta alternada é feita no período diurno por 11 caminhões compactadores com as nesmas características dos que fazem a coleta noturna. Nos bairros do setor sul de Macapá é feita nas segundas, quartas e sextas-feiras. Por sua vez, nos bairros do setor norte, é feita nas terças-feiras, quintas-feiras, sábados. A foto 4 traz o modelo de caminhão utilizada na coleta.



Foto 4- Caminhão Utilizado na Coleto do Lixo em Macapá Fonte: Elaboração própria

Ainda não há triagem dos produtos recicláveis, como expectativa de início em 2012 com a implantação do aterro sanitário.



Foto 5- Queimado de Biogás Utilizado no Aterro de Macapá Fonte: Elaboração própria

O biogás gerado no aterro é drenado por meio de 18 drenos verticais em manilha de concreto pré-moldados, com diâmetro de 300mm, com distância entre cada um de aproximadamente 35 m e, posteriormente, é queimado no topo dos drenos da célula controlada, conforme foto 5.

3.1.3 Característica e quantidades do lixo

Para uma análise confiável do empreendimento, é necessário identificar as características e quantidades de lixo depositadas e estimadas para o aterro. Segundo informações prestadas pela administradora Rumos Engenharia Ambiental Ltda. (MPF, 2011), a qual é resposável pelo aterro, as proporções de quantidades de resíduos sólidas depositadas no aterro de Macapá podem ser representadas pelo gráfico 1.

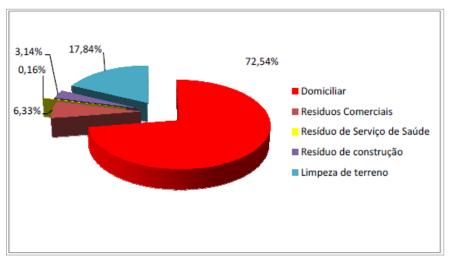


Gráfico 1- Espécies de Resíduos Sólidos Depositados no Aterro Controlado de Macapá Fonte: MPF, 2011.

Outro dado importante, sobretudo para pesquisa, consiste na composição física dos resíduos sólidos domiciliares. Segundo MPF (2011), a composição gravimétrica para o município de Macapá pode ser representada pela tabela 1.

Componentes	Categoria	Massa (base úmida)	Umidade Típica	Massa de ref. (base seca)	
Restos de Alimentos	R	61,1	70	18,3	
Papel, papelão	R	11,7	6	11,0	
Têxteis	L	*	10	-	

Madeira	L	*	20	-		
plástico	N	15,5	2	15,2		
Vidro	N	2,3	2	2,3		
Metais	N	4,3	2	4,2		
Outros	N	5,1	5	4,8		
R	Rapidamente degradável					
L	Lentamente degradável					
N	Não degradável (ou dificilmente)					
*	Computado em "Outros"					

Tabela 1- Composição Gravimétrica do Lixo Doméstico de Macapá

Fonte: MPF, 2011.

Por sua vez, a quantidade de lixo estocada desde a abertura do aterro controlado é representado pela tabela 2.

Célu	la para Resíduos Urbanos	Vala Séptica		
ANO	TONELADA	ANO	TONELADA	
2007	72.139,65	2007	467,28	
2008	74.890,44	2008	500,61	
2009	93.584,33	2009	395,09	
2010	98.126,36	2010	327,73	
jul/11	54.445,00	jul/11	94,82	
TOTAL	393.185,78	TOTAL	1.785,53	

Tabela 2- Quantidade de Lixo Depositado no Aterro Controlado de Macapá

Fonte: MPF, 2011.

3.2 Estimativa de Produção de Biogás Pelo Aterro de Macapá

3.2.1 Biogás geração e uso energético

Para o desenvolvimento do presente trabalho, utilizou-se o programa Biogás Geração e Uso Energético para estimar a geração de biogás no aterro de Macapá. O programa, assim como o Manual do Usuário (CETESB, 2006), foi produzido com recursos do Programa Mudanças Climáticas Globais – "Plano Brasil de Todos" do Governo Federal.

Ambos foram frutos dos Convênios "Subsídios para a recuperação e uso energético de biogás gerado em estações de tratamento anaeróbio de efluentes – ETAE "; e "Subsídios para

a recuperação e uso energético de biogás gerado em locais de disposição de resíduos sólidos – LDRS " [nº: 01.0053.00/2001 e 01.0054.00/2001], firmados entre o Governo Federal e o Governo do Estado de São Paulo, por meio do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA e Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental – CETESB, publicado no *Diário Oficial da União* de 26 de dezembro de 2001, seção 3, página 244 (CETESB, 2006).

O programa de computador foi escrito com o emprego da linguagem de computação Visual Basic. Está registrado em nome do convênio, sendo livres o uso, o estudo, a reprodução e a distribuição, desde que sejam citadas as instituições realizadoras e financiadoras do programa original, nos termos das Lei Nº 9.606/98, 9.609/98 e seus regulamentos – Decreto Nº 2.556/98 e na Lei de Direito Autoral Nº 9.610/98 (CETESB, 2006).

O modelo matemático utilizado pelo programa é o mesmo adotado pelo *United States Environmental Protection Agency* – USEPA, para estimar a geração de metano nos aterros dos Estados Unidos, tendo sido adotado para pesquisa, diante de sua simplicidade para a aplicação e pela confiabilidade nos resultados. Para o modelo:

[...] onde ocorre o processo de degradação anaeróbia, a estimativa de geração de metano é feita para cada porção de resíduo depositada no aterro. No primeiro ano ocorre o maior nível de geração, reduzindo-se com o passar dos anos, com a sua intensidade variando em função da composição do resíduo e da umidade do local. (CETESB, 2006).

Sua representação matemática para estimativa de vazão (Qx) de metano no ano considerado se dá pela equação 3.1.

$$Qx = k.R x .L_{0.} e^{-k(x-T)}$$

(3.1)

Onde:

Qx: vazão de metano gerado no ano x pelo RSD depositado no ano T [m³CH₄/ano];

k: constante de decaimento [1/ano]

Rx: fluxo de resíduos no ano x [kg_{RSD}];

L₀: potencial de geração de metano [m³ biogás/kg _{RSD}];

T: ano de deposição do resíduo no aterro [ano];

x: ano atual [ano]; e RSD: resíduo sólido domiciliar.

Constata-se por meio da equação acima que as vazões (Qx) de biogás serão máximas no primeiro ano, reduzindo-se a cada ano seguinte. Por sua vez, as emissões serão maiores quanto maiores forem os valores de k, Rx e L_0 , o que por consequência resultará num maior decaimento em função do fator $e^{-k(x-T)}$.

Por sua vez, para calcular a soma das vazões (ΣQx) de metano, possibilitando estimar a geração de biogás ao longo dos anos, o método se utiliza da equação 3.2.

$$\Sigma Q_{x} = F.k. L_{\theta} \Sigma R_{X. e}^{-k(x-T)}$$
(3.2)

Onde:

 ΣQx : soma das *n* estimativas de vazões de metano [m³CH₄]; e

F = fração de metano no biogás (%).

3.2.2 Dados utilizados para estimativas

Para utilização dos modelos matemáticos acima e por consequência do programa Biogás Geração e Uso Energético, faz-se necessário identificar diversos dados, conforme detalhado ao longo do capítulo. Foram analisados três cenários (otimista, realista e pessimista) para estimativa da geração de biogás em função das variáveis k e L_o, conforme detalhado abaixo.

3.2.2.1 Constante de decaimento (k)

Este dado varia entre 0,001 a 0,15 em função da temperatura, umidade e natureza do lixo. Quanto mais úmido o ambiente maior será k. Por sua vez, climas mais quentes apresentaram k maior em detrimento de climas mais frios que apresentam k menor. Segundo (CETESB, 2006) "quanto menor o valor de k, menor é a inclinação e área sob a curva e, portanto, é menor a estimativa de emissão de metano no aterro. Por outro lado, o k maior implica maior intensidade da atividade metanogênica."

Para definição do valor de k empregado, utilizou-se dos valores sugeridos pelo USEPA (1996) em função da umidade do ambiente, conforme tabela 3.

Variável	variação	valores sugeridos		
		clima úmido	clima de umidade média	clima seco
L_0 [m ³ CH ₄ /kg _{RSD}]	0 - 0.312	0,14 - 0,18	0,14-0,18	0,14-0,18
k [1/ano]	0,003 - 0,4	0,10-0,35	0,05 - 0,15	0,02-0,10

Tabela 3- Variações de k e L0

Fonte: USEPA, 1996, citando Landfill control Technologies "Landfill gas system engineering design seminar", 1994.

De acordo com Souza e Cunha (2010) e Souza *et al* (2009) Macapá apresenta uma taxa de precipitação anual variável, normalmente entre 2.300 a 2.700mm, com temperatura média de 25,9°C nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, período de menor temperatura, e com médias de 28,3°C no mês de outubro, mês com temperaturas mais elevadas do ano. Sobre a umidade relativa do ar a variação encontra-se entre 88% em abril e 73% em outubro.

Dessa forma, enquadrou-se Macapá como um clima de unidade média, o que resulta em valores para k entre 0,05 e 0,15. Para estimativa de geração de biogás e por consequência da geração de energia elétrica no aterro de Macapá, utilizou-se de três valores, um para cada cenário, quais sejam de 0,05 (pessimista), 0,10 (realista) e 0,15 (otimista).

3.2.2.2 Potencial de geração de biogás (L_o)

Segundo USEPA (1996), este valor varia entre 0,14 e 0,18 m³CH₄/kg_{RSD} para climas de umidade média. Sendo assim, definiu-se os valores de 0,14 m³CH₄/kg_{RS}, 0,16m³CH₄/kg_{RS} e 0,18m³CH₄/kg_{RS} para os cenários pessimista, realista e otimista respectivamente.

3.2.2.3 Fluxo de resíduos (Rx)

A estimativa de geração de metano (ΣQx) pode ser feita de diferentes maneiras, sendo possível apenas com base na população da cidade e nas sugestões do programa. Entretanto, para uma estimativa mais precisa da geração de biogás, optou-se por utilizar a quantidade real do fluxo de resíduos no aterro.

Como a análise será feita para anos futuros, a partir de 2012, é preciso considerar uma taxa de crescimento da população e por consequência da geração de lixo. Para definir essa taxa, utilizou-se dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O censo

realizado no Brasil em 2010 (IBGE, 2010) apontou que Macapá entre os anos de 2001 e 2010 e 1991 e 2000 apresentou taxa média geométrica de crescimento anual de 3,46%.

Segundo dados do censo 2010, Macapá possui população de 398.204 habitantes.

A quantidade anual de lixo depositada no aterro em 2010 foi de 98.126,36 toneladas. Aplicando a taxa de crescimento de 3,46% ao ano, resultaria em uma geração de 101.521,53 toneladas anual ou 278 toneladas diárias de resíduos sólidos no ano de 2011, ano que antecede o início de exploração do aterro sanitário de Macapá.

Dessa forma, chegou-se a quantidade de lixo ao longo da vida útil estimado do aterro sanitário (2032), data em que deverá ser encerrada a exploração da célula do aterro sanitário, conforme tabela 4.

Ano	Fluxo (t/ano)	Ano	Fluxo (t/ano)	Ano	Fluxo (t/ano)
2012	101470000	2019	128749330	2026	163362472
2013	104980862	2020	133204057	2027	169014814
2014	108613200	2021	137812918	2028	174862726
2015	112371217	2022	142581245	2029	180912977
2016	116259261	2023	147514556	2030	187172566
2017	120281831	2024	152618559	2031	193648737
2018	124443582	2025	157899161	2032	200348983

Tabela 4- Estimativa da Quantidade de Lixo ao Longo da Vida Útil do Aterro Sanitário de Macapá Fonte: Elaboração própria.

Ainda que em 2032 se encerre o depósito de RSU nesta célula da unidade de disposição final de Macapá, parte da matéria orgânica ali depositada ainda continuará se decompondo e gerando biogás, o que viabilizaria o aproveitamento energético do biogás, mesmo após o fechamento da célula.

3.2.3 Estimativa de geração de biogás no aterro – resultados

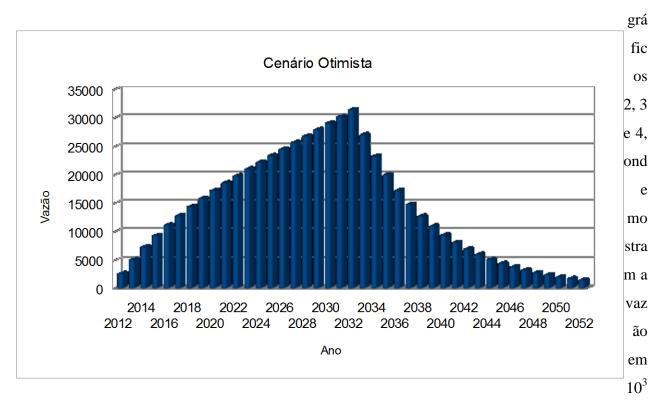
Para esse cálculo igualmente se utilizou os valores sugeridos pelo programa, nos seguintes termos:

- a linha de base (taxa de queima) de metano no aterro (20%);
- emissão de gás de efeito estufa evitada pela economia de energia elétrica gerada por fontes não renováveis (0.2782 tCO₂/MWhevit);

- eficiência de coleta de metano do aterro (75%); e
- eficiência de queima do metano (95%).

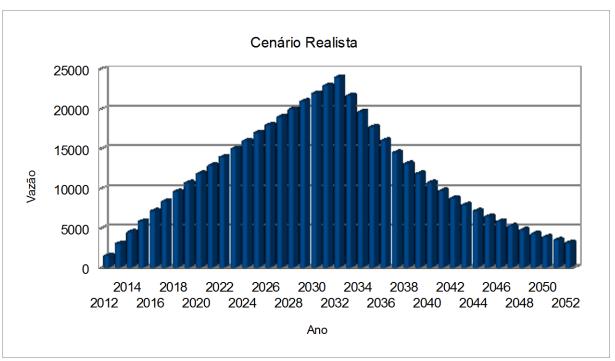
De acordo com CETESB (2006), a estimativa será mais precisa, quanto mais precisas tenham sido as informações fornecidas anteriormente. Todavia, a escassez de pesquisas no Brasil sobre as emissões de metano nos processos de degradação anaeróbia de resíduos sólidos, sugere que outros meios devem ser procurados para confirmar essas primeiras estimativas, motivo pelo qual se utilizou dos valores sugeridos pelo programa.

Com base nesses dados, chegou-se a seguinte taxa de vazão de biogás, conforme



m³ CH₄/ano.

Gráfico 2- Estimativa de Vazão e Captação do Biogás em um Cenário Otimista



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 3- Estimativa de Vazão e Captação do Biogás em um Cenário Realista Fonte: Elaboração própria.

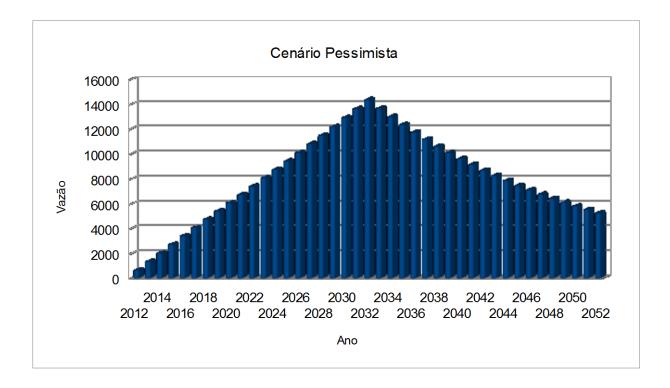


Gráfico 4- Estimativa de Vazão e Captação do Biogás em um Cenário Pessimista Fonte: Elaboração própria.

Da análise dos gráficos 2, 3 e 4, percebe-se a grande potencialidade da unidade de disposição final de RSU de Macapá para produção de biogás. Isso decorre, como visto, de diversos fatores. Inicialmente, deve-se considerar a grande concentração de resíduos orgânicos no lixo lá depositado. Contribuindo em igual sentido para **a** geração de biogás estão as condições naturais de Macapá, com o clima quente e úmido. Essas condições climáticas também foram responsáveis por outra característica favorável à exploração do biogás, que pode ser identificada nos gráficos 2, 3 e 4, consistente na rápida decomposição da matéria orgânica depositada e por consequência na geração de biogás, onde em torno de 15 anos de exploração, a formação de biogás chega ao ápice. Essa característica nos modelos matemáticos é identificada por valores altos de k e L₀, o que favorece a formação do biogás.

3.2.4 Estimativa de índice de potência disponível

Da mesma forma, chegou-se aos seguintes valores de Potência (kW) ao longo dos anos, o que resultou nos gráficos representados nos gráficos 5, 6 e 7.

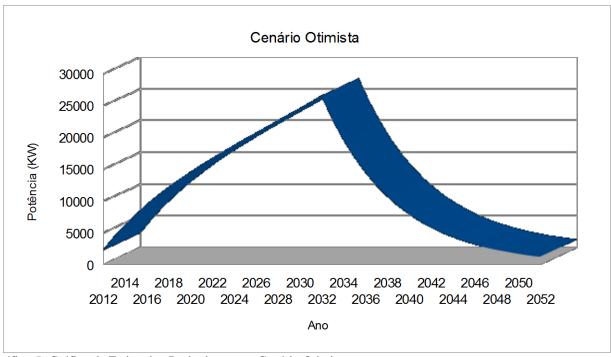


Gráfico 5- Gráfico de Estimativa Potência em um Cenário Otimista Fonte: Elaboração própria.

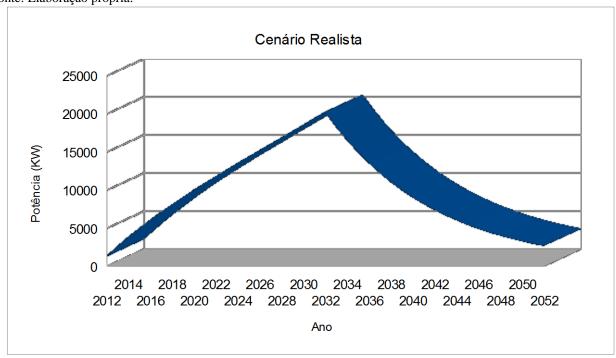


Gráfico 6- Gráfico de Estimativa Potência em um Cenário Realista Fonte: Elaboração própria.

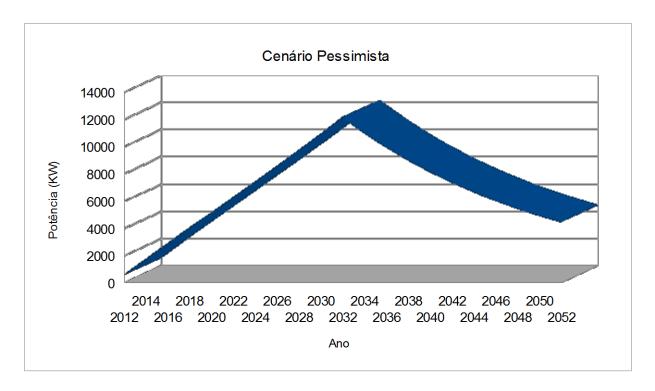


Gráfico 7- Gráfico de Estimativa Potência em um Cenário Pessimista Fonte: Elaboração própria.

Como era de se esperar, a expressiva vazão de biogás representada pelas figuras 3.11, 3.11 e 3.12 resultou em um alto potencial energético da unidade de disposição final de RSU de Macapá. Entretanto, deve-se ressaltar que esses valores não representam propriamente a potência elétrica, tendo em vista que ainda será preciso aplicar a taxa de conversão referente ao meio empregado para geração de energia elétrica, conforme será visto abaixo.

3.2.5 Estimativa de potência elétrica

A conversão da energia térmica do biogás para energia elétrica será feita por meio de utilização do Grupo de Gerador Otto Nacional, de acordo com considerações feitas anteriormente. Esse apresenta um taxa de rendimento de conversão energética entre 30% e 40 % (CENBIO, 2004). Utilizou-se o patamar médio de 35% de rendimento para a presente análise. Para definir as potências dos geradores empregados, deve-se considerar o potência útil elétrica desejada.

Na tabela 5 estão consolidados os resultados da análise acima, nos três cenários idealizados (otimista, realista e pessimista), com informações de potência de eventual usina de

geração, por quanto tempo aquela potência poderia ser mantida pelo biogás do aterro, ano de início e término da produção total da usina.

Otimista					Rea	Realista			Pessimista			
Potência MW	Duração (anos)	Início	Término	Potência kW	Duração (anos)	Início	Término	Potência kW	Duração (anos)	Início	Término	
1	34	2013	2046	1	38	2014	2051	1	37	2016	2052	
2	29	2014	2042	2	29	2016	2044	2	27	2021	2047	
3	24	2016	2039	3	22	2019	2040	3	14	2026	2039	
4	20	2018	2037	4	16	2022	2037	4	3	2031	2033	
5	17	2020	2036	5	11	2025	2035					
6	12	2023	2034	6	5	2029	2033					
7	8	2026	2033	7	1	2032	2032					
8	5	2029	2033									
9	1	2032	3032									

Tabela 5- Resultados da Estimativa de Capacidade de Geração de Energia Elétrica pelo Aterro de Macapá para Cenários Otimista, Realista e Pessimista

Fonte: Elaboração própria.

A primeira percepção de que depreende da Tabela 3.5 é que não é conveniente projetar uma usina para a potência máxima suportada, diante do curto tempo em que poderá ser mantida, o que resultaria em uma usina dispendiosa financeiramente e utilizada em sua plenitude de geração por pouco tempo, o que sugere a exploração do biogás do aterro por usinas de potência intermediárias para cada cenário. Percebe-se também que mesmo num cenário pessimista seria viável energeticamente explorar a unidade de posição final de RSU de Macapá, visto que poderia manter uma usina com potência de 3 MW por 14 anos.

3.3 Definições dos Dados para Análise do Custo da Energia Gerada Pelo Aterro de Macapá

Conforme visto no primeiro capítulo, para cálculo do custo da energia a ser gerada pelo aterro sanitário de Macapá é preciso, inicialmente, identificar todas as despesas do empreendimento ao longo de sua execução, conforme cada cenário. As despesas do empreendimento, ao contrário das receitas, são inúmeras e sua estimativa complexa. Iniciouse pela estimativa do custo de implantação da usina de geração e do sistema de captação e tratamento do biogás. Seguiu-se pelo custo de operação e manutenção do sistema. A partir desses dados, foi possível calcular o VPL e, em seguida, o VPLa, para ao final calcular o custa da energia elétrica do projeto.

Abaixo serão tratadas cada uma das despesas, buscando da forma mais realista possível identificá-las e estimá-las.

3.3.1 Investimento inicial na usina de geração e sistema de captação e tratamento

O investimento inicial do projeto inclui a instalação da usina de geração e do sistema de captação do biogás, conforme descrito abaixo. Esses valores são necessários para a estruturação do projeto, logo seu desembolso se dá em seu primeiro ano.

Para estimação do valor da usina de geração, utilizou-se o método desenvolvido por Vazin (2006), para quem o estudo foi:

[...] feito com base nos estudos do Banco Mundial (2005) de pré-viabilidade de recuperação do biogás e produção de energia nos seguintes aterros sanitários: aterro Muribeca de Pernambuco, Brasil; aterro Gramacho do Rio de Janeiro, Brasil; aterro de Montevidéu, Uruguai; aterro de Queretaro, México; aterro Chihuahua, México; aterro Huaycoloro, Peru; aterro El Combeima, Colômbia; aterro La Esmeralda, Colômbia; aterro El Carrasco, Colômbia. (VAZIN, 2006).

A partir desses estudos de pré-viabilidade, foi criado um banco de dados com respectivos valores dos orçamentos em geração de energia, infraestrutura de captação e coleta do biogás, capacidade de disposição de resíduos sólidos, referente a cada um dos aterros acima citados.

De posse desse banco de dados, utilizou-se o *software* de inferência estatística – Sisreg8 Windows, para desenvolvimento de uma equação destinada a obter o valor do investimento para a usina de geração, em milhões de dólares, com base na potência de geração (MW). Esse modelo é recomendado para usinas com potência de geração que varie entre 1 a 10 MW, com confiabilidade de 99%, conforme informado pelo próprio *software* (VAZIN, 2006).

Dessa forma, chegou-se a equação 3.3 para cálculo do custo da usina.

Inv.U.G.(milhões US\$) =
$$0.08032049 + 0.9616 * (potência em MW)$$
 (3.3)

Onde:

-

⁸ O SiSreg é um sistema para avaliações comparativas do mercado imobiliário, com a utilização de regressão linear múltipla e possibilita a abordagem científica na valorização de bens, permitindo uma melhor interpretação dos fenômenos mercadológicos.

Inv.U.G. = investimento em unidade de geração.

Conforme o Banco Mundial (2004), o investimento na usina de geração corresponde de 40 a 60 % do investimento inicial total, sendo que o restante corresponde ao valor do sistema de coleta e tratamento do biogás. Para a presente análise, nos diversos cenários, o valor encontrado pela equação 3.3 (investimento na inicial na usina de geração) será correspondente a 40%, 50% e 60% do investimento, logo, o restante será correspondente ao custo do sistema de captação e tratamento do biogás.

Dessa forma, para o cenário otimista, o valor encontrado pela equação 3.3 corresponderá a 60% do total do investimento. Na mesma lógica, no cenário realista, o valor corresponderá a 50% e, finalmente, no cenário pessimista corresponderá a 40%.

3.3.2 Custo de manutenção e operação

Para análise dos custos de operação e manutenção, baseando-se no mesmo trabalho feito por Vazin (2006), que se utilizou de dados de projetos desenvolvidos e em operação nos Estados Unidos, disponíveis no Banco Mundial (2004), chegou-se aos valores da tabela 8 e no item 3.3.2.2 e 3.3.2.3.

3.3.2.1 Custo de manutenção e operação da usina de energia elétrica

O valor do custo anual de manutenção e operação da usina de geração de energia elétrica é estimado em US\$ 0,018 por kWh, o que resultou em valores expressos na tabela 8, de acordo com a potência da usina. Esses valores foram obtidos a partir da divisão da energia gerada ao longo de um ano, calculada pelo programa Biogás Geração e Uso Energético, constante da tabela 11, dividido por 12 (número de meses no ano).

Potência	Total (kWh/mês)	Total (kWh/ano)	Custo de Manitenção Anual (US\$)
1.000	660.000	7.920.000	142.560,00
2.000	1.320.000	15.840.000	285.120,00
3.000	1.980.000	23.760.000	427.680,00

Tabela 6- Relação entre Potência da Usina, Quantidade de Energia Produzida e Custo de Manutenção Anual Fonte: Elaboração própria.

3.3.2.2 Custo de manutenção e operação do sistema de coleta e controle do biogás

Segundo trabalho de Vazin (2006), o custo anual de manutenção e operação do Sistema de Coleta e Tratamento do Biogás corresponde a 5% do investimento em infraestrutura de coleta e captação do biogás. Dessa forma, para seu cálculo será preciso identificar anteriormente o custo do sistema de coleta e tratamento do biogás.

3.3.2.3 Custo de registro, monitoração e verificação

Esse item se refere aos valores pagos para registo do empreendimento como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e para monitoramento e verificação dos créditos a serem certificados. Segundo Vazin (2006) seu valor varia entre US\$ 25.000 a US\$ 40.000 por aterro sanitário.

Para estudo do custo de energia, serão adotados os valores de US\$ 25.000, US\$ 32.500 e US\$ 40.000 nos diversos cenários.

3.3.2.4 Depreciação

Adotou-se como período de depreciação dos bens o período de 15 anos, motivo pelo qual a depreciação não foi considerada nos cenários com período de até 14 anos para o cálculo da VPL. Entretanto, no cenário de 21 anos, foi necessário considerar a renovação da usina de geração no 15° ano do projeto.

3.3.2.5 Taxa de compra do biogás

Segundo estudo de Vazin (2006), chegou-se ao valor de compra do biogás de US\$ 0,35 por MMBtu. Na definição dos cenários para análise do custo da energia elétrica produzida pelo aterro de Macapá, o valor de compra do biogás será uma das variantes, sendo adotados três valores distintos, correspondentes a US\$ 0,30, USS\$ 0,40 e USS\$ 0,50 por MMBtu.

Para efeito de cálculos, será considerado apenas o valor de compra de biogás suficiente para manter a usina correspondente (1MW, 2MW, 3MW e 4MW) conforme proposto para o projeto. Isso se justifica, visto que, serão considerados os créditos de carbono referente apenas ao que for queimado para geração de energia elétrica. Partirá do pressuposto que o restante de

biogás e os créditos de carbono decorrentes de sua queima serão de propriedade da municipalidade.

Na tabela 3.9 consta a quantidade de biogás anual necessário para manter a correspondente usina de geração expressos em MMBtu 9.

Potência da Usina	Volume de Biogás (m³)	Quantidade de Biogás MMBtu
1 MW	6.189.120	204.241,16
2 MW	12.378.240	408.482,32
3 MW	18.567.360	612.723,48

Tabela 7- Relação de Potência da Usina e Quantidade de Biogás para Mantê-La em Pleno Funcionamento Fonte: Elaboração própria.

3.3.2.5 Tributos

Para identificação do fluxo de caixa é imprescindível considerar os tributos incidentes sobre a atividade de geração, comercialização de energia elétrica e dos créditos de carbono, de acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME, 2005). Entretanto, na sistemática para cálculo do custo de geração de energia elétrica, o custo com tributos se torna prescindível, visto que incide em qualquer forma de geração, tornando seu uso irrelevante.

3.3.2.6 Custo de manutenção do aterro não relacionado com a geração de energia elétrica

Tudo o que foi estimado acima leva em consideração apenas os custos relacionados com a captação, processamento e utilização do biogás para geração de energia elétrica. Foi deixado de lado o custo de manutenção do próprio aterro, relacionado com gestão do lixo dentro do aterro, o que inclui seu transporte, cobertura, entre outros.

Atualmente, esses custos no aterro de Macapá estão representados pela tabela 10, conforme dados prestados pela Prefeitura Municipal de Macapá (2011):

Custo de Operação do Aterro de Macapá	Mensal (US\$)
Máquinas	72.750,00
Combustível	9.250,00

Folha de Pagamento	19.143,76	
Encargos Sociais	16.272,19	
Vigilância do Aterro	6.750,00	
Energia/telefone	900,00	
Serviço de Topografia	1.500,00	
Monitoramento Ambiental	3.250,00	
Outros Custos de Operação	10.250,00	
Total	140.065,95	

Tabela 8- Custo de Operação do Aterrode Macapá Anual Com Dólar Cotado A R\$ 2,00

Fonte: MPF (2011).

Tendo em vista que os custos de adminstração do aterro estão cotados em R\$ e todos os demais valores estão em US\$, foi necessário fazer a conversão. Estipulou-se para isso o valor de US\$ 1,00 igual a R\$ 2,00.

Essas despesas serão acrescentadas ao custo de manutenção e operação da usina de energia elétrica, nos cenários que considerarem a atividade de manutenção do aterro no cálculo do custo da energia elétrica.

3.3.3 Créditos de carbono

Para efeito de cálculo do valor da energia elétrica do aterro de Macapá, será necessário abater do custo total o valor que seria arrecadado com a venda dos créditos de carbono. Ainda que, em regra, a venda de créditos de carbono ocorra de forma pontual, após acumulo de determina quantidade pelo detentor do projeto. Para efeitos de cálculos, será considerada a venda do montante obtido após um ano, ou seja, presumir-se-á que todo o crédito acumulado no ano será vendido no mesmo.

Como o valor do crédito de carbono está sujeito a grades variações de mercado, ele será adotado como variável para os diversos cenários. Os valores serão USS\$ 8,00; USS\$ 12,00; USS\$ 16,00, para os cenários pesimista, realista e otimista, respectivamente.

3.3.4 Valor presente líquido

Com base nos dados acima e na definição dos índices considerados nos respectivos cenários abaixo, será possível definir inicialmente o Valor Presente Líquido.

Conforme exposto no Capítulo 1, tópico referente aos métodos de analise financeira, por meio da equação do Valor Presente Líquido, todas as receitas e despesas são trazidas para o presente, o que facilita sua compreensão. Entretanto, como se busca ao final definir o custo da energia, aqui as receitas serão deixadas de lado, salvo referente às vendas de CER, sendo analisadas apenas as despesas.

Os cálculos dos cenários foram feitos por meio de planilha eletrônica, utilizando-se a função 1.1.

$$= VPL(i; Vi:Vf) + Ii$$
 (1.1)

Onde,

i = taxa de juros;

Vi = saldo entre receita e despesa no ano inicial;

Vf = saldo entre receita e despesa no ano final;

Ii = investimento inicial.

3.3.5 Valor presente líquido anualizado

Conforme visto, busca com o Valor Presente Líquido Anualizado transformar a fluxo do VPL em uma série temporal uniforme, para, no presente caso, possibilitar a cálculo do valor de produção da energia elétrica do projeto.

Esse cálculo pode perfeitamente ser feito por meio de planilha eletrônica, utilizando as funções financeiras de recuperação de capital, como função 3.2.

$$= PGTO (i; n; VPL)$$
 (3.2)

Onde:

i = taxa de juros;

n= período das atividades em "n" anos;

VPL = valor presente líquido.

3.3.6 Valor da energia elétrica

A partir do Valor Presente Líquido Anualizado, será possível identificar o valor da energia elétrica gerado pelo projeto, dividindo o VPLa pela quantidade de energia gerada pela usina, dimensionada com potências de 1 MW, 2 MW e 3 MW, em um ano, conforme tabela 11.

Potência MW	Energia gerada por ano kWh
1	7.920.000
2	15.840.000
3	23.760.000

Tabela 9- Relação entre Energia Gerada por Ano e Potência da Usina

Fonte: Elaboração própria.

Esses valores foram fornecidos pelo próprio programa Biogás Geração e Uso Energético.

3.4 Cenários para Cálculo do Valor da Energia Elétrica

Visando tornar a pesquisa a mais ampla possível, abordando a maior quantidade de aspectos e variáveis disponíveis, foram analisados diversos cenários, combinando as variáveis identificadas no item 3.3. Para tornar a análise rigorosa, do ponto de vista da formação de biogás, optou-se por utilizar o cenário pessimista de formação de biogás, o que em tese, possibilitaria o fornecimento de biogás para usinas de 1 MW, 2 MW, 3 MW e 4 MW.

Os diversos cenários foram estruturados a partir de variáveis em comum, conforme detalhamento a seguir. Dessa forma, diante da grande quantidade de possibilidades analisadas, para uma melhor organização e compreensão, os cenários foram distribuídos em três Ambientes principais, relacionados com as potências das usinas de geração de energia elétricas estimadas para o projeto (1 MW, 2 MW e 3 MW). Deixou-se de elaborar cenários para uma usina de 4 MW, tendo em vista que, de acordo com a tabela 5, uma usina dessa potência somente poderia ser mantida por três anos, o que não justificaria o investimento.

Dentro de cada um desses Ambientes, foram feitos desdobramentos, com simulações para projetos de sete anos, 14 ou 21 anos para atender as regras do MDL. Em outra perspectiva, as análises foram refeitas, excluindo as despesas e receitas decorrentes do MDL e, finalmente, incluindo os custos com administração do aterro.

Para as análises foram consideradas as seguintes variáveis: investimento inicial na usina de geração e sistema de captação e tratamento; custo de manutenção e operação do

sistema de coleta e controle do biogás; custo de registro, monitoração e verificação; depreciação; taxa de compra do biogás; valor de venda do crédito de carbono.

Para facilitar a visualização, apenas os resultados com os correspondentes valores serão apresentados no texto do trabalho. Os cálculos estão disponíveis nos Anexos 1 a 69.

Em todos os cenários se considerou um taxa de juros de 8% a.a., do Banco Mundial, para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

3.4.1 Ambiente 1 – usina de geração de 1MW

Neste ambiente, todos os cenários foram feitos considerando a instalação de uma usina de geração de 1 MW. Para melhor visualização, as tabelas 10, 11 e 12 trazem os valores utilizados nos cenários do presente ambiente.

	Valor otimista	Valor realista	Pessimista
Investimento inicial	1.736.534,15	2.083.840,98	2.604.801,22
Instalação do sistema de captação e tratamento de biogás	694.613,66	1.041.920,49	1.562.880,73

Tabela 10- Investimentos Iniciais Variáveis no Ambiente 1

Fonte: Elaboração própria.

Na tabela 10 estão apresentados os custos relativos ao investimento inicial total (custo da usina de geração e do sistema de captação e tratamento do biogás) acima e abaixo o custo apenas da instalação do sistema de captação e tratamento do biogás. Essas despesas ocorrem no primeiro ano de instalação do projeto.

	Valor otimista	Valor realista	Pessimista
Manutenção e operação do sistema de coleta e controle do biogás	34.730,68	52.096,02	78.144,04
Registro, monitoramento e verificação	25.000,00	32.500,00	40.000,00
Taxa de compra do biogás	0,30	0,40	0,50
Créditos de carbono	16	12	8

Tabela 11- Custos Anual Variável no Ambiente 1

Fonte: Elaboração própria.

Por sua vez, na tabela 11, inicialmente constam os custos relativos à manutenção e operação do sistema de coleta e controle do biogás. Em seguida a tabela traz o custo de

registro, monitoramente e verificação dos créditos de carbono. Consta também da tabela o valor da compra do biogás e ao final o valor de venda do créditos de carbono. Todos estes custos são anuis.

	Valor (US\$)	Frequência
Instalação da usina de geração	1.041.920,49	Na instalação e a cada 15 anos.
Custo de manutenção e operação da usina de energia elétrica	142.560,00	Anual

Tabela 12- Custos Fixos no Ambiente 1

Fonte: Elaboração própria.

Na tabela 12 estão os custos de instalação da usina de geração e o custo anual de manutenção e operação da usnina de energia elétrica.

Neste Ambiente de Cenário foram analisados projetos de **sete** anos, 14 e 21 anos, com cenários otimistas, realistas e pessimistas. A tabela 13 apresenta o resultado constante dos Anexos 1 a 24. Todas as análises foram feitas em US\$/MWh.

AMBIENTE 1				
Projeto de MDL sem Incorporação do Custo de Administração do Aterro				
	7 anos	14 anos	21 anos	
Otimista	70,47	54,95	54,38	
Realista	85,84	67,22	61,33	
Pessimista	106,52	83,24	69,38	
Projeto de MD	L com Incorporação d	lo Custo de Administra	ação do Aterro	
	7 anos	14 anos	21 anos	
Otimista	331,72	316,21	315,64	
Realista	347,10	328,47	322,59	
Pessimista	367,78	344,50	330,63	
Projeto sem receitas e	_	m Incorporação do Cu	ısto de Administração	
	do A	terro		
	7 anos	14 anos	21 anos	
Otimista	72,24	56,72	56,15	
Realista	85,43	66,81	60,92	
Pessimista	103,98	80,65	66,79	

Tabela 13- Resultados do Custo da Energia no Ambiente a Em US\$/MWh

Fonte: Elaboração própria.

3.4.2 Ambiente 2 – usina de geração de 2MW

Por sua vez, no Ambiente B, os cenários foram feitos considerando a instalação de uma usina de geração de 2W. As tabelas 14, 15 e 16 trazem os dados utilizados no presente Ambiente.

	Valor otimista	Valor realista	Pessimista
Investimento inicial	3.339200,81	4.007.040,98	5.008.801,23
Instalação do sistema de captação e tratamento de biogás	1.335.680,32	2.003.520,49	3.005.280,74

Tabela 14- Investimentos Iniciais Variáveis no Ambiente 2

Fonte: Elaboração própria.

	Valor otimista	Valor realista	Pessimista
Manutenção e operação do sistema de coleta e controle do biogás	66.784,02	100.176,02	150.264,04
Registro, monitoramento e verificação	25.000,00	32.500,00	40.000,00
Taxa de compra do biogás	0,30	0,40	0,50
Créditos de carbono	16	12	8

Tabela 15 Custos Anual Variável No Ambiente 2

Fonte: Elaboração própria.

	Valor (US\$)	Frequência
Instalação da usina de geração	2.003.520,49	Na instalação e a cada 15 anos.
Custo de manutenção e operação da usina de energia elétrica	285.120,00	Anual

Tabela 16- Custos Fixos no Ambiente 2

Fonte: Elaboração própria.

Nesse Ambiente foram estudados projetos de sete, 14 e 21 anos. A tabela 17 apresenta os resultados.

AMBIENTE 2						
Projeto de MDL sem Incorporação do Custo de Administração do Aterro						
	7 anos 14 anos 21 anos					
Otimista	126,46	96,62	95,53			
Realista	152,86	117,05	138,70			
Pessimista	189,47	144,71	169,00			

Projeto de MDL com Incorporação do Custo de Administração do Aterro			
	7 anos	14 anos	21 anos
Otimista	387,72	357,88	307,75
Realista	414,12	378,31	396,55
Pessimista	450,72	405,96	426,85
Projeto sem receitas e despesas de MDL e sem Incorporação do Custo de Administração do Aterro			
	Administraç	ão do Aterro	
	Administraç 7 anos	ão do Aterro 14 anos	21 anos
Otimista	_		
Otimista Realista	7 anos	14 anos	21 anos

Tabela 17- Resultados do Custo da Energia no Ambiente 2 em US\$/MWh

Fonte: Elaboração própria.

3.4.3 Ambiente 3 – usina de geração de 3 MW

No Ambiente 3 será considera a instalação de uma usina de geração de 3MW, o que resultará em cenários de sete e 14 anos, tendo em vista que o aterro somente poderia manter uma usina com essa potência por no máximo 14 anos, conforme tabela 5. As tabelas 18, 19 e 20 trazem os dados utilizados no presente Ambiente.

Valor otimista	Valor realista	Pessimista
4.941.867,48	5.930.240,98	7.412.801,23
1.976.746,99	2.965.120,49	4.447.680,74
	4.941.867,48	4.941.867,48 5.930.240,98

Tabela 18- Investimentos Iniciais Variáveis No Ambiente 3

Fonte: Elaboração própria.

	Valor otimista	Valor realista	Pessimista
Manutenção e operação do sistema de coleta e controle do biogás	98.837,35	148.256,02	222.384,04
Registro, monitoramento e verificação	25.000,00	32.500,00	40.000,00
Taxa de compra do biogás	0,30	0,40	0,50
Créditos de carbono	16	12	8

Tabela 19- Custos Anual variável no Ambiente 3

Fonte: Elaboração própria.

	Valor (US\$)	Frequência
Instalação da usina de geração	2.965.120,49	Na instalação e a cada 15 anos.
Custo de manutenção e operação da usina de energia elétrica	427.680,00	Anual

Tabela 20- Custos Fixos no Ambiente 3

Fonte: Elaboração própria.

3.4.4 Análise dos resultados

Utilizando-se os dados mencionados anteriormente, chegou-se aos seguintes valores expressos na Tabela 3.21.

AMBIENTE 3				
Projeto de MDL sem Incorporação do Custo de Administração do Aterro				
	7 anos	14 anos		
Otimista	164,60	120,38		
Realista	201,88	148,88		
Pessimista	254,41	188,17		
Projeto de MD	OL com Incorporação o	lo Custo de Administra	ação do Aterro	
	7 anos	14 anos		
Otimista	425,85	332,60		
Realista	463,13	361,10		
Pessimista	515,67	400,39		
Projeto sem receitas e	<u>-</u>	m Incorporação do Cu	ısto de Administração	
do Aterro				
	7 anos	14 anos		
Otimista	176,21	131,99		
Realista	208,85	155,86		
Pessimista	256,74	190,50		

Tabela 21-Resultados do Custo da Energia no Ambiente 3 em US\$/MWh

Fonte: Elaboração própria.

Por sua vez, as tabelas 22, 23, 24 apresentam os resultados sob outra perspectiva.

Ambiente A				
	7 anos	14 anos	21 anos	
Otimista	70,47	54,95	54,38	
Realista	85,84	67,22	61,33	
Pessimista	106,52	83,24	69,38	
	An	nbiente B		
	7 anos	14 anos	21 anos	
Otimista	126,46	96,62	95,53	
Realista	152,86	117,05	138,70	
Pessimista	189,47	144,71	169,00	
	An	nbiente C		
	7 anos	14 anos		
Otimista	164,60	120,38		
Realista	201,88	148,88		
Pessimista	254,41	188,17		

Tabela 22- Resultados dos Três Cenários para um Projeto de MDL sem Incorporação de Custos do Aterro Fonte: Elaboração própria.

Ambiente A				
	7 anos	14 anos	21 anos	
Otimista	331,72	316,21	315,64	
Realista	347,10	328,47	322,59	
Pessimista	367,78	344,50	330,63	
	An	nbiente B		
	7 anos	14 anos	21 anos	
Otimista	387,72	357,88	307,75	
Realista	414,12	378,31	396,55	
Pessimista	450,72	405,96	426,85	
Ambiente C				
	7 anos	14 anos		
Otimista	425,85	332,60		
Realista	463,13	361,10		

Pessimista 515,67 400,39	
--------------------------	--

Tabela 23 - Resultados dos Três Cenários para um Projeto de MDL com Incorporação de Custos do Aterro Fonte: Elaboração própria.

Ambiente A				
	7 anos	14 anos	21 anos	
Otimista	72,24	56,72	56,15	
Realista	85,43	66,81	60,92	
Pessimista	103,98	80,65	66,79	
	An	nbiente B		
	7 anos	14 anos	21 anos	
Otimista	133,15	103,31	102,22	
Realista	156,14	120,33	104,80	
Pessimista	189,34	144,58	107,38	
Ambiente C				
	7 anos	14 anos	21 anos	
Otimista	176,21	131,99		
Realista	208,85	155,86		
Pessimista	256,74	190,50		

Tabela 24- Resultados dos Três Cenários para um Projeto sem Receitas e Despesas de MDL sem Incorporação de Custos do Aterro

Fonte: Elaboração própria.

Entretanto, para uma melhor compreensão da viabilidade ou não de execução de um projeto para aproveitamento energético do biogás da unidade de disposição final de Macapá, faz-se necessário comparar seu custo de geração com outras fontes, renováveis ou não. Para esse propósito, utilizou-se de pesquisa focada no custo de produção de energia elétrica, cujos resultados se encontram no gráfico 8, apresentados apresentados em US\$/MWh.

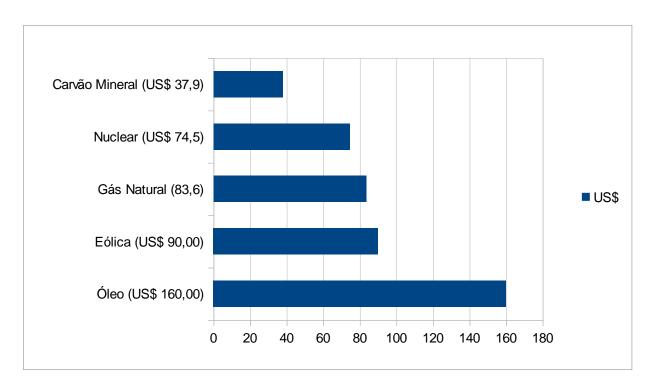


Gráfico 8- Custo de Geração de Energia Elétrica em US\$/MWh Fonte: Vieira; Sodré; Leal; Guedes; Alves e Melo, 2009.

Como forma de melhor visualizar, os resultados para o custo de geração de energia elétrica pela unidade de disposição final de RSU de Macapá foram incorporados ao gráfico 8. Diante do grande número de resultados, em função das diversas possibilidade estudadas, inúmeros gráficos foram feitos.

Na primeira comparação, foram utilizados os valores obtidos para cenários de projeto de MDL, sem incorporação dos custos de administração do aterro. O resultado consta do gráfico 9.

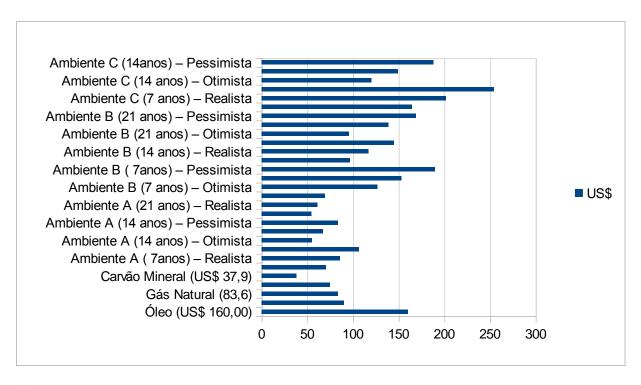
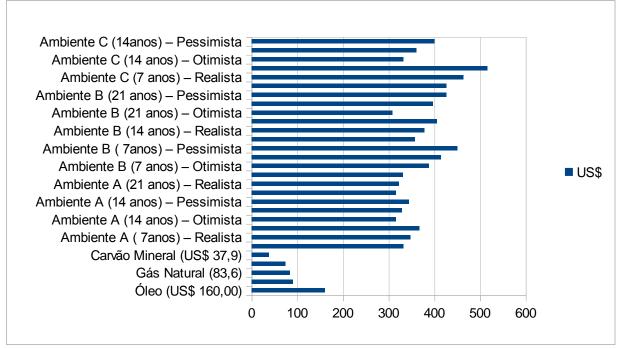


Gráfico 9- Comparativa entre Custo de Geração do Projeto de MDL e sem Custo com outras Fontes de Gração do Aterro em US\$/MWh.

Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se claramente pelos resultados que a energia gerada pela unidade de disposição final de RSU de Macapá seria competitiva em relação à outras fontes de geração, sobretudo para aqueles cenários de 14 e 21 anos. Em cenários de 7 anos, o custo de geração já

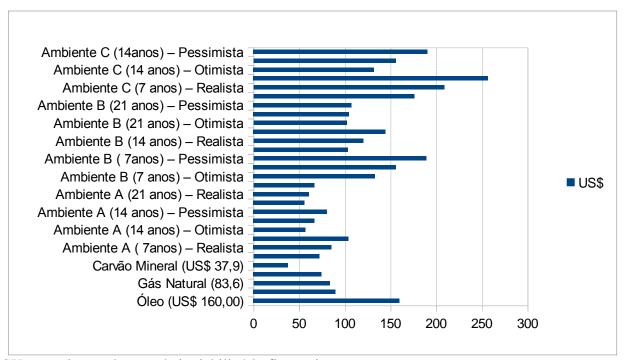


fica acima de outras fontes ordinárias de geração.

Gráfico 10- Comparativo entre custo de geração do projeto de MDL, incorporando custo do aterro, com outras fontes de geração em US\$/MWh.

Fonte: Elaboração própria.

No comparativo entre outras fontes de geração e os resultados da pesquisa para nos cenários que consideraram as receitas e despesas de um projeto de MDL e incorporam o custo de administração do aterro, ficou evidente o alto custo de geração, evidenciando a inviabilidade de incorporar o custo regular de administração da unidade de disposição final de



RSU ao projeto, sob pena de inviabilizá-lo financeiramente.

Gráfico 11- Comparativa Entre Custo De Geração Do Projeto Sem MDL E Sem Incorporar O Custo Do Aterro em US\$/MWh.

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, no comparativo da gráfico 10, que considera um projeto sem incorporação do custo de administração do aterro, mas também não considera as receitas e despesas do MDL, demonstou que o projeto ainda seria competitivo, o que levanta a tese de que, ainda que o MDL favoreça financeiramente o projeto, ele não é indispensável.

Da análise dos resultados foi possível perceber que projetos de curta duração (sete anos) se mostram pouco atrativos, diante do pouco tempo para incorporação do investimento inicial. Também foi possível comprovar que as receitas do MDL favoreceram em quase todos os ambientes o valor de geração da energia elétrica e que a contribuição do MLD é

diretamente proporcional ao tamanho do projeto, sendo que em projetos pequenos (usinas de geração de baixa potência) são de menor importância diante do custo de sua administração.

Em relação à incorporação do custo de administração do aterro ao projeto, essa atitude torna o projeto não competitivo em todos os ambientes. De igual forma, percebeu-se que mesmo sem enquadramento como MDL, a geração de energia elétrica no aterro de Macapá ainda seria competitiva, sobretudo para pequenas usinas. Por fim, mostrou-se que um projeto de MDL com uma usina 1 MW e duração entre 14 ou 21 anos é o mais adequado, sendo esse o que melhor atenderia a realidade do aterro de Macapá.

3.5 Emissões de Ch₄ Evitadas

Como foi ressaltado nos capítulos anteriores, entre as vantagens de utilização do biogás para geração de energia elétrica está a queima do CH₄, o que reduz a emissão de GEE, metano, no caso. Na tabela 23 estão apresenta**das** as quantidades de CH₄ que deixariam de ser emitidas caso o projeto fosse instalado. Ressalta-se que esse valor considera a queima de todo o biogás efetivamente coletado, visto que o biogás em excesso, aquele não utilizado para geração de energia elétrica, também é queimado.

Duração do Projeto	7 anos	14 ano	21 ano
Total CH ₄ (t)	16.255,00	42.889,00	74.512,00
Total CH ₄ (10 ³ m ³ CH ₄)	24.260.874,00	64.012.781,00	111.211.794,00
Total de tCO ₂ eq. (t)	341.351,00	900.660,00	1.564.750,00

Tabela 25- Quantidade de Emissões de GEE Evitadas pelo Projeto

Fonte: Elaboração própria.

Pelo que consta da tabela 25, os benefícios ambientais com a queima do metano constante do biogás seriam significativos. Para fins ambientais, projetos mais longos resultariam em maior retorno, como pode ser percebido diante da grande quantidade de emissões de GEE evitadas em projetos de 21 anos. Porém, mesmo para projetos de menor duração, como a estrutura de queima do biogás já estaria instalada, a queima do referido gás poderia perfeitamente ser mantida, evitando sua emissão na atmosfera.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluída a pesquisa, foi possível perceber que o aumento no consumo de energia elétrica no Estado do Amapá não é acompanhado pelo aumento na produção pelas atuais fontes de geração, hidrelétrica de Coracy Nunes e usinas termoelétricas UTE de Santana, sobretudo no período de estiagem, tendo em vista que a hidrelétrica de Coracy Nunes chega a operar abaixo dos 50% da capacidade máxima de geração. Prova disso foi que em 4 de julho de 2011, o Ministério de Minas e Energia teve que autorizar a CEA a alugar unidades geradoras com potência de 23MW para atender à demanda por energia elétrica, diante da possibilidade de ocorrer um déficit na geração de energia elétrica de até 23MW no ano de 2011.

Ressalta-se que a solução idealizada para esse problema que seria a conexão do Estado do Amapá ao SIN, cuja previsão inicial para conclusão das obras era final de 2011, atualmente se encontra com as obras atrasadas por problemas com o licenciamento ambiental.

Entretanto, a simples interligação do Estado do Amapá ao SIN não seria uma solução definitiva, pois a necessidade de diversificação das fontes de geração de energia elétrica é uma realidade nacional e mundial.

Dentro desse contexto, a geração de energia elétrica a partir do biogás decorrente da decomposição anaeróbica dos RSU se mostra uma alternativa para diversificação da matriz energética nacional e, conforme a pesquisa, para o Estado do Amapá. Dessa forma, a pesquisa buscou avaliar a viabilidade técnico-econômica, jurídica e ambiental de um projeto para geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da unidade de disposição final de RSU de Macapá enquadrado como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Para o estudo da análise técnico-econômica foi preciso inicialmente estudar as tecnologias envolvidas no processo de geração de energia elétrica a partir do biogás, desde sua formação nas unidades de disposição final de RSU até seu aproveitamento energético. Pela pesquisa, foi possível perceber que o Brasil se encontra na vanguarda da tecnologia para essa

forma de geração de energia elétrica. Identificaram-se diversos projetos bem sucedidos de MDL que adotam o biogás como combustível.

Por sua vez, da análise da realidade da unidade de disposição final de RSU de Macapá, percebeu-se que poucas alterações estruturais seriam necessárias, isto porque a exploração dessa unidade já pode ser enquadrada como um aterro controlado, onde há drenagem e queima do biogás que poderia ser aproveitado para geração de energia elétrica. Entretanto, como a exploração da nova célula de depósito de RSU esta enquadrada como de aterro sanitário, a maior parte do caminho para utilização do biogás como combustível já estará percorrido, sendo necessária apenas a drenagem e tratamento do biogás para, em seguida, ser utilizado como combustível na usina de geração que teria que ser instalada.

Dentro da análise técnica também foi preciso identificar se a unidade de disposição final de RSU de Macapá seria capaz de produzir uma quantidade viável de biogás que justificasse a instalação de uma usina de geração. Isto porque não seria viável, do ponto de vista técnico, ainda que tivesse repercussão econômica, a instalação de unidade de produção de energia elétrica para geração de uma quantidade insignificante de energia elétrica.

Para o estudo foi preciso estimar a quantidade de biogás formado a partir dos RSU de Macapá depositados na unidade de disposição final. Tendo em vista a eminente desativação da atual célula de depósito, o estudo considerou já o depósito dos RSU na nova célula caracterizada como de aterro sanitário. Utilizou-se o programa *Biogás Geração e Uso Energético*, do Programa Mudanças Climáticas Globais — "Plano Brasil de Todos" do Governo Federal, para estimar a geração de biogás no aterro de Macapá. Foram utilizados dados da Prefeitura Municipal de Macapá e da concessionária Rumos Engenharia Ambiental Ltda., que administra o aterro controlado, referente à quantidade e características dos RSU de Macapá, bem como dados do IBGE para estimar o crescimento na geração de RSU. Por sua vez, os dados referentes às condições climáticas de Macapá foram obtidos através de fontes bibliográficas.

Para maior confiabilidade da pesquisa, foram analisados três cenários de formação de biogás que resultavam diretamente em cenários de potencial energético (otimista, realista e pessimista). Em todos os cenários, foi possível identificar um potencial considerável para a geração de energia elétrica, utilizando-se de Grupo de Gerador Otto Nacional, com definição

do rendimento de conversão energética em 35%.

Com os resultados, constatou-se que não seria conveniente projetar uma usina para a potência máxima identificada, diante do curto tempo em que poderá ser mantida, o que resultaria em uma usina dispendiosa financeiramente e utilizada em sua plenitude de geração por pouco tempo, o que sugeriu a exploração do biogás do aterro por usinas de potências intermediárias para cada cenário. Identificou-se que mesmo num cenário pessimista seria viável energeticamente explorar a unidade de posição final de RSU de Macapá, visto que poderia manter uma usina com potência de 3 MW por 14 anos.

Como forma de tornar a análise rigorosa, do ponto de vista da formação de biogás, optou-se por utilizar o cenário pessimista de formação de biogás, o que em tese, possibilitaria o fornecimento de biogás para usinas de 1 MW, 2 MW, 3 MW e 4 MW.

Assim, do ponto de vista técnico, o aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica na unidade de disposição final de RSU de Macapá seria plenamente viável.

A parte da análise mais complexa da pesquisa foi a da viabilidade econômica. Isto porque envolveu estimativas de custos e receitas (apenas do MDL), para calcular o valor do custo de geração. Para isso, foi preciso estimar o custo de instalação e manutenção da usina de geração e do sistema de coleta do biogás a serem eventualmente instalados na unidade de disposição final de RSU de Macapá. A partir desses dados, calculou-se o VPL nos diversos cenários e em seguida o VPLa, o que permitiu identificar o valor do custo de geração dos diversos cenários idealizados para, ao final, comparar esses custos com o custo de outras fontes de geração de energia elétrica.

Como forma de tornar a pesquisa a mais ampla possível, abordando a maior quantidade de aspectos e variáveis disponíveis, foram analisados diversos cenários, combinando inúmeras variáveis. Os diversos cenários foram distribuídos em três Ambientes principais, relacionados com as potências das usinas de geração de energia elétricas estimadas para o projeto (1 MW, 2 MW e 3 MW). Deixou-se de elaborar cenários para uma usina de 4 MW, tendo em vista que uma usina dessa potência somente poderia ser mantida por três anos, o que não justificaria o investimento. Dentro de cada um desses Ambientes, foram feitas simulações para projetos de sete anos, 14 anos ou 21 anos para atender as regras do MDL. Em outra perspectiva, as análises foram refeitas excluindo as despesas e receitas decorrentes do

MDL e, finalmente, incluindo os custos com administração do aterro.

Com os resultados, percebeu-se que projetos de curta duração (sete anos) se mostraram pouco atrativos diante do pouco tempo para incorporação do investimento inicial. Também foi possível comprovar que as receitas do MDL favoreceram em quase todos os ambientes o valor de geração da energia elétrica e que a contribuição do MLD é diretamente proporcional ao tamanho do projeto, sendo que em projetos pequenos (usinas de geração de baixa potência) são de menor importância diante do custo de sua administração.

Em relação à incorporação do custo de administração do aterro ao projeto, essa atitude torna o projeto não competitivo em todos os ambientes. De igual forma, percebeu-se que mesmo sem enquadramento como MDL, a geração de energia elétrica no aterro de Macapá ainda seria competitiva, sobretudo para pequenas usinas. Por fim, mostrou-se que um projeto de MDL com uma usina 2 MW ou 3 MW e duração entre 14 ou 21 anos seriam o mais adequado e que melhor atenderia a realidade do aterro de Macapá.

Conclui-se que excluídos os projetos com incorporação e os custos de administração do aterro, os demais cenários se mostraram competitivos economicamente do ponto de vista do custo de geração de energia elétrica, ainda que, os projetos com duração entre 14 e 21 anos tenham apresentado melhores resultados. De mesma forma, em regra os custos e receitas do MDL contribuíram para melhor desempenho dos cenários que o consideraram, o que recomenda a execução do projeto, sobretudo se for enquadrado como um projeto de MDL.

Por sua vez, para análise da viabilidade jurídica, foram analisados todos os aspectos jurídicos de um projeto de MDL para geração de energia elétrica a partir do biogás, abordando inicialmente os princípios ambientais relacionados. Seguiu-se pelo regime jurídico do biogás e seu aproveitamento, o que identificou os municípios como seus titulares e a necessidade de licitação para aproveitamento dessa fonte energética por particular. Da mesma forma, concluise que o aproveitamento energético do biogás vai ao encontro da nova PNRS.

Do ponto de visto do licenciamento ambiental, conclui-se pela necessidade de EIA e RIMA para instalação da unidade de disposição final de RSU. Entretanto, no caso de Macapá, essas etapas já foram superadas. Por sua vez, com relação ao licenciamento ambiental da usina, para o projeto não seria necessário, diante da Resolução Nº 01/86 do CONAMA que exige apenas para as usinas com capacidade superior a 10 MW. Com relação à legislação do

setor elétrico, somente seria exigido autorização da ANEEL para usinas termoelétricas com potência superior a 5 MW, destinada a autoprodutor e a produtor independente (art. 4º, inciso I). Para potencial abaixo de 5 MW, apesar de não haver necessidade de autorização, deverá haver comunicação ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, para fins de registro.

Identificaram-se as formas de exploração do projeto que poderia ser como autoprodutor e produtor independente. Definiu-se também qual a forma e os custos do uso do sistema de transmissão, bem como as condições necessárias para isenção desses custos. Por fim, foram identificadas as formas e condições para utilização e comercialização da energia elétrica produzida pelo projeto. Como destino da energia elétrica, ela poderia ser consumida pela própria unidade de disposição final de RSU, vendida para comercializadores de energia elétrica, consumidores livres e especiais, ou vendida em leilões do ACR ou do ACL.

Da mesma forma, foi preciso analisar as regulamentações das Nações Unidas relativas ao MDL. Foi possível perceber a viabilidade de enquadramento do projeto, nos moldes idealizados, como um projeto de MDL. Traçaram-se também todos os percursos necessários para enquadramento do projeto como MDL, desde a elegibilidade para participação até a negociação dos créditos de carbono no mercado obrigatório de carbono. Com relação à negociação foi possível também identificar a possibilidade de negociação dos créditos de carbono no mercado voluntário de carbono, o que poderia ser uma alternativa para o projeto, ainda que não tenha sido o foco da pesquisa.

Dessa forma, percebeu-se a plena viabilidade do projeto do ponto de vista de regulamentação do MDL, bem como da legislação interna do setor de energia elétrica. Por fim, a viabilidade ambiental foi verificada a partir de duas perspectivas: o trato adequado dos RSU e a redução das emissões de GEE. Com relação ao trato adequado dos RSU, conclui-se que projetos de aproveitamento do biogás resultam em benefícios diretos no trato dos RSU. Isto porque para que haja uma melhor formação e captação do biogás se faz necessário que os RSU sejam adequadamente captados e descartados. Esses projetos podem contribuir para o fim dos lixões, visto a total impossibilidade de aproveitamento do biogás nessa espécie de disposição final de RSU. De igual forma, o projeto pode contribuir para a coleta e disposição final seletiva de RSU, tendo em vista que quanto maior a concentração de resíduos orgânicos, maior a formação de biogás. Por fim, os recursos captados com o aproveitado do biogás e/ou

dos créditos de carbono podem ser utilizados para financiar o trato adequado dos RSU.

Por sua vez, em relação à redução das emissões de GEE, essa espécie de projeto resulta em grandes benefícios ambientais. Isso porque o biogás decorrente da decomposição dos RSU é composto por 50% de metano. Com o aproveitamento energético do biogás o metano é queimado, o que resulta em água e CO₂, gás vinte e uma vezes menos prejudicial ao efeito estufa que o CH₄. Ressalta-se que em projetos como o presente, eventual excesso de biogás não aproveitado para geração de energia elétrica ainda assim é queimado para geração de créditos de carbono.

Segundo a pesquisa, eventual projeto instalado na unidade de disposição final de Macapá resultaria em uma grande quantidade de emissões evitadas. Dessa forma, em um projeto de apenas sete anos, o total de CH₄ evitado seria de 16.255 t, o que equivale a emissão de 341.351 t. de CO₂. Para um projeto de 14 anos, os valores passariam para 42.889 t. de CH₄, equivalente a 900.660 toneladas de CO₂. Por fim, para um projeto de 21 anos, as reduções de metano seriam de 75.512 t., equivalente a 1.564.750 t. de CO₂.

Fica evidente que os benefícios ambientais do ponto de vista da redução nas emissões são grande, consistindo em mais um motivo para a implementação do projeto. Dessa forma, concluída a pesquisa, foi possível comprovar a viabilidade jurídica, técnico-econômica e ambiental de um projeto de MDL para geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente dos RSU de Macapá.

BIBLIOGRAFIA

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010**. Edição Eletrônica. 2010. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br. Acesso em: 25 out. 2011.

ADB - ASIAN DEVELOPMENT BANK. CLIMATE CHANGE. ADB PROGRAMS. **Strengthening Mitigation and Adaptation** in Asia and the Pacific. Philippines, 2007.

ANEEL. Resolução Normativa Nº 77, de 18 de agosto de 2004. Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, com potência instalada menor ou igual a 30.000 kW.

ANEEL. Resolução Normativa N° 247, de 21 de dezembro de 2006. Estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW e dá outras providências.

ANEEL. Resolução Nº 341, de 2 de dezembro de 2008. Aprova as Regras de Comercialização de Energia Elétrica, versão 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. NBR- 8419, 1992.

_____.Apresentação de Projetos de Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Urbanos. NBR-8849, 1995.

AYALA, Patrick de Araújo; LEITE, José Rubens Morato. Novas tendências e possibilidades do Direito Ambiental no Brasil. In: WOLKMER, Antônio Carlos; LEITE, José Rubens (Org.).

Os "novos" direitos no Brasil: natureza e perspectivas: uma visão básica das novas conflituosidades. São Paulo: Saraiva, 2003.

AZEVEDO, Márcia Helena. Características, Produção e Utilização do Biogás Produzido a partir de Resíduos Orgânicos. Dissertação (Mestrado) em engenharia. PROMEC. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

BARICHELLO, R.; HOFFMANN, R.; BRONDANI, J. C.; RABENSCHLAG, D. R. Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente do Tratamento de Dejetos Suíno - Um Caso Prático. Revista STREM, v. 1, p. 60-65, 2010. (CITAÇÃO DO CAPÍTULO 1 EXCLUÍDA)

BARRETO, Luciano Vieira; FREITAS, Andréia Cristina; PAIVA, Lígia Cardoso. **Sequestro de Carbono.** Goiânia: Centro Científico Conhecer, 2009.

BAUMERT, K. A; KETE, N. **Designing the Clean Development Mechanism**: operational and Institutional Issues, Report prepared for the OECD and IEA Forum on Climate Change. 2000. Disponível em: http://www.wri.org/climate/pdf/oecd_cdm.pdf.

BORBA, Silvia Mary Pereira. **Análise de Modelos de Geração de Gases em Aterros Sanitários:** estudo de caso. Dissertação (Mestrado) em ciências em engenharia civil. Programa de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

BOYD, Emily; HULTMAN, Nate; ROBERTS, J. Timmons; CORBERA, et al. **Reforming the CDM for sustainable development**: lessons learned and policy futures, 2009.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

BRASIL. CONGRESSO. Decreto Legislativo Nº 144, de 21 de julho de 2002. Aprova o texto do Protocolo de Quioto à Conveção-Quatro das Nações Unidas sobre mudança do clima, aberto a assinaturas na cidade de Quioto, Japão, em 14 de dezembro de 1997, por ocasião da

terceira conferência das partes da Convenção-Quatro das Nações Unidas sobre mudança do clima.

BRASIL. Decreto Nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.

BRASIL. Decreto Nº 2.003, de 10 de setembro de 2006. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências.

BRASIL. Decreto Presidencial, de 07 de julho de 1999. Cria a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, com a finalidade de articular as ações de governo nessa área

BRASIL. Lei Nº 9.074, de 7 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências.

BRASIL. Lei Nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências.

BRASIL. Lei Nº 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.

BRASIL. Lei Nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

CAMPOS, Clever. **Curso Básico de Direito de Energia Elétrica.** Rio de Janeiro. Synergia Editora, 2010.

CENBIO - CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. Identificação dos aterros disponíveis nas regiões SE, CO e NE do país, quantidade, tipos de resíduo e infra-estrutura: Relatório de Atividades. São Paulo, 2006.

CETESB/SMA – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL & SMA-SP – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório técnico n.º 2 do convênio SMA/MCT n.º 01.0052.00/2001 – aterros**. São Paulo, 2003.

COMMON, M. and STAGL, S. **Ecological economics:** an introduction. New York: Cambridge University Press, 2005.

CEBDS - CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. Rio de Janeiro, 2009.

COSTA, Dahyana Siman Carvalho da. **Mercado dos créditos de carbono.** Artigo inserido em 16 jan. 2006 — Parte integrante da Edição n° 161. Disponível em: http://www.boletimjuridico.com.br/doutrina/texto.asp?id=1022. Acesso em: 18 out. 2011.

COSTA, Paulo de Oliveira. **Resposta Plítico-Econômica às Mudanças Climáticas**: Origens, Situação Atual e Incertezas do Mercado de Créditos de Carbono. Dissertação da Escola de Administração da Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004.

DE ABREU, Fábio Viana. Análise de Viabilidade Técnica e Econômica da Geração de Energia Através do Biogás de Lixo em Aterros Sanitários. Rio de Janeiro: Editora, 2009.

DE DOILE, Gabriel Nasser Doyle; NASCIMENTO, Rodrigo Limp. Linhão de Tucuruí - 1.800 km de Integração Regional. **T&C Amazônia**, Ano VIII, n. 18, I Semestre de 2010.

DECHEZLEPRÊTRE, Antoine; GLACHANT, Matthieu; CERNA, Yann Ménière. **The North-South Transfer of Climate-Friendly Technologies through the Clean Development Mechanism**. École des Mines de Paris Funded by the ADEME, International Affairs Division Research programme Gestion et Impacts du Changement Climatique (GICC), 2007.

DERANI, Cristiane. Direito Ambiental Econômico. São Paulo: Max Limonad, 1997.

DESSLER, A.E. and PARSON, E.A. **The Science and Politics of Global Climate Change:** a guide to the Debate. New York: Cambridge University Press, 2006.

FABBRICINO, Massimiliano. **Evaluating operational vacuum for landfill biogas extraction**. University of Naples Federico II, Department of Hydraulic and Environmental Engineering, Girolamo Ippolito, Via Claudio 21, 80125 Naples, Italy, 2006.

FECURI, Ana Cristina. Aterros sanitários municipais e o biogás . **Jus Navigandi**, Teresina, ano 8, n. 429, 9 set. 2004. Disponível em: http://jus.uol.com.br/revista/texto/5673/aterros-sanitarios-municipais-e-o.

FENHANN, J. Overview of the general conditions and timeframes in the flexible Kyoto mechanisms: Clean Development Mechanism (CDM), Joint Implementation and Emission Trading, Unpublished discussion paper for UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment. Riso National Laboratory, 2005.

______. **CDM Pipeline Data**. United Nations Environment Programme (UNEP Risø Centre, 2009.

FLYNN, P. BERRY, D. and HEINTZ, T. Sustainability and Quality of Life Indicators: Toward the Integration of Economic, Social and Environmental Measures." **Journal of Social Health**, v.1, n. 4,p.1-21. 2002.

GANIM, Antônio Ganim. **Setor elétrico brasileiro**: aspectos regulamentares e tributário. Rio de Janeiro: Canal Energia, 2003.

GOLDEMBERG, José. O caminho até Joanesburgo. In: TRIGUEIRO, André (Coord.). **Meio ambiente no século 21**: especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento. Rio de Janeiro: Sextante, 2003.

HESSAMI, Mir-Akbar; CHRISTENSEN, Sky e GANI, Robert. **Anaerobic Digestion of Household Organic Waste to Produce Biogas.** Department of Mechanical Engineering Monash University Clayton, Victoria 3168 Austrália, 1996.

ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade. **Para aproveitamento do biogás.** v.1- aterros sanitários. São Paulo: Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, 2009.

IETA – INTERNACIONAL EMISSIONS TRADING ASSOCIATION. **Estimating the Market Potential for the Clean Development Mechanism**: Review of Models and Lessons Learned. 2004.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC, 1996 a). **Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero**. Versión revisada- V.2. Disponível em: http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/spanish.htm Acesso em: 20 mar. 2005.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (2007). **Mudança do Clima** 2007: impactos, adaptação e vulnerabilidade. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, 2007.

JUSTEN FILHO, Marçal. Comentários à lei de licitações e contratos administrativos.14. ed. São Paulo: Dialética, 2010.

LAMARCA JÚNIOR, Mariano Rua. O Valor Econômico do Carbono Emitido pelo Processo de Desmatamento da Amazônia como Instrumento de Conservação Florestal. Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2007.

LANDIM, Ana Luiza Pinto Ferreira; DE AZEVEDO, Lizandra Prado. **O Aproveitamento Energético do Biogás em Aterros Sanitários**: Unindo o Inútil ao Sustentável. [s.l: s.n.], 2008.

LEITE, José Rubens Morato. **Dano Ambiental**: do individual ao coletivo extrapatrimonial. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2000.

LEITE, L. E. H. B. C.; MAHLER, C. F.; BRITTO FILHO, L. F. Avaliação do potencial de receitas derivadas do biogás de aterro. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 23, 2005, Campo Grande/MT. *Anais*... Campo Grande: ABES, 2005.

LEITE, Luiz Edmundo Costa; MONTEIRO, José Henrique Penido. **Aterros Sanitários e Créditos de Carbono**: oportunidades para ajudar resolver o problema ambiental: Rio de Janeiro. 2005. Disponível em: <<u>www.resol.com.br/textos/artigo_IBAM.doc</u>>. Acesso em: 16 mar. 2011.

LEITE, Wellington Cyro A. Aterro Sanitário – resíduos sólidos urbanos e industriais. Fortaleza: ABES, 2000.

LINS, E. A. M. Avaliação da insalubridade causada pelo biogás de um aterro de resíduos sólidos urbanos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 23, 2005, Campo Grande/MT. *Anais*... Campo Grande: ABES, 2005.

MAIA, Daniel Netto. Compra e venda de energia elétrica. Novas perspectivas à luz do atual modelo do setor elétrico brasileiro. **Jus Navigandi**, Teresina, ano 16, n. 2921, 1 jul. 2011. Disponível em:http://jus.uol.com.br/revista/texto/19455>. Acesso em: 26 jul. 2011.

MATHEWS, John A. **How carbon credits could drive the emergence of renewable energies**. Elsevier. Macquarie Graduate School of Management, Macquarie University, Sydney, NSW 2109, Australia. 2008.

MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia. **O Mecanismo de desenvolvimento limpo**: guia de orientação. [s.l: s.n.], 2009.

MELLO, Celso Antônio Bandeira de. **Curso de direito administrativo**. 5. ed. São Paulo: Malheiros, 1994.

MENDES, Luiz Gustavo Galhardo; MAGALHÃES SOBRINHO, Pedro. **Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário**. Universidade Estadual Paulista – UNESP Faculdade de Engenharia, Campus Guaratinguetá – FEG, Departamento de Energia – DEN, 2005.

MICHAELOWA, Axel; JOTZO, Frank. Impacts of transaction costs and institutional rigidities on the share of the Clean Development Mechanism in the global greenhouse gas market. Paper für die Sitzung des Ausschusses Umweltökonomie im Verein für Socialpolitik, Rostock, 2003.

MILARÉ, Édis. Direito do Ambiente: doutrina, jurisprudência, glossário. São Paulo: Revista

dos Tribunais, 2000.

MONTAGNOLI, Alberto; VRIES, Frans P. Carbon trading thickness and market efficiency. Stirling Management School, Division of Economics, University of Stirling, UK. 2009.

MOTTA, R. S; FERRAZ, C; YOUNG, C. E. F; et al. **O** Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e o Financiamento do Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Rio de Janeiro: [s.l.], 2000.

OLIVEIRA, L. B, HENRIQUES, R. M.; COSTA, A. O. Geração de Energia com Resíduos Sólidos Urbanos: Análise Custo Benefício. In: **ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA - ECOECO**, 5, 2003, Caxias do Sul. *Anais* ..., 2003.

OPERADOR NACIONAL DOS SISTEMAS ELÉTRICOS - ONS. 2003. Disponível em: www.ons.br/ons/sin/index.htm. (adaptado).

PADPS - Parliament of Australia Department of Parliamentary Services. **The Kyoto Protocol's Clean Development Mechanism.** 2009.

PEARSON, Ben. Market failure: why the Clean Development Mechanism won't promote clean development. Elsevier. **Journal of Cleaner Production**, 2005.

PIERONI, Impactos das Mudanças no Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro nas Estratégias de Investimento em Autoprodução. São Paulo, 2005.

POPOV, Viktor. **A new landfill system for cheaper landfill gas purification**. Environmental Fluid Mechanics Division, Wessex Institute of Technology, Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton SO40 7AA, UK, 2004.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. **Material didático**: arquivos de transparências (CD). Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999.

ROSENBERG, N. and GEYSER, M. Applicability of a Carbon derivative in South African Agriculture. Unpublished research manuscript. Pretoria: University of Pretoria. 2005.

RUTH, Michael; WORRELL, Ernst; PRICE, Lynn. Evaluating Clean Development Mechanism Projects in the Cement Industry Using a Process-Step Benchmarking Approach, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, July, 2000.

SANDS, P. **Principles of International Environmental Law.** 2nd ed. London: Cambridge University Press, 2003.

SATHIENDRAKUMAR, R. Greenhouse emission reduction and sustainable development", International. **Journal of Social Economics**, 2003.

NICHOLAS. Stern. **Review on the Economics of Climate Change.** Stern Review on The Economics of Climate Change. London: HM Treasury, 2006.

STILES, G. Managing Climate Change: A guidebook for South African organizations. CBLA Greenhouse Mitigation Project: Development Bank of South Africa, 2006.

THORNE, Steve; RAUBENHEIMER, Stefan. Sustainable Development (SD) appraisal of Clean Development Mechanism (CDM) projects – experiences from the SouthSouthNorth (SSN) project. **FORUM FOR ECONOMICS AND ENVIRONMENT** – First Conference Proceedings, 2001.

TSAI, Wen-Tien. Bioenergy from landfill gas (LFG) in Taiwan. Department of Environmental Engineering and Science, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 717, Taiwan, ROC. 2005.

WERKSMAN, Jacob; BAUMERT, Kevin A.; DUBASH, Navroz K. Will International Investment Rules Obstruct Climate Protection Policies? An Examination of the Clean Development Mechanis. 2002.

WILSON, Craig Michael. Barriers and Drivers to the Implementation of The "Clean Development Mechanism" Within the Nelson Mandela bay Municipality: a Case Study. A thesis sumitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Business Addministration (MBA) of Rhodes Investec Business School Rhodes University, 2007.

WEISS, Edith Brown. **O Direito da biodiversidade no interesse das gerações presentes efuturas.**Disponível

em:

Acesso em: 12 jul. 2011.

WOLD, Chris; NARDY, Afrânio J. F.; SAMPAIO, José A. L. **Princípios de Direito Ambiental:** na dimensão internacional e comparada. Belo Horizonte: Del Rey, 2003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), Municipal Solid Waste Landfills. 1998. Disponível em: http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/final/c02s04.pdf. Acesso: em 21 março 2011.

UNFCCC. **Kyoto Protocol to UNFCCC.** United Nations Framework Convention on Climate Change. Bonn, Germany, 1997.

UNFCCC. Report of the Conference of the Parties on its Seventh Session, Held at Marrakesh From 29 October To 10 November 2001. Documents FCCC/CP/2001/13, including FCCC/CP/2001/13/Add.1-4. Available online at: http://www.unfccc.de/ (visited January 2002).

VANZIN, E; PANDOLFO, A; LUBLO, R; et al. **Uso do Biogás em Aterro Sanitário como Fonte de Energia Elétrica Alternativa**: Aplicação de Procedimento para Análise da Viabilidade Econômica no Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla. [s.l.s.n.], 2005.

_____. Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no aterro Santa Tecla. [s.l.s.n.] 2006. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

VICTOR, D.G. The Collapse of the Kyoto Protocol and the Struggle to Slow Global Warming. New Jersey: Princeton University Press, 2001.

VICTOR, D.F. and HOUSE, J.C. A New Currency: Climate Change and Carbon Credits", Harvard International Review, (Summer). 2004.

YU, Chang Man. Sequestro Florestal de Carbono no Brasil – Dimensões Políticas,Socioeconômica e Ecológicas. Curitiba, 2004.