



Programa de Pós Graduação *Latu Sensu*
Especialização em Gestão Ambiental
Campus Nilópolis

Monique Branco Vieira

**AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO E GERAÇÃO DE
BIOENERGIA ATRAVÉS DO GERENCIAMENTO E DISPOSIÇÃO
FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM ATERROS
SANITÁRIOS**

Nilópolis - RJ

2015



Monique Branco Vieira

**AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO E GERAÇÃO DE
BIOENERGIA ATRAVÉS DO GERENCIAMENTO E DISPOSIÇÃO
FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM ATERROS
SANITÁRIOS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como parte dos
requisitos necessários para a
obtenção do título de especialista
em Gestão Ambiental.

Orientadora: Dra Ana Paula da Silva

Nilópolis - RJ

2015

V658a Vieira, Monique Branco.

Avaliação da economia de baixo carbono e geração de bioenergia através do gerenciamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários / Monique Branco Vieira ; orientador: Ana Paula da Silva. – Nilópolis, RJ: IFRJ, 2015.

91 f. : il. ; 30 cm.

Trabalho de conclusão de curso (pós-graduação) - Instituto Federal Rio de Janeiro - IFRJ, Programa de Pós – Graduação em Gestão Ambiental, 2015.

1. Gestão ambiental. 2. Resíduos sólidos urbanos. 3. Bioenergia.
4. Aterros sanitários. I. Silva, Ana Paula da, **orient.** II. IFRJ. III. Título.

CDU 502.1:628.4

Monique Branco Vieira

**AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO E GERAÇÃO DE
BIOENERGIA ATRAVÉS DO GERENCIAMENTO E DISPOSIÇÃO
FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM ATERROS
SANITÁRIOS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como parte dos
requisitos necessários para a
obtenção do título de especialista
em Gestão Ambiental.

Data da Aprovação: 16 de Abril de 2015

Profa Dra Ana Paula da Silva (orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Prof Dr Marco Aurélio Passos Louzada
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Profa MSc Cristina Maria Teixeira Soares Carneiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Nilópolis - RJ

2015

*Dedico este trabalho a todos
aqueles que lutam por um planeta
melhor!*

AGRADECIMENTOS

Geralmente, está é a última parte a ser confeccionada em um Trabalho de Conclusão de Curso e como sempre, o melhor pedaço a gente deixa para o final...

Seria clichê começar agradecendo às pessoas que mais contribuíram para que eu finalizasse este curso, afinal de contas, para chegarmos a qualquer lugar nossas pernas não andam só, e muito menos, nossas concepções não se formam sozinhas... Pelo motivo exposto acima, deixarei para o final os agradecimentos àquelas pessoas que foram essenciais para a finalização de mais essa etapa. Começarei então, pelas pessoas que me fizeram crer que eu deveria seguir esse caminho, e me fizeram acreditar, que eu estou cada vez mais tomando o rumo certo da minha vida profissional!! Começamos...

Gostaria, primeiramente, de agradecer a todos aqueles que não acreditaram nos meus sonhos, que sempre apontaram meu fracasso, meus defeitos e debilidades e que queriam que eu acreditasse que não seria capaz de fazer... Esses foram essenciais para que o meu crescimento pessoal!!!

Gostaria de agradecer a todos aqueles que tentaram me ensinar que ciência é para os poucos agraciados da elite intelectual do país e que o seu nível profissional se mede a partir da quantidade (e não qualidade) de artigos presentes em seu CV Lattes... Desses ensinamentos aprendi que ciência se faz no dia a dia, ciência é para poucos sim, mas não aqueles que se consideram pertencentes a alguma elite detentora de um conhecimento intransponível, ciência é para aqueles que possuem aptidão, humildade, vontade incessante de buscar conhecimento, torná-lo simples, difundir-lo das mais variadas formas; e, sobretudo, ter a maturidade de perceber que podemos estar errados e a flexibilidade para desconstruir e reconstruir um paradigma!!

Agradeço, ainda, a todos aqueles que tentaram me ensinar que a nossa trajetória profissional deveria seguir uma linha unidirecional, sem curvas ou mudanças da nossa vontade de aprender e me dedicar a outros temas, igualmente interessantes! Nessa perspectiva, me perguntei: “Estou acorrentada pelas minhas próprias escolhas?” “Não, uma vez que a educação e o conhecimento devem ser libertadores, como já dizia Paulo Freire!” Dessa forma, não deixei que minha visão holística pudesse ser suprimida por um paradigma que permeia a ciência conservadora!! E mais uma vez... percebi que estou no caminho certo!!!

Agora, agradeço realmente às pessoas que contribuíram e contribuem diariamente para o meu aperfeiçoamento, pessoal e profissional:

Agradeço, primeiramente, a sensibilidade da Professora Danielle que percebeu que eu não tinha realizado minha matrícula até a data limite e me ligou para perguntar se eu ainda estava interessada no curso... “Claro que sim, disse eu!!” Mas eu não tinha visto as mensagens da Pós-graduação que tinham ido para a caixa de *spam* do meu email... Imagina!!

Os meus mais sinceros agradecimentos à minha orientadora e amiga Ana Paula, pela orientação no trabalho, paciência e confiança em mim!

Agradeço a todos os professores do curso de Especialização em Gestão Ambiental do IFRJ, que fizeram durante um ano as minhas quintas-feiras e sábados mais prazerosos, através das discussões em sala, das saídas de campo e das práticas de laboratório!!

Agradeço as secretárias da Pós-Graduação que sempre estiveram solícitas para esclarecer nossas dúvidas durante todo o tempo!!

Agradeço aos meus amigos de turma: Alessandro, Andrea, Bruna, Caio, Naty e Renatinha; que sem a nossa união e companheirismo seria impossível vencer o cansaço e chegar até o final...

Agradeço, ainda, aos meus alunos, que mesmo sem saberem são um dos meus maiores incentivadores na busca de informações, conhecimentos e superação pessoal e profissional...

E por fim, e não menos importante, agradeço especialmente a minha mãe e ao Alexandre por me fazerem exercitar diariamente a tolerância, a paciência, a flexibilidade, o respeito pelas diferenças e, sobretudo, o amor!

Gratidão!!!

*“De nuestros miedos
nacen nuestros corajes
y en nuestras dudas
viven nuestras certezas.
Los sueños anuncian
otra realidad posible
y los delirios otra razón.
En los extravíos
nos esperan hallazgos,
porque es preciso perderse
para volver a encontrarse.”*

Eduardo Galeano

VIEIRA, Monique Branco. Avaliação da economia de baixo carbono e geração de bioenergia através do gerenciamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. 91p. Trabalho de conclusão de curso. Programa de Pós-Graduação *Latu Sensu* em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Nilópolis, RJ, 2015.

RESUMO

A crescente discussão a respeito da mudança do clima ocasionada pelo incremento de Gases de Efeito Estufa (GEE) e a necessidade do estabelecimento de mecanismos que pudessem possibilitar a mitigação e diminuição da emissão desses gases pelos países responsabilizados historicamente por essas mudanças, levou ao desenvolvimento de mecanismos de flexibilização do Protocolo de Quioto, como o denominado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o qual permite a comercialização de créditos de carbono dos países em desenvolvimento para os países desenvolvidos. Diante dessa abordagem, a disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em aterros sanitários geram gases potencialmente causadores do GEE devido à decomposição da matéria orgânica presente. Dessa forma, uma grande parcela de energia ainda pode ser aproveitada desses RSU, o que coloca em destaque programas e tecnologias que podem ser utilizadas para captar o biogás gerado nas células de deposição dos RSU nos aterros sanitários, convertendo-o em uma forma de energia útil. Neste contexto, o presente projeto objetivou realizar um levantamento do status atual dos projetos de MDL dos aterros sanitários brasileiros e avaliar a geração de bioenergia através dessa atividade quanto à potencialidade de complementação à matriz energética brasileira, bem como, realizar um estudo de caso do aterro sanitário de Itaboraí evidenciando o desempenho ambiental desta atividade. Foi observado que, dentre os estados brasileiros, São Paulo é aquele que possui a maior parte dos projetos de MDL de aterro sanitário aprovados e registrados. Os estados da região Norte apresentaram um grande avanço no que concerne à implantação de projetos de MDL, tanto para captura e queima do biogás, quanto para o aproveitamento energético do mesmo. A região Centro-Oeste, por sua vez, não apresentou nenhum projeto de MDL para gás de aterro. A avaliação de desempenho ambiental do aterro sanitário de Itaboraí revelou que as atividades do projeto de MDL com aproveitamento energético do biogás constitui uma prática ambientalmente favorável em relação aos benefícios ambientais oriundos dessa atividade. Apesar de todos os esforços para que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) seja cumprida e que os municípios brasileiros possam realizar a destinação ambientalmente adequada dos seus RS, o incentivo para o aproveitamento energético desses RS ainda é uma prática muito incipiente no Brasil, de modo que são necessários maiores esforços do poder público no estabelecimento de políticas públicas e incentivos fiscais para, finalmente, consolidar essa prática no cenário brasileiro.

Palavras-chave: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, Aterro Sanitário, Bioenergia

VIEIRA, Monique Branco. Evaluation of low carbon economy and bioenergy generation through the management and landfilling disposal of Municipal Solid Waste (MSW). 91p. Trabalho de conclusão de curso. Programa de Pós-Graduação *Latu Sensu* em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Nilópolis, RJ, 2014.

ABSTRACT

The intensive discussion of climate change caused by greenhouse gases increment (GHG) emissions and the need to establish mechanisms that would enable the mitigation and reduction of GHG emissions by countries historically held liable for these changes led to the development of flexibility mechanisms of the Kyoto Protocol, as the so-called Clean Development Mechanism (CDM), which allows the sale of carbon credits from developing countries to developed countries. Given this approach, the final disposal of Municipal Solid Waste (MSW) landfills generate gases potentially causing the GHG due to the decomposition of organic matter. Thus, a large portion of energy can also be harnessed from these RSU, which highlights the programs and technologies that can be used to capture the biogas generated in the MSW disposal cells in landfills, converting it into a form of energy useful. In this context, this project aimed to survey the current status of CDM projects of Brazilian landfills and evaluate the generation of bioenergy through this activity and the potential to complement the Brazilian energy mix, as well as, perform a case study of the Itaboraí landfill highlighting the environmental performance of this activity. According to results, São Paulo is the one with the most CDM projects landfill approved and registered among the Brazilian states. The states of the northern region are a major breakthrough regarding the implementation of CDM projects, both capture and burning of biogas, and for the energy recovery. The Midwest region did not show any CDM project for landfill gas. The evaluation of environmental performance of Itaboraí landfill revealed that the activities of the CDM project with biogas energy recovery is an environmentally friendly practice in relation to environmental benefits from this activity. Despite all the efforts for the Brazilian National Solid Waste Policy (PNRS) is fulfilled and that municipalities can carry out environmentally sound disposal of its RS, the incentive for the energy recovery of these RS is still a very early practice in Brazil, so that greater efforts of the government in establishing public policies and tax incentives to finally consolidate this practice in the Brazilian scenario.

Keywords: Clean Development Mechanism, Landfill, Bioenergy

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Total anual de emissões de GEE antropogências (GtCO ₂ eq/ano) para o período de 1970 a 2010.	9
Figura 3.2: Esquema ilustrativo das diferentes etapas do ciclo dos projetos de MDL.	21
Figura 4.1: Fronteira do Sistema para o estudo de caso no aterro sanitário de Itaboraí.	29
Figura 4.2: Relação existente entre as categorias de impacto, os indicadores de categoria e os pontos finais de categoria.	30
Figura 4.3: relação entre os parâmetros do inventário, categorias intermediárias, indicadores de categoria e pontos finais de categoria, no método ReCiPe 2008.	31
Figura 5.1: Quantidade de Projetos em alguma fase do ciclo do MDL publicados no site do Conselho Executivo do MDL.	36
Figura 5.2: Quantidade de Projetos aprovados na Autoridade Nacional Designada brasileira.	44
Figura 5.3: Percentual de projetos de aterro sanitário analisados com e sem aproveitamento energético do biogás.	50
Figura 5.4: Percentual de aterros sanitários com e sem aproveitamento energético por estado brasileiro.	51
Figura 5.5 – Distribuição dos projetos de MDL de aterro sanitário aprovados no CIMGC com previsão de aproveitamento energético do biogás por estados brasileiros.	52
Figura 5.6 – Distribuição dos projetos de MDL de aterro sanitário aprovados no CIMGC com captura e queima do biogás por estados brasileiros.	52
Figura 5.7: Percentual de aterros sanitários com e sem aproveitamento energético por região brasileira.	53
Figura 5.8 - Percentual de aterros sanitários com aproveitamento energético por regiões brasileiras.	54
Figura 5.9: Capacidade elétrica instalada dos aterros sanitários com aproveitamento energético por região brasileira	54
Figura 5.10: Percentual de emissões reduzidas dos projetos de MDL de aterros sanitário por regiões brasileiras	55
Figura 6.1: Figura 6.1: Mapa da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Município de Itaboraí em cinza.	56

Figura 6.2: Digrama representativo para a coleta e tratamento do metano e geração de energia elétrica.	58
Figura 6.3 – Fluxograma dos limites do projeto.	61
Figura 6.4: Tela do software SimaPro evidenciando a introdução dos dados do cenário 1 (linha de base) para o processo desenvolvido.	67
Figura 6.5: Tela do software SimaPro evidenciando a introdução dos dados do cenário 2 (dados do projeto) para o processo desenvolvido.	67
Figura 6.6: Caracterização comparativa dos cenários.	70
Figura 6.7: Valores de normalização das categorias intermediárias dos cenários analisados.	71
Figura 6.8: Valores da avaliação de danos dos pontos finais de categoria dos cenários analisados.	74
Figura 6.9: Valores de normalização dos pontos finais de categoria dos cenários analisados.	75
Figura 6.10: Valores de ponderação dos pontos finais de categoria dos cenários analisados.	76
Figura 6.11: Valores da pontuação única dos cenários analisados.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Lista de Gases de Efeito Estufa do Anexo A do Protocolo de Quioto e incluídos pela COP-17 e seu Potencial de Aquecimento Global (GWP).	15
Tabela 3.2: Arranjo Institucional do MDL.	18
Tabela 3.3: Principais constituintes do biogás.	22
Tabela 4.1: Categorias intermediárias e seus respectivos indicadores de categoria.	32
Tabela 4.2: Fatores de caracterização das categorias intermediárias de impacto	33
Tabela 4.3: Pontos finais de categoria, indicadores e fatores de caracterização	33
Tabela 4.4: Valores de referência de normalização e ponderação para os pontos finais de categoria.	35
Tabela 4.5: Valores de referência de normalização para as categorias intermediárias.	35
Tabela 5.1: Participação do Brasil nos projetos de MDL mundiais.	37
Tabela 5.2: Número e percentual de projetos brasileiros enviados e registrados no Conselho Executivo.	37
Tabela 5.3: Quantidade de projetos registrados no Conselho Executivo por escopo setorial.	38
Tabela 5.4: Quantidade de projetos registrados de aterro sanitário no Brasil no Conselho Executivo no escopo setorial “Gerenciamento e Disposição final de resíduos”.	39
Tabela 5.5: Quantidade de projetos brasileiros totais e de aterro sanitário registrados no Conselho Executivo.	39
Tabela 5.6: Inventário das Atividades de Projeto de Aterro sanitário submetidas ao CIMGC e à UNFCCC.	40
Tabela 5.7: Atividades de Projetos MDL na CIMGC.	43
Tabela 5.8: Atividades de Projetos MDL submetidos à Comissão Interministerial no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.	43
Tabela 5.9: Atividades de Projeto de MDL de aterro sanitário Canceladas no CIMGC.	44
Tabela 5.10: Inventário dos projetos de MDL de aterro sanitário do Brasil.	48
Tabela 6.1 – Calculo da emissão da linha de base (Fonte: Retirado do DCP –	59

Aterro Itaboraí).

Tabela 6.2 – Linha do tempo para implementação do projeto.	60
Tabela 6.3: Geração de eletricidade decorrente das atividades do projeto	63
Tabela 6.4: Síntese das estimativas das reduções de emissões.	63
Tabela 6.5: Principais dados sumarizados referentes ao cenário da linha de base do projeto de MDL do aterro de Itaboraí.	65
Tabela 6.6: Principais dados sumarizados referentes ao cenário do projeto de MDL do aterro de Itaboraí.	65
Tabela 6.7: Dados introduzidos no programa SimaPro.	66
Tabela 6.8: Valores da caracterização comparativa dos cenários.	68
Tabela 6.9: Valores normalizados de impacto das categorias intermediárias.	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
AND	Autoridade Nacional Designada
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CE	Comércio de Emissões
CER	Certificado de Emissões Reduzidas
CH ₄	Metano
CIMGC	Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP	Conferência das Partes
CTR	Centro de Tratamento de Resíduos
DCP	Documento de Concepção do Projeto
EOD	Entidades Operacionais Designadas
gCH ₄	Tonelada de metano
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Gás sulfídrico
HFC	Hidrofluorcarboneto
IC	implementação conjunta
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MW	Mega-Watt
MWh	Mega-Watt hora
N ₂	Nitrogênio
NF ₃	Trifluoreto de Nitrogênio
NH ₃	Amônia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PFC	Perfluorocarbono
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCE	<i>Reduction Certified Emissions</i>
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
SRREN	<i>Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation</i>
TgCO _{2eq}	Tonelada de dióxido de carbono equivalente
UF	Unidade Funcional
UNFCCC	<i>United Framework Convention on Climate Change</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL:	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	4
3.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	5
3.2. MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA	8
3.3. CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA.....	11
3.4 PROTOCOLO DE QUIOTO.....	13
3.5 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)	16
3.6 MDL EM ATERROS SANITÁRIOS	21
CAPÍTULO 4 METODOLOGIA	25
4.1 ABORDAGEM.....	25
4.2 ESTRATÉGIAS DE COLETA DE DADOS	26
4.2.1 Obtenção do panorama do aproveitamento energético de resíduos sólidos no âmbito do MDL no Brasil.	26
4.2.2 Análise de Desempenho Ambiental do Aterro Sanitário de Itaboraí – Estudo de Caso.	28
CAPÍTULO 5 ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE ATERRO SANITÁRIO NO ÂMBITO DO MDL NO BRASIL	36
5.1 SITUAÇÃO ATUAL DOS PROJETOS NO CONSELHO EXECUTIVO DO MDL .	36
5.2.1 Análise do Documento de Concepção de Projeto dos aterros sanitários com atividades de projeto aprovada na AND brasileira e Conselho Executivo.	45
CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO ATERRO SANITÁRIO DE ITABORAÍ/RJ – ESTUDO DE CASO.	56
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE ITABORAÍ – CTR ITABORAÍ	56
6.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO DE MDL DO CTR ITABORAÍ.....	57

6.2.1	Cenário da Linha de Base	58
6.2.2	Cenário do Projeto	59
6.2.3	Geração de eletricidade na atividade do projeto	61
6.3	ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO PROJETO DE MDL DO ATERRO DE ITABORAÍ	64
6.3.1	Comparação dos Processos	67
	CAPÍTULO 7 - DISCUSSÃO	78
	CONCLUSÃO	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

Dentre os principais problemas ambientais da atualidade está a mudança climática ocasionada, principalmente, pelo incremento de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera terrestre. Uma das principais causas deste aumento é o consumo de combustíveis fósseis durante muitas décadas como a fonte primária de energia da economia mundial (STERN et al, 2006; AMIN, 2009).

Na procura pela redução do consumo de combustíveis fósseis, várias fontes alternativas para a produção de energia vêm sendo testadas como a energia solar, eólica, hidráulica, a proveniente de biomassa, neste último caso, para a produção de biocombustíveis e biogás. Os biocombustíveis podem ser caracterizados como aqueles derivados do processamento de recursos naturais (biomassa) que dispõem de bioenergia, proveniente da energia química acumulada mediante processos fotossintéticos recentes. Dentre os biocombustíveis mais comuns encontram-se o hidrogênio, óleos vegetais utilizados para a produção de biodiesel, etanol e metano (BNDES & CGEE, 2008; DERMIBAS, 2009). Sendo este último proveniente, principalmente, da decomposição anaeróbica da matéria orgânica, sobretudo aquela presente nos Resíduos Sólido Urbanos (RSU).

Segundo a NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) os resíduos sólidos (RS) podem ser definidos como:

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

E ainda, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010a), regulamentada pelo Decreto Federal 7.404/2010 (BRASIL, 2010b) também define os RS, como:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos

d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.” (BRASIL, 2010a)

Dessa forma, as definições normativas e legais consideram os resíduos como aqueles provenientes das diversas atividades humanas, sejam elas econômicas ou domiciliares, os quais são passíveis de um tratamento ambientalmente adequado. Igualmente, a legislação e as normas vigentes preconizam a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, que são caracterizados como aqueles oriundos dos RS após o esgotamento de todas as possibilidades de aproveitamento, considerando todas as tecnologias disponíveis e economicamente viáveis, não excludentes a redução da sua geração na fonte, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos RS.

A disposição ambientalmente adequadas dos RS, segundo a PNRS (BRASIL, 2010a) se dá através da “distribuição ordenada dos rejeitos em aterros, observando as normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.” Porém, um dos grandes desafios encontrados no gerenciamento e disposição ambientalmente adequada dos rejeitos oriundos dos RS é a falta de infraestrutura que grande parte dos municípios oferecem para o cumprimento legal e normativo, pois segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizado em 2008 (IBGE, 2008), 50,8% dos municípios brasileiros realizam a destinação final dos RS em vazadouros a céu aberto (lixões), 22,5% em aterro controlado e apenas 27,7 em aterros sanitários.

Nesta vertente, ainda proíbe-se a disposição em aterro sanitário de qualquer resíduo que ainda possa ser reutilizável ou reciclado, impulsionando o desenvolvimento de tecnologias adequadas para o seu aproveitamento nas formas de reutilização ou reciclagem, bem como seu aproveitamento energético. A energia gerada através do aproveitamento dos RS dispostos em aterros sanitários vem sendo cada vez mais explorada, devido ao caráter diversificador da matriz energética a partir de fontes renováveis de energia, conduzindo a uma diminuição das emissões de GEE e redução da utilização de energias fósseis.

A disposição dos RSU em aterros sanitários produz emissão de GEE, devido à decomposição da matéria orgânica. A formação do biogás no aterro sanitário ocorre, principalmente, por dois mecanismos: no momento da deposição do resíduo ocorre a decomposição aeróbia, devido à grande concentração de oxigênio. Após este período, inicia-se a decomposição anaeróbia, devido à redução da quantidade de oxigênio nos resíduos (DUARTE, 2006).

A qualidade do biogás gerado no aterro sanitário depende de vários fatores intrínsecos a cada empreendimento considerado, como sistema microbiológico, tipo de substrato, característica dos resíduos em decomposição, acesso ao oxigênio e teor de umidade (BARLAZ et al, 1987 apud DUARTE, 2006). Majoritariamente, o biogás produzido nos aterros sanitários é composto por cerca de 50 % de CH₄ e 50 % de CO₂, e alguns elementos traços totalizando menos de 1 % dos outros componentes gasosos, incluindo amônia (NH₃), hidrogênio (H₂), gás sulfídrico (H₂S), nitrogênio (N₂) (DUARTE, 2006). Porém, a distribuição exata do percentual de gases variará conforme a antiguidade do aterro.

A geração do biogás no aterro sanitário tem início tão logo é realizada a disposição dos RS. Alguns registros de metano foram obtidos após três meses de disposição, podendo continuar sendo detectado após o encerramento do aterro, em um período aproximado de 20 a 30 anos (MMA, 2014). A contribuição em nível global dos aterros sanitários para as emissões de metano oscilam entre 67 e 90 TgCH₄/ano, enquanto as emissões globais de origem antropogênica equivalem a 334 a 365 TgCH₄/ano (IPCC, 2014). Neste sentido, os aterros sanitários contribuem com uma produção aproximada de 20 a 24% do total de metano emitido globalmente (IPCC, 2014).

Outrossim, nas estimativas anuais de GEE, publicado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCTI, 2013), as emissões de metano por RS no Brasil para o ano de 2010 foi de 48 TgCO_{2eq}, sendo deste total 29 TgCO_{2eq} para os RSU e 19 TgCO_{2eq} para os efluentes líquidos provenientes do tratamento do esgoto doméstico e industrial (MCTI, 2013).

Os projetos de aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários produzidos a partir da decomposição da matéria orgânica constituinte dos RSU dispostos visam à transformação da energia capturada no biogás em uma forma de energia útil, como eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou para abastecer gasodutos com gás de qualidade (MMA, 2014). Estes sistemas são projetados a partir de um modelo básico, independente do tipo e uso final do biogás gerado, e além dos benefícios econômicos e de eficiência energética essas medidas têm contribuído muito para o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono e na mitigação do GEE.

Neste contexto, o presente projeto tem como objetivo avaliar a geração de bioenergia através dos gases gerados pela decomposição da matéria orgânica nos aterros sanitários brasileiros que implementaram atividades do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL:

Avaliar a geração de bioenergia através da disposição final dos Resíduos Sólidos em aterros sanitários brasileiros no âmbito do MDL e a potencialidade de complementação à matriz energética brasileira, bem como, realizar um estudo de caso do aterro sanitário de Itaboraí evidenciando o desempenho ambiental desta atividade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar a situação atual da geração de bioenergia e implantação de projetos de MDL nos aterros sanitários do Brasil;
- Realizar um inventário dos aterros sanitários com projetos de MDL aprovados e disponibilizados pelos organismos oficiais nacionais e internacionais;
- Realizar um inventário da potência instalada dos aterros sanitários com aproveitamento energético;
- Analisar a contribuição dos aterros sanitários com aproveitamento energético à matriz energética brasileira;
- Realizar uma análise de desempenho ambiental de um aterro sanitário com aproveitamento energético.

CAPÍTULO 3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E EVOLUÇÃO HISTÓRICA

A evolução da política e da Gestão Ambiental no Brasil ocorreu, de certa forma, concomitantemente ao quadro internacional, embora resguardando as especificidades da realidade brasileira, em todas as suas vertentes (econômica, política e cultural). Devido às diferenças inerentes à configuração díspar do desenvolvimento brasileiro, muitas vezes este cenário ocorreu sobrepondo-se, outras vezes se apresentando defasados à evolução da política internacional.

A evolução do desenvolvimento econômico, historicamente, sempre esteve atrelada ao uso cada vez maior dos recursos naturais, sobretudo após a revolução industrial, onde a utilização de matérias primas e recursos energéticos tomaram uma repercussão ainda mais proeminente. Esse cenário de utilização irrestrita dos recursos naturais toma um novo rumo, principalmente a partir da década de 1960, quando políticas ambientais começam a preocupar-se com a relação homem/natureza e tenta estabelecer um equilíbrio nessa, até então, desarmoniosa relação estabelecida durante o desenvolvimento industrial. Novos paradigmas começam a surgir na sociedade pós-industrial, evidenciando a desmaterialização da economia e induzindo mudanças profundas na relação entre economia e território, mais precisamente entre desenvolvimento e meio ambiente (MAGRINI, 2001).

A trajetória da Política Ambiental mundial pode ser descrita a partir de importantes marcos de referência, ou seja, grandes acontecimentos internacionais ocorridos a partir da segunda metade do século XX, que influenciaram o curso das políticas ambientais no mundo e, conseqüentemente, no Brasil. Dentre esses eventos, a promulgação da política ambiental americana (*National Environmental Policy Act* - NEPA – sigla em inglês) em 1969 inaugura esse cenário instituindo a avaliação de impactos ambientais, introduzindo a noção de sustentabilidade exemplificada pela garantia dada pelo Estado de que as gerações presentes poderão atender às suas necessidades sem comprometer as gerações futuras. A NEPA explicita, ainda, a utilização de uma abordagem sistemática e interdisciplinar pelas esferas do Governo Federal para tratar as questões ambientais (MAGRINI, 2001).

Na década de 70 o modelo de desenvolvimento vigente estava arraigado na extração irrestrita dos recursos naturais para a produção dos bens de consumo de alto valor agregado, gerando resíduos sólidos e gasosos em proporções maiores que a capacidade de suporte do planeta poderia sustentar. Diante deste cenário, as discussões e críticas a respeito desse

modelo foram incorporadas em um relatório do MIT em 1972 (os Limites do Crescimento), o qual discutiu justamente os malefícios do crescimento sem medidas e a condução do futuro da humanidade, caso esse modelo permanecesse.

Em 1972, foi realizada a conferência das Nações Unidas em Estocolmo com o intuito de tentar organizar a relação do Homem e o Meio Ambiente. Neste evento, foram idealizadas políticas e leis ambientais para controlar, principalmente, os efeitos da poluição atmosférica, por meio de uma ótica corretiva. É importante ressaltar, que as políticas idealizadas nesta conferência eram de natureza recomendatória. Essa conferência foi de extrema importância por apontar a necessidade de controle do uso dos recursos naturais pelo homem, e lembrar que grande parte destes recursos além de não serem renováveis, quando removidos da natureza em grandes quantidades, deixam uma lacuna, às vezes irreversível, cujas consequências virão e serão sentidas nas gerações futuras (DAROIT, 2001).

Neste período algumas políticas foram inseridas no intuito de tentar diminuir os impactos gerados pelo progresso linear e continuado. Porém, foram as crises do petróleo da década de 70, mais precisamente em 1973 e 1979, que contribuíram para a mudança nos paradigmas de que os recursos naturais, principalmente os não-renováveis, são finitos e precisam ser utilizados de forma comedida. Dessa forma, essa década é caracterizada pela formulação de políticas ambientais de caráter corretivo e centrada na introdução de mecanismos de controle da poluição (MAGRINI, 2001).

No Brasil, a década de 70 seguiu o mesmo perfil internacional, através da estruturação institucional para implementação de políticas ambientais. Neste período foi criado a SEMA (Secretaria de Meio Ambiente) a nível federal e alguns órgãos estaduais (como a FEEMA no Rio de Janeiro, por exemplo). Nesta mesma década, houve a implementação de algumas normas ambientais em nível estadual, embora já existissem algumas normativas federais, como por exemplo, Código das águas de 1934, Lei de Proteção e Florestas de 1965 e a Lei de Proteção da Fauna de 1967 (MAGRINI, 2001).

A partir da década de 80, as políticas ambientais basearam-se em um enfoque mais preventivo, introduzindo a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) como instrumento de prevenção e auxílio à decisão. As políticas ambientais estavam direcionadas a um enfoque essencialmente preventivo, impulsionado pela detecção da vulnerabilidade das nações frente à escassez de recursos naturais, detectada após a crise do petróleo vivenciada nesse período. Durante essa fase, quase todos os países ocidentais introduziram a AIA como instrumento auxiliar na prevenção e na tomada de decisões. Ainda nessa época, o Estado era o grande

responsável pela aplicação das medidas de gestão ambiental, utilizando instrumentos denominados de “comando e controle” o que gerou um intenso conflito de interesses entre o poder público, a iniciativa privada e os interesses da sociedade (DAROIT, 2001).

No Brasil, implementou-se uma política ambiental efetiva e orgânica com a Lei 6.938 de 1981 que institui a Política e o Sistema Nacional do Meio Ambiente. Apesar dessa lei possuir um caráter corretivo, enquanto boa parte da política internacional estar baseada em uma ótica preventiva, ela outorga autonomia aos estados e municípios para atuar no controle ambiental cujo objetivo era descentralizar as responsabilidades pela gestão ambiental. Um aspecto importante desta Lei foi a criação de instrumentos para favorecer o alcance dos objetivos propostos. Em 1981 foi criado o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), atrelado ao Conselho Nacional do Meio Ambiente, o qual era composto por representantes do Ministério, entidades da Administração Federal, órgãos ambientais estaduais e municipais, entidades de classe e organizações não-governamentais. A Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 001 (de 23 de janeiro de 1986) regulamenta as atividades sujeitas à AIA, a qual padroniza o processo de licenciamento. A SEMA foi absorvida em 1989, juntamente com SUDEPE, IBDF e SUDHEVEA formando IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente) (MAGRINI, 2001).

Em 1987 o conceito de desenvolvimento sustentável foi introduzido pelo relatório das Nações Unidas (Relatório Bruntland) denominado “Nosso Futuro Comum”. Esse relatório teve o objetivo maior de promover a conciliação das partes em conflito, e trazer as bases que norteariam as transformações da década de 90.

Em 1992, as Nações Unidas realizam uma conferência no Rio de Janeiro, denominada de ECO 92, a qual desempenhou um papel crucial na implantação e disseminação do conceito de desenvolvimento sustentável, arraigado pela ótica integradora que marcou as políticas da década de 90. Em 1997, na cidade de Quioto (Japão), é assinado o Protocolo de Quioto um novo componente da Convenção, que contém, pela primeira vez, um acordo vinculante que compromete os países desenvolvidos a reduzirem suas emissões. Neste período, a busca de integração entre o desenvolvimento econômico, ambiental e social caracterizou a necessidade de estabelecer as políticas integradoras, cunhadas em uma ótica preventiva e menos punitiva (DAROIT, 2001).

No Brasil a década de 90 é caracterizada pela formação do Ministério do Meio Ambiente, as Políticas de Recursos Hídricos e a Lei dos Crimes Ambientais. Em 1997 foi

promulgada a regulamentação federal sobre Licenciamento Ambiental (Resolução CONAMA nº 237/97).

A década de 00 foi caracterizada pelo desenvolvimento de uma gestão pública atrelada à gestão privada, com o intuito de haver uma complementaridade entre as partes, através da introdução de instrumentos econômicos. Em 2002 ocorreu em Johannesburgo a Conferência Rio+10, a qual prosseguiu com as discussões iniciadas na Eco-92. O ganho maior dessa conferência foi a concepção da necessidade urgente de estabelecer políticas de incentivo ao uso de energias renováveis.

No Brasil perceberam-se alguns avanços na política ambiental, como a fixação de compromissos em relação à redução do desmatamento e ampliação do saneamento básico. Nesta mesma época houve um aumento excessivo no processo de judicialização da gestão ambiental, incrementando os conflitos de fronteiras entre atuação dos órgãos ambientais (MAGRINI, 2001).

Mais recentemente houve a Conferência Rio+20, a qual teve como principal objetivo reafirmar o compromisso dos países com o desenvolvimento sustentável, debatendo os principais balanços do que foi realizado durante os 20 anos que procederam os acordos e compromissos estabelecidos durante a Eco-92. Além disso, foi discutido a importância do estabelecimento dos processos da Economia Verde e maneiras de erradicar a pobreza mundial, dentre outros assuntos de interesse mundial.

No setor elétrico, nesta década, há a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), introdução de mecanismos de licenciamento ambiental para os empreendimentos energéticos, acordos de cooperação entre órgãos e entidades do setor e ainda a adesão das empresas aos mecanismos de mercado.

Dessa forma, apesar da legislação ambiental do Brasil ser bastante robusta, percebe-se que a aplicação efetiva destas encontram-se muito aquém do necessário para o estabelecimento de um desenvolvimento atrelado ao compromisso das questões ambientais. Muito deve ser feito e proposto para que consigamos alcançar o tão almejado desenvolvimento sustentável.

3.2. MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA

A mudança global do clima é um tema bastante discutido na atualidade e algumas evidências têm demonstrado que a temperatura da Terra está aumentando em virtude de

algumas atividades humanas que emitem GEE, basicamente, o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Segundo o Painel Intergovernamental de Mudança Climática (IPCC, sigla em inglês), a influência humana sobre o sistema climático é clara, e as emissões antrópicas de GEE recentes são as maiores da história. Os dados de temperatura médias globais combinadas das superfícies terrestres e oceânicas, calculada por uma tendência linear mostram um aquecimento de 0,85 (0,65-1,06)°C ao longo do período 1880-2012, e a concentração de CO₂ estimada para 2011 era de 430 ppm (IPCC, 2014).

O efeito estufa, apesar de ser um processo natural e essencial para a manutenção da vida na Terra, quando intensificado gera um aquecimento atmosférico adicional resultando no aumento da temperatura média global e no desequilíbrio do balanço energético do planeta.

De acordo com o quinto relatório do IPCC divulgado em 2014 (AR5), os efeitos das emissões antropogênicas de GEE desde a era industrial tem impulsionado grandes incrementos nas concentrações atmosféricas desses gases. Entre 1750 e 2011, as emissões cumulativas de CO₂ antropogênico para a atmosfera foram na ordem de 2.040 ± 310 Gt de CO₂eq, sendo que metade dessas emissões ocorreram nos últimos 40 anos. Cerca de 40% dessas emissões permaneceram na atmosfera (880 ± 35 GtCO₂eq); o restante foi removida da atmosfera e armazenado na superfície terrestre (em plantas e solos) e no oceano. O oceano tem absorvido cerca de 30% do CO₂ antropogênico emitido, aumentando a acidificação do mesmo (IPCC, 2014) (Figura 3.1).

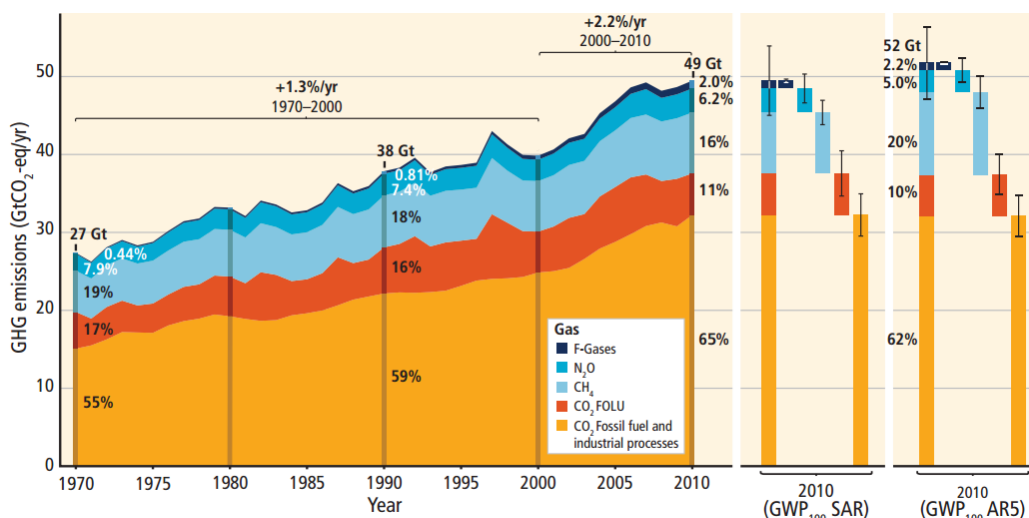


Figura 3.1 – Total anual de emissões de GEE antropogênicas (GtCO₂eq/ano) para o período de 1970 a 2010. CO₂ dos combustíveis fósseis e processos industriais; CO₂ de Florestas e Outros Usos da Terra (FOLU); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); gases fluorados abrangidos pelos Protocolo de Quioto (F-Gases). O lado direito demonstra as emissões de 2010, em CO₂-equivalente com base no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC (SAR) e valores do Quinto Relatório (AR5), calculados a partir do Potencial de Aquecimento Global (GWP) com base em 100 anos. (Fonte: Adaptado de IPCC, 2014).

Apesar do número crescente de políticas de mitigação das mudanças climáticas, o total de emissões antrópicas de GEE em 2010 chegou a $49 \pm 4,5$ Gt de CO₂-eq/ano. As emissões de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis e processos industriais contribuíram com cerca de 78% das emissões totais de GEE entre 1970-2010, com uma contribuição percentual semelhante durante o período de 2000 a 2010 (IPCC, 2014). Globalmente, o crescimento econômico e populacional continuaram a ser os mais importantes motores do aumento das emissões de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis. A contribuição do crescimento da população entre 2000 e 2010 manteve-se praticamente idêntico ao das três décadas anteriores, enquanto a contribuição do crescimento econômico, aumentou consideravelmente. O aumento da utilização do carvão reverteu a tendência de longa data de descarbonização gradual (ou seja, reduzir a intensidade de carbono da energia) do fornecimento de energia do mundo (IPCC, 2014).

Obviamente, somente medidas de mitigação não são suficientes para promover uma considerável manobra ao câmbio climático. Por outro lado, ações de mitigação devem vir acompanhadas de medidas de adaptação às mudanças climáticas para que possa existir uma efetividade maior nesse endereçamento. A implementação eficaz dessas medidas depende de políticas e cooperação em todas as escalas e pode ser melhorada através de respostas integradas que apontam adaptação e mitigação com outros objetivos sociais (IPCC, 2014).

Segundo AR5 (IPCC, 2014), existem benefícios e sinergias existentes entre as ações de mitigação e adaptação e quanto maiores forem os esforços para atenuar os efeitos das mudanças climáticas mais complexas serão as interações existentes entre e dentro das regiões. Alguns exemplos podem ser citados, como:

- (i) “aumento da eficiência energética e das fontes de energia mais limpas, levando à redução das emissões de poluentes atmosféricos, que alteram o clima e são prejudiciais à saúde”;
- (ii) “redução de energia e consumo de água em áreas urbanas através de cidades sustentáveis e reciclagem de água”;
- (iii) “agricultura e silvicultura sustentáveis; e
- (iv) (iv) a proteção dos ecossistemas para o armazenamento de carbono e outros serviços ecossistêmicos.” (IPCC, 2014).

Historicamente, o desenvolvimento econômico tem sido diretamente correlacionado com o aumento do uso de energia e crescimento das emissões de GEE, por outro lado, a utilização de energias renováveis poderia auxiliar no desmembramento dessa relação linear, contribuindo de forma substancial para o desenvolvimento sustentável. O relatório do IPCC exclusivo para energias renováveis, denominado *Special Report on Renewable Energy*

Sources and Climate Change Mitigation (IPCC, 2011), elenca as várias possibilidades para a redução das emissões dos GEE a partir do sistema energético, garantindo a satisfação da demanda energética global. Algumas das opções possíveis são: conservação e eficiência energética; substituição do combustível fóssil; captura e armazenamento de carbono (CCS); energia nuclear e; energias renováveis (IPCC, 2011). Afirmam, ainda, que globalmente foi estimado que as energias renováveis foram responsáveis por 12,9% do total de 429 EJ do suprimento de energia primária em 2008, sendo a biomassa a fonte que mais contribuiu para esse número (10,2%). Do total de biomassa utilizada, a maioria consistia em biomassa tradicional (cerca de 60%), principalmente aplicada para cozimento e aquecimento nos países em desenvolvimento, porém observou-se um rápido crescimento no uso de biomassa moderna (IPCC, 2011).

Finalmente, o SRREN (IPCC, 2011) afirma que as energias renováveis constituirão umas das opções dominantes e mais eficazes para a mitigação das mudanças climáticas até 2050, entre as alternativas tecnológicas de baixo carbono. Isso inclui o desenvolvimento e amadurecimento das tecnologias das fontes de energias renováveis, a atratividade em relação às outras opções de mitigação, mudança nos padrões de consumo e produção e capacidade de integrar as diversas fontes renováveis nas redes de energia (IPCC, 2011).

3.3. CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA

A adoção da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) em 9 de maio de 1992 foi o resultado de uma sequência de 5 reuniões realizadas entre 5 de fevereiro e maio de 1992, com o intuito de debater o surgimento de políticas e instrumentos legais internacionais sobre mudança do clima. Representantes de mais de 150 países compunham o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima (CIN/CQMC) estabelecida pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 1990. A assinatura ocorreu durante a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como RIO-92, que se realizou no Rio de Janeiro, de 3 a 14 de junho de 1992 (MCTI, 2014a).

A CQNUMC entrou em vigor em 21 de Março de 1994 e tem a adesão de 195 países, os quais são denominados “Partes da Convenção” (UNFCCC, 2015). O objetivo é justamente estabilizar as concentrações de GEE atmosférico e impedir interferências antrópicas que causem danos ao sistema climático global. Vale ressaltar que o Brasil foi o primeiro país a

assinar a Convenção, a qual entrou em vigor no país no dia 29 de maio de 1994, ratificada pelo Congresso Nacional (MCTI, 2014a).

A Convenção foi concebida sob dois princípios, o da precaução e o da responsabilidade comum, porém diferenciada. Sob a ótica desses princípios os países signatários comprometeram-se em estabelecer e implementar medidas de mitigação da emissão dos GEE, em nível nacional e global, através da elaboração de estratégias que visam proteger o sistema climático. A adoção dessas estratégias à luz do princípio da precaução, explica o fato de que mesmo na ausência de evidências e certeza científica plena, os países não possuem motivos para postergar a adoção de medidas que previnam, mitiguem ou evitem as causas das mudanças climáticas (CAMPOS, 2001).

Por outro lado, o princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada, leva em conta a contribuição histórica de cada país à mudança do clima. Dessa forma, os países desenvolvidos foram apontados como os principais responsáveis pelas mudanças climáticas (CAMPOS, 2001), devido, principalmente, ao estilo linear de desenvolvimento traçado pelos mesmos. Entretanto, os níveis de emissões dos países em desenvolvimento foram apontados como relativamente baixos, e poderiam aumentar e permanecer em uma faixa de concentração compatível com o seu nível de crescimento. Isso seria possível devido, principalmente, às mudanças nos conceitos de desenvolvimento, impulsionadas pelos questionamentos sobre a viabilidade do padrão de desenvolvimento da civilização tecnológica-industrial dos países centrais, o qual não poderia ser generalizado à escala planetária, porque é incompatível com os limites externos ao desenvolvimento, e assim deixa de ser o único modelo a ser perseguido pelos países da periferia.

Ainda de acordo com o princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada, foram criados dois grupos de países, os quais foram denominados de países Anexo I e países Não- Anexo I. Basicamente, os países que compõem o Anexo I “são todos os membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em 1992, a Comunidade Européia, os países industrializados da Ex-União Soviética e do Leste Europeu” (CAMPOS, 2001). E os países Não-Anexo I correspondem a todas as Partes não listadas no Anexo I da referida Convenção.

Dessa forma, foram estabelecidos compromissos que todos os países signatários deveriam assumir e alguns específicos para os países desenvolvidos. Dentre os compromissos gerais assumidos por todos os países, podemos destacar, segundo MCTI (2015):

- “elaborar inventários nacionais de emissões de gases de efeito estufa”;
- “implementar programas nacionais e/ou regionais com medidas para mitigar a mudança do clima e se adaptar a ela”;
- “promover o desenvolvimento, a aplicação e a difusão de tecnologias, práticas e processos que controlem, reduzam ou previnam as emissões antrópicas de gases de efeito estufa”;
- “promover e cooperar em pesquisas científicas, tecnológicas, técnicas, socioeconômicas e outras, em observações sistemáticas e no desenvolvimento de bancos de dados relativos ao sistema do clima”;
- “promover e cooperar na educação, treinamento e conscientização pública em relação à mudança do clima.”

Dentre os compromissos específicos que os países desenvolvidos foram encarregados de assumir, destacam-se:

- “adotar políticas e medidas nacionais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, buscando reverter suas emissões antrópicas desses gases aos níveis de 1990, até o ano 2000”;
- “transferir recursos tecnológicos e financeiros para países em desenvolvimento”;
- “auxiliar os países em desenvolvimento, particularmente os mais vulneráveis à mudança do clima, a implementar ações de adaptação e se preparar para a mudança do clima, reduzindo os seus impactos.” (MCTI, 2015).

Anualmente, a Convenção se reúne em um evento denominado Conferência das Partes (COP), a fim de debater os avanços dos compromissos firmados pelos países, e ainda instrumentalizar mecanismos para que esses compromissos possam ser cumpridos. Dessa forma, em 1997 a terceira Conferência das Partes (COP-3) foi realizada em Quito, no Japão, e dela derivou a assinatura do “Protocolo de Quito”, o qual foi o produto resultante do Mandato de Berlim, estabelecido na primeira Conferência das Partes (COP-1). Nesse mandato, foi estabelecido que os países desenvolvidos deveriam definir as limitações quantificadas e os objetivos da redução de emissões antrópicas dos GEE.

3.4 PROTOCOLO DE QUIOTO

O Protocolo ou Tratado de Quioto foi adotado durante a COP3 que foi realizada no Japão em 1997. O Protocolo foi ratificado em fevereiro de 2005 e tem como objetivo reduzir as emissões combinadas dos GEE dos países que compõem o Anexo I da Convenção-Quadro (ou países do Anexo B do Protocolo de Quito) em 5,2% em relação ao ano base de 1990, sobre os valores registrados durante o período de 2008 a 2012, o qual é denominado primeiro período de compromisso do Tratado (ALBUQUERQUE, 2012).

De acordo com o artigo 10 do Protocolo de Quioto, os países em desenvolvimento foram exonerados em reduzir suas emissões, justamente devido ao princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada e ainda reforça o compromisso dos países do Anexo 1 com o desenvolvimento dos países periféricos Não-Anexo 1:

“Todas as Partes, levando em conta suas responsabilidades comuns mas diferenciadas e suas prioridades de desenvolvimento, objetivos e circunstâncias específicos, nacionais e regionais, sem a introdução de qualquer novo compromisso para as Partes não incluídas no Anexo I, mas reafirmando os compromissos existentes no Artigo 4, parágrafo 1, da Convenção, e continuando a fazer avançar a implementação desses compromissos a fim de atingir o desenvolvimento sustentável, levando em conta o Artigo 4, parágrafos 3, 5 e 7, da Convenção, devem:”

“[...] (c) Cooperar na promoção de modalidades efetivas para o desenvolvimento, a aplicação e a difusão, e tomar todas as medidas possíveis para promover, facilitar e financiar, conforme o caso, a transferência ou o acesso a tecnologias, know-how, práticas e processos ambientalmente seguros relativos à mudança do clima, em particular para os países em desenvolvimento, incluindo a formulação de políticas e programas para a transferência efetiva de tecnologias ambientalmente seguras que sejam de propriedade pública ou de domínio público e a criação, no setor privado, de um ambiente propício para promover e melhorar a transferência de tecnologias ambientalmente seguras e o acesso a elas;” (PROTOCOLO DE QUITO, 1997).

No Anexo A do Protocolo de Quioto, estão listados todos os GEE que devem ser controlados e ainda, os setores e categorias das fontes de emissões que são passíveis dessa redução. Os principais GEE e que estão no Tratado de Quioto são o CO₂, o CH₄, o N₂O, os PFCs, os HFCs e o SF₆. Durante a COP17, um novo GEE foi incluído na lista dos gases de Quioto, NF₃, o trifluoreto de nitrogênio (Tabela 3.1). Cada GEE possui um Potencial de Aquecimento Global (GWP, na sigla em inglês), o qual é definido como uma medida relativa do impacto radioativo de uma unidade de massa de um dado GEE em relação a uma unidade de massa de dióxido de carbono em um dado intervalo de tempo. Dessa forma, cada GEE possui um GWP diferente devido às suas características químicas e da sua capacidade de absorver as radiações infravermelhas. Devido à isso, o cálculo das emissões totais de GEE é realizado utilizando uma unidade de medida específica, a qual foi convencionada como CO₂ equivalente (CO₂eq), ressaltando a importância e contribuição de cada GEE em relação ao dióxido de carbono (PRATHNER & HSU, 2008) (Tabela 3.1).

Tabela 3.1: Lista de Gases de Efeito Estufa do Anexo A do Protocolo de Quioto e incluídos pela COP-17 e seu Potencial de Aquecimento Global (GWP).

GEE	Principais fontes de emissão	GWP
CO₂	Uso de combustíveis fósseis, deflorestação e alteração dos usos do solo.	1
CH₄	Produção e consumo de energia (incluindo biomassa), atividades agrícolas, aterros sanitários e águas residuais.	21
N₂O	Uso de fertilizantes, produção de ácidos e queima de biomassa e combustíveis fósseis.	310
Halogenados (HFCs, PFCs e SF₆)	HFC-125	2.800
	HFC-134a	1.300
	HFC-143a	3.800
	HFC-152a	140
	CF ₄	6.500
	C ₂ F ₆	9.200
NF₃	Indústria de semicondutores e fotovoltaica	17.200*

Fonte: Adaptado de ALBUQUERQUE, 2012)

Os valores de GWP são atualizados a cada publicação dos relatórios do IPCC, e portanto, podem variar de um relatório para o outro. Portanto, para evitar qualquer problema na comparação e contabilização dos valores de emissões de GEE, convencionou-se que os valores utilizados pra fins de inventário de GEE e na aplicação dos mecanismos do Protocolo de Quioto devem ser aqueles publicados no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC, também denominado SAR. Essa convenção foi definida na decisão 2 do Protocolo de Quioto e confirmada na COP-17 (ALBUQUERQUE, 2012).

A fim de possibilitar o cumprimento das metas do Tratado de Quioto foram criados três mecanismos de flexibilização: comércio de emissões (CE), implementação conjunta (IC), e mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). Tanto o CE quanto a IC são restritas aos países que estão contemplados no Anexo I, enquanto o MDL permite a participação dos países em desenvolvimento. Esses mecanismos foram criados durante a realização da COP-07.

O CE (ou *Emission Trading* – ET, sigla em inglês) é um mecanismo que permite a comercialização das reduções de emissão entre os países do Anexo I, não sendo aplicável nos países Não-Anexo I, pelo fato destes não possuírem metas de redução. Basicamente, o mecanismo funciona da seguinte forma: um país A pertencente ao Anexo I poderia reduzir suas emissões muito abaixo do previsto pelo Protocolo de Quioto e comercializar essas emissões excedentes para um país B, também pertencente ao Anexo I, que não conseguiu ou não deseja atingir sua cota de redução de emissões, podendo ser realizado entre governos nacionais ou setores e empresas. É interessante ressaltar que, a aquisição dessas cotas se torna um mecanismo atraente, do ponto de vista econômico, quando o valor da cota é inferior ao custo de abatimento total das emissões no país B. Da mesma forma, para o país A é interessante vender suas cotas se o valor dela for superior ao custo de abatimento daquela quantidade de CO₂ equivalente no seu país (ROCHA, 2009).

A IC (ou *Joint Implementation* - JI, sigla em inglês), por sua vez, é um mecanismo proposto pelos EUA, no qual os países do Anexo I são autorizados a implementar, financiar ou negociar projetos de redução de emissões de GEE em outros países também listados no Anexo I. Esses projetos geram as denominadas “Unidades de Redução de Emissões (*Emission Reduction Units* – ERUs)”, as quais são originadas de projetos destinados a reduzir ou remover as emissões. Cada ERU corresponde à redução de uma tonelada métrica de emissões de CO₂ equivalente (ROCHA, 2009).

Por fim, o último mecanismo de flexibilização do Protocolo de Quioto é o denominado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL (ou *Clean Development Mechanism* – CDM, sigla em inglês), o qual constitui-se em um instrumento de mercado que permite que os países listados no Anexo I financiem ou implementem projetos de redução de emissões de GEE no território dos países não incluídos no Anexo I do referido protocolo (países Não-Anexo I), através de investidores privados ou do governo (ROCHA, 2009).

3.5 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)

O MDL está previsto no artigo 12 do Protocolo de Quioto e tem como princípio básico promover o desenvolvimento sustentável dos países Não-Anexo I (basicamente países em desenvolvimento), através da implementação de projetos de redução de emissões (RCEs – sigla em inglês) dos países Anexo I no território dos países não listados neste anexo.

O Artigo 12.2 do Protocolo de Quioto estabelece que:

“O objetivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo deve ser assistir as partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir os países do Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões.” (Fonte: PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997).

O Artigo 12.3 do Protocolo de Quioto afirma que:

“a) países não incluídos no Anexo I se beneficiarão de projetos resultando em reduções certificadas de emissões; e
b) países incluídos no Anexo I podem usar as reduções certificadas de emissões derivadas de tais projetos como contribuição à adequação de parte de seus compromissos quantificados de redução e limitação de emissões (...).” (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997).

Os projetos de MDL candidatos a receber as RCEs devem satisfazer os critérios estabelecidos no Artigo 12 do Protocolo, nos Acordos de Marrakeche e outras decisões adotadas nas Conferências das Partes e pelo Conselho Executivo do MDL, os quais estabeleceram os requisitos básicos dos projetos de MDL, denominados critérios de elegibilidade, dentre os quais se destacam (FELIPETO, 2007):

- a) as atividades do projeto devem ser desenvolvidas em um país Não-Anexo I;
- b) participação voluntária das Partes;
- c) aprovação das atividades de projeto no país de origem;
- d) promoção do desenvolvimento sustentável do país em que será implementado;
- e) demonstrar adicionalidade, ou seja, que a redução das emissões de GEE ocorra de forma adicional ao que ocorreria na ausência da atividade de projeto MDL;
- f) Estimar todas as possíveis emissões que ocorrem fora dos limites do projeto;
- g) garantia de que todos os atores que sofrerão os impactos diretos ou indiretos das atividades do projeto sejam consultados;
- h) garantia de que as atividades de projeto não causarão impactos colaterais negativos ao meio ambiente local;
- i) produção de benefícios mensuráveis, reais e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima;
- j) relação com os gases e setores definidos no Anexo A do Protocolo de Quioto ou com atividades de projetos de reflorestamento e florestamento, sendo que estes últimos só podem participar projetos nos quais as atividades não ultrapassem 1% das emissões do ano base do país Anexo I que pretende comprar as RCEs.

Para que os projetos de MDL possam entrar no ciclo e serem aprovados para a redução das emissões dos GEE é necessário o estabelecimento de um arranjo institucional, tanto nos países Não-Anexo I quanto nos países Anexo I. Os projetos passam, portanto, por um criterioso processo de análise antes da emissão dos RCEs.

A estrutura institucional do MDL foi estabelecida na COP-7, sendo constituída da Conferência das Partes (COP), do Conselho Executivo do MDL, das Entidades Operacionais Designadas (EOD) e Autoridade Nacional Designada (AND). A função de cada parte do arranjo institucional do MDL está sumarizado na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Arranjo Institucional do MDL

Instituição	Função	Atribuições
COP	Definição de regras do MDL	<ul style="list-style-type: none"> • Definir as regras para as metodologias relacionadas ao MDL; • Receber informações do Conselho Executivo do MDL referentes aos projetos desenvolvidos ou em fase de desenvolvimento; • Receber todas as outras informações relacionadas aos projetos de MDL.
Conselho Executivo	Supervisão internacional do MDL	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovação e aperfeiçoamento de novas metodologias de linha de base, monitoramento e fuga de emissões, bem como desenvolvimento de metodologias para projetos de pequena escala; • Credenciamento das Entidades Operacionais Designadas (EODs); • Registro das atividades de projeto do MDL; • Emissão de RCEs; • Desenvolvimento e operação do Registro do MDL;
Autoridade Nacional Designada - AND (Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima – CIMGC)	Aprovação de atividades de projeto de MDL no país hospedeiro do projeto	<ul style="list-style-type: none"> • Atesta que a participação dos países é voluntária; • Atesta se as atividades de projeto a serem implementadas contribuem e estão em conformidade com o desenvolvimento sustentável adotado pelo País; • No Brasil, aprova ou não os projetos de MDL de acordo com o entendimento de cumprimento das regras do MDL quanto à metodologia de linha de base e potencial de redução de emissões.

Instituição	Função	Atribuições
Entidades Operacionais Designadas - EOD	Auditoria, validação, verificação e certificação de projetos de MDL	<ul style="list-style-type: none"> • Validar atividades de projetos do MDL; • Verificar e certificar as reduções de emissões de GEE ou a redução de CO₂; • Manter lista pública das atividades de projetos de MDL; • Enviar relatório anual ao Conselho Executivo; • Manter informações disponíveis para o público sobre as atividades de projeto de MDL.

Fonte: Adaptado de ROCHA, 2009.

Nos Acordos de Marraqueche foram definidos critérios para que os projetos de MDL fossem analisados como elegíveis, e estes devem passar por uma série de procedimentos e etapas para os proponentes dos projetos demonstrem o cumprimento desses critérios. Esse ciclo é composto por sete etapas e cada uma é explicada abaixo.

1. **Elaboração do Documento de Concepção do Projeto (DCP ou, em inglês, PDD, de *Project Design Document*):** é a primeira etapa do ciclo dado pelos proponentes do projeto de MDL. Neste documento devem conter as principais informações do projeto, como: metodologia de linha de base; cálculo da redução de emissões de GEE; período de obtenção de créditos (7 anos, renováveis por mais dois períodos iguais ou 10 anos, sem possibilidades de renovação); a justificativa da adicionalidade; e o plano de monitoramento, utilizado para a coleta e armazenamento dos dados para o cálculo real da redução de emissões dos GEE;
2. **Validação pela Entidade Operacional Designada (EOD):** esta etapa é realizada por uma entidade independente a fim de verificar se o DCP atende aos critérios estabelecidos pelo Protocolo de Quioto e cumpre os requisitos de enquadramento de projetos de MDL;
1. **Aprovação pela Autoridade Nacional Designada (AND):** uma vez o projeto validado pela EOD ele é encaminhado para análise da AND hospedeiro do projeto, que no Brasil é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), criada em 7 de julho de 1999. A CIMGC é presidida pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, e vice-presidida pelo Ministério do Meio Ambiente, sendo composta também pelos Ministérios das Relações Exteriores, da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, dos Transportes, das Minas e Energia, do Planejamento, Orçamento e Gestão, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e da Casa Civil da

- Presidência da República. A principal função da AND é verificar e atestar que a participação dos países envolvidos é voluntária e que as atividades do projeto de MDL contribuem para o Desenvolvimento Sustentável do país hospedeiro do projeto;
2. **Registro no Conselho Executivo do MDL:** dada a aprovação do projeto pela AND este é submetido ao Conselho Executivo do MDL para que seja analisado e aceito formalmente como um projeto de MDL. É importante ressaltar que a aprovação pela AND é necessária, porém não suficiente para o registro deste no Conselho Executivo;
 3. **Monitoramento:** refere-se à etapa de recolhimento e armazenamento dos dados contidos no Plano de Monitoramento descrito no DCP e aprovado pela EOD, AND e Conselho Executivo, após a implementação do projeto;
 4. **Verificação e certificação pela Entidade Operacional Designada:** é o processo de auditoria periódica realizada por uma entidade independente (EOD) para verificar os cálculos de redução de emissões de GEE através dos resultados do monitoramento, durante o período de crédito a fim de emitir a RCEs;
 5. **Emissão das RCEs pelo Conselho Executivo do MDL:** esta configura-se como a última etapa do ciclo e corresponde à certificação pelo Conselho Executivo da quantidade de RCEs que serão emitidas para cada projeto e que, segundo os relatórios de verificação, estas são reais, mensuráveis e de longo prazo e, portanto, podem dar origem a RCEs.

A figura 3.2 esquematiza as diferentes etapas do ciclo dos projetos de MDL.

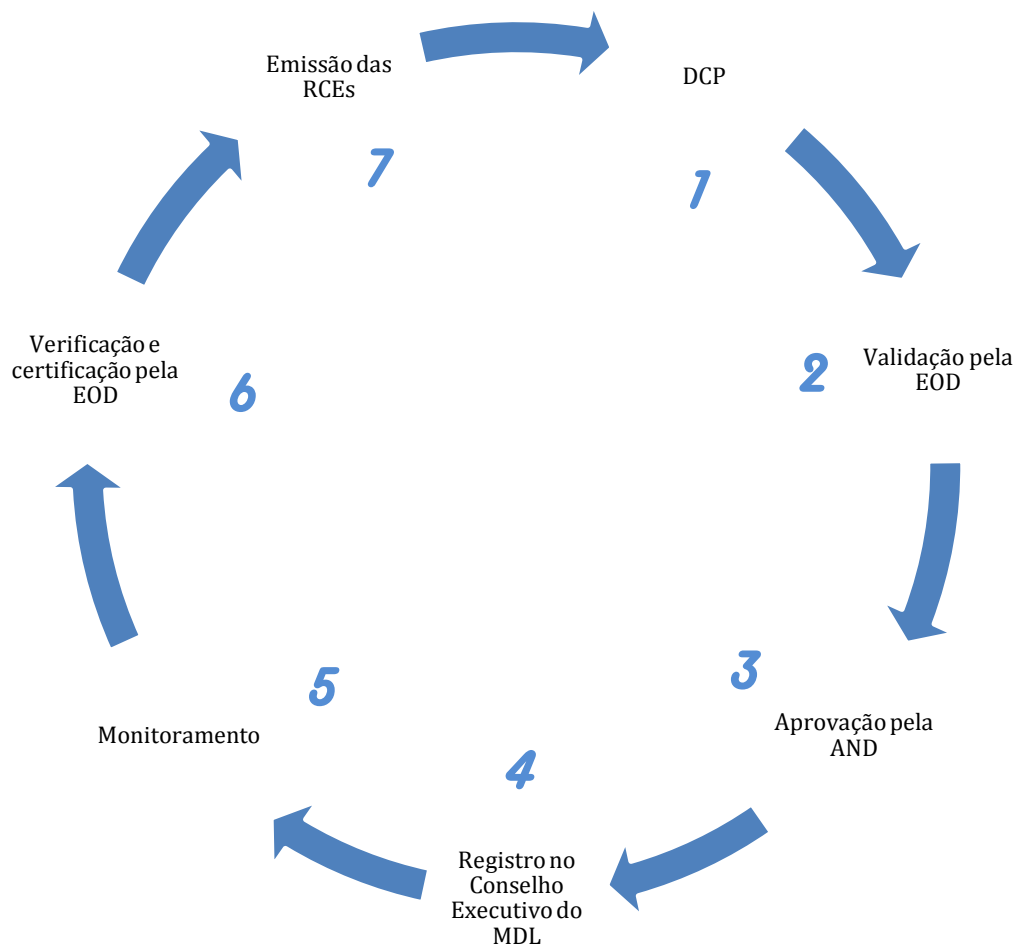


Figura 3.2: Esquema ilustrativo das diferentes etapas do ciclo dos projetos de MDL.

3.6 MDL EM ATERROS SANITÁRIOS

O manejo de RS no Brasil ainda constitui um problema grave de saneamento ambiental, uma vez que, segundo o diagnóstico realizado pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013), cerca de 58,8% dos habitantes brasileiros possuem acesso a um serviço adequado de manejo dos RS, o que corresponde a uma coleta direta na área urbana e/ou direta ou indireta na área rural com frequência diária ou em dias alternados e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos. Cerca de 27,2% da população tem acesso apenas a um serviço precário, no qual o conjunto que dispõe de coleta na área urbana, este se realiza de forma direta ou indireta e com frequência menor que em dias alternados e cuja destinação final dos resíduos seja ambientalmente adequada (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013). E ainda, 14,2% da população brasileira não possui qualquer atendimento ao manejo dos RS, considerados pelo MINISTÉRIO DAS CIDADES (2013) como: “coleta indireta de resíduos sólidos em área urbana; ausência de coleta, com resíduos

queimados ou enterrados, jogados em terreno baldio, logradouro, rio, lago ou mar ou outro destino pela unidade domiciliar”.

No ano de 2004 o Ministério do Meio Ambiente (MMA) elaborou propostas para criar diretrizes que seria aplicada aos resíduos sólidos no país, e assim então promulgar a lei que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), no dia 2 de agosto deste mesmo ano, através da Lei nº 12.305, sendo regulamentada no dia 12 de dezembro de 2010 pelo Decreto nº 7.404/2010.

De acordo com a PNRS, Artigo 54: “A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, observado o disposto no § 1º do art. 9º, deverá ser implantada em até 4 (quatro) anos após a data de publicação desta Lei”. Sendo este prazo esgotado em agosto de 2014 e diversos municípios brasileiros ainda não cumpriram as exigências legais.

Entende-se por destinação ambientalmente adequada, de acordo com a PNRS:

“destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.” (BRASIL, 2010a)

Os processos de disposição final dos RS orgânicos em aterros sanitários geram o biogás, o qual é resultante da decomposição anaeróbica da matéria orgânica presente nestes resíduos. A composição do biogás muitas vezes é difícil de ser definida, pois depende diretamente das características do RS dispostos e do tipo de tratamento anaeróbico que ele sofre (DUARTE, 2006). De forma geral, os principais constituintes do biogás são demonstrados na tabela 3.3.

Tabela 3.3: Principais constituintes do biogás

Gás	Nomenclatura	Porcentagem no biogás (%)
Metano	CH ₄	50-70
Dióxido de Carbono	CO ₂	25 – 50
Hidrogênio	H ₂	0 – 1
Gás sulfídrico	H ₂ S	0 – 3
Oxigênio	O ₂	0 – 2
Amoníaco	NH ₃	0 – 1
Nitrogênio	N ₂	0 - 7

Fonte: Adaptado de DUARTE (2006).

Como observado na tabela 3.3, um dos principais componentes do biogás é o metano, um importante GEE, que é caracterizado como um significativo poluente atmosférico, com consequências diretas sobre a saúde humana e danos ao ecossistema (CETESB, 2015). O metano possui alta capacidade de retenção de calor atmosférico, o seu GWP é de cerca de 25 vezes maior que o do dióxido de carbono, e o seu poder calorífico é de aproximadamente 5800 kcal/m³, o que o torna também uma opção de fonte energética podendo ser captado e armazenado para geração de energia elétrica (IPCC, 2014).

Por outro lado, não existe na PNRS e nem mesmo nas normativas vigentes para a construção de aterros sanitários (NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos), exigências para a queima ou aproveitamento energético do biogás gerado durante o processo de decomposição da matéria orgânica depositada no aterro sanitário. Conforme previsto na seção 5.2.5 da NBR 8419: “devem ser apresentados os parâmetros e fórmulas utilizadas para o dimensionamento dos elementos integrantes do sistema de drenagem de gás.” Portanto, a norma brasileira, apenas exige a apresentação do dimensionamento do sistema de coleta de biogás, mas não propõe alternativas para o descarte desses gases, que não seja a emissão direta para atmosfera.

Entretanto, a PNRS contempla entre seus objetivos o incentivo ao desenvolvimento, aprimoramento e utilização e tecnologias mais limpas que sejam viáveis econômica e ambientalmente, para mitigar e minimizar os impactos negativos gerados pelas diversas formas de tratamento e disposição final dos RS (BRASIL, 2010a).

Neste sentido, o processo de licenciamento ambiental dos empreendimentos de disposição final de RS, muitas vezes, exige como uma das condicionantes para a obtenção da licença de operação que o aterro sanitário queime, pelo menos, 20% do biogás gerado como processo de segurança de parte, para que não ocorram explosões.

Dessa forma, os projetos de MDL nos aterros sanitários funcionam como uma promoção à mitigação de impactos ambientais negativos ao meio ambiente, impulsionados pela possibilidade de promover o desenvolvimento sustentável a partir da obtenção de créditos de carbono que poderão ser comercializados nos países Anexo I.

Dentro dessa abordagem, o Ministério do Meio Ambiente juntamente com o Ministério das Cidades desenvolveram, em 2004, o projeto intitulado; “Projeto para Aplicação do Mecanismo de Desenvolvimento do Limpo (MDL), na Redução de Emissões em Aterros de Resíduos Sólidos”, financiado pelo Banco Mundial por meio do fundo PHRD

(*Policy and Human Resources Development Fund*) que opera com recursos do Governo Japonês (MMA, 2014). De acordo com o MMA (2014),

“O projeto capacitou, em 2007 e 2008, cerca de 400 agentes locais e técnicos das prefeituras para elaboração de Planos de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos e aplicação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL em projetos de captação e tratamento de gases gerados em locais de destinação final de resíduos.” (MMA, 2014).

O Plano Nacional sobre Mudanças Climáticas, elaborado a partir do decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007, trata sobre a questão das vantagens socioambientais e econômicas decorrentes do aproveitamento energético dos RS e definiu metas para que houvesse a recuperação do metano em instalações de tratamento de RSU e a ampliação dos programas de reciclagem de RS para 20% até o ano de 2015.

Finalmente, a recuperação energética do biogás gerado através dos processos anaeróbicos foi bastante impulsionado com a crise do petróleo da década de 70, momento em que diversos países buscaram alternativas para a substituição dos combustíveis fósseis, a fim de manter a segurança energética da matriz nacional. No entanto, o incentivo recebido nesse período de crise não foi suficiente para constituir um sólido movimento de substituição ou complementação dos recursos energéticos não renováveis por fontes renováveis e por esse motivo, tanto a utilização do biogás como fonte energética quanto de outras alternativas para geração de energia ainda estão bastante incipientes no cenário brasileiro.

CAPÍTULO 4 METODOLOGIA

4.1 ABORDAGEM

Consoante aos objetivos propostos neste trabalho, a pesquisa esteve baseada em três abordagens. Na primeira, foi realizado um levantamento e sistematização da literatura necessária ao fornecimento do arcabouço teórico que deu subsídio aos conhecimentos imprescindíveis à realização das outras fases.

Em um segundo momento, foi realizada a consolidação dos dados acerca do estado da arte do aproveitamento energético dos RSU no Brasil, assim como, dos projetos de MDL implementados. Esta fase da pesquisa esteve baseada em dados secundários, obtidos de banco de dados indexados, através de consulta a órgãos oficiais nacionais e internacionais, informações publicadas pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CMIGC) brasileiro e dos projetos brasileiros cujos certificados de redução de emissões – CER (RCEs – sigla em inglês) foram emitidos pela *United Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).

Na terceira fase foi realizado um estudo de caso, a fim de averiguar os procedimentos propostos pelo aterro sanitário de Itaboraí para a implementação das atividades de projeto de MDL, a fim de requerer os RCEs. Da mesma maneira, realizou-se o levantamento de dados que possibilitaram a avaliação de desempenho ambiental do projeto de MDL do aterro em questão.

Quanto à caracterização dessa pesquisa, a mesma classifica-se como sendo empírica de cunho qualitativo descritivo, tipo exploratória, através de um estudo de caso, de abordagem direta, com método de levantamento através de pesquisa documental e apoiada em dados secundários. A mesma está, portanto, baseada nos métodos indutivo e dedutivo (GUERRA e GUERRA, 1997), os quais deram suporte a consolidação do referencial teórico e análise dos dados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho.

Considerando a abrangência temática, atividades do projeto são desenvolvidas no eixo: variável ambiental.

4.2 ESTRATÉGIAS DE COLETA DE DADOS

Foi realizado um levantamento bibliográfico e documental constando informações pertinentes ao gerenciamento dos RSU em nível nacional, mais especificamente nos aterros sanitários. Analisou-se a adesão dos aterros sanitários aos projetos de MDL até o ano de 2015, através de consulta ao *site* oficial da CIMGC e UNFCCC, no qual constam todos os projetos com RCEs emitidos ou em fase de análise.

4.2.1 Obtenção do panorama do aproveitamento energético de resíduos sólidos no âmbito do MDL no Brasil.

Para a realização desta fase da pesquisa, foram consultados os Documentos de Concepção dos Projetos (DCP) disponibilizados no site oficial do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), bem como, a contraparte disponível no site da UNFCCC. A busca foi realizada no período de agosto de 2014 a fevereiro de 2015.

Para tanto, os projetos foram consultados segundo seu *status* de análise pela Autoridade Nacional Designada (AND), que no Brasil corresponde à CIMGC, e pelo Conselho Executivo do MDL o qual é representado pelo UNFCCC. Na esfera nacional, os projetos são classificados em: “submetidos”, “aprovados”, “aprovados com ressalva” e “em revisão”. Os projetos considerados “submetidos” são aqueles em que todos os documentos referentes as suas atividades estejam em conformidade com as exigências das resoluções da CIMGC, após verificação pela Secretaria Executiva. Enquanto os projetos considerados como “aprovados com ressalva” são aqueles em que suas atividades são consideradas adequadas para a contribuição para o desenvolvimento sustentável, porém foram identificados erros de edição e/ou quaisquer incongruências consideradas de menor relevância pelos membros da Comissão. Já os projetos classificados como “em revisão” caracterizam-se por necessitar de maiores esclarecimentos quanto à contribuição das suas atividades para a promoção do desenvolvimento sustentável, bem como, apresentem erros de edição e/ou quaisquer incongruências consideradas relevantes pelos membros da Comissão (DUARTE, 2006).

Na esfera internacional os documentos relativos aos projetos que entraram no ciclo do MDL foram extraídos do site oficial da UNFCCC. Uma vez enviados ao Conselho Executivo, os projetos podem encontrar-se em uma de suas fases, a saber: “pedido para o registro das atividades de projeto”; “atividades de projeto registradas”; “projetos em revisão”, “rejeitados”; “retirados”, “validação”; “monitoramento” e “certificação”. Os projetos com o

status “pedido para o registro das atividades de projeto” correspondem às atividades de projeto que estão sob a análise do Conselho Executivo sobre o deferimento da sua solicitação de registro. As “atividades de projetos registradas” são aqueles que foram registrados no Comitê Executivo do MDL e, portanto, estão na fase inicial do ciclo. Os “projetos em revisão” correspondem às atividades de projetos de MDL para os quais o Conselho Executivo decidiu proceder a uma revisão, através da determinação do seu escopo e seleção da equipe de revisão. Já os projetos “retirados” são aqueles que após análise do Conselho Executivo não foram aceitos por falta de elegibilidade. Os projetos “retirados” são aqueles que foram retirados pelo proponente. Os projetos em “validação” correspondem àqueles que estão sob validação por uma entidade independente (EOD), com base em seu DCP. Os projetos em “monitoramento” são aqueles em que seus dados estão sendo coletados e analisados segundo o Plano de Monitoramento contido e aprovado no seu DCP, para calcular as emissões reduzidas de GEE. Já a “certificação” é a etapa final do ciclo do MDL e corresponde à consideração pelo Conselho Executivo de que todas as etapas foram cumpridas e que as reduções das emissões de GEE decorrentes das atividades de projeto são reais, mensuráveis e de longo prazo e, portanto, podem dar origem a RCEs.

Na avaliação dos DCPs foram averiguadas e inventariadas as seguintes informações:

- Descrição do projeto;
- Localidade;
- Data de início da atividade de projeto;
- Vida útil operacional esperada da atividade de projeto;
- Quantidade estimada de reduções de emissão de GEE;
- Potência nominal prevista;
- Energia Elétrica Gerada durante a atividade de projeto (se aplicado);

Para o tratamento e análise dos dados, estes foram agrupados em tabelas e gráficos, utilizando-se ferramentas estatísticas básicas, como médias e porcentagens, para a comparação dos resultados.

4.2.2 Análise de Desempenho Ambiental do Aterro Sanitário de Itaboraí – Estudo de Caso.

Para o estudo de caso foram utilizados o DCP e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Aterro Sanitário de Itaboraí, para a obtenção das informações necessárias para a análise de desempenho ambiental das atividades de projeto de MDL deste aterro em questão. O DCP foi obtido no site do CIMGC, enquanto o RIMA obtido no site do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), bem como dados enviados diretamente pelo gestor da ESTRE Ambiental através de contato via correio eletrônico e telefônico.

Para a análise do desempenho ambiental do aterro sanitário de Itaboraí, utilizou-se a ferramenta Computacional para Análise do Ciclo de Vida denominada SimaPro 7.2 (*PRé Consultants*), e o método de avaliação de impacto selecionado da biblioteca do programa foi o ReCiPe 2008. Para a avaliação de desempenho ambiental, apesar de ter sido utilizado um software para Análise do Ciclo de Vida, esta etapa não foi realizada, uma vez que o escopo e a fronteira do sistema foram comparar somente os impactos dos processos de emissões de GEE do cenário base dos projetos de MDL, com o cenário alternativo relacionado à redução de emissões de GEE e geração de eletricidade a partir das atividades do projeto. Portanto, a caracterização do estudo e a avaliação de desempenho ambiental foram realizados segundo os seguintes parâmetros:

Objetivo: comparar os cenários de emissões de GEE relativos à implementação dos projetos de MDL nos aterros sanitários brasileiros, com o cenário base no qual não ocorreria a implementação desses projetos.

Unidade Funcional (UF): a definição da UF é importante, pois permite comparar processos diferentes a partir de uma mesma unidade de referência, a partir do qual os dados de entrada e saída são relacionados (ABNT, 2009). Dessa forma, a unidade funcional para realizar a comparação dos processos foi a emissão de 1 tonelada de CO₂ equivalente (1 tCO₂eq).

Fronteira do Sistema: A fronteira do sistema é um conjunto de critérios que determinam quais processos elementares estão inclusos na sua avaliação (ABNT, 2009). Dessa maneira, neste estudo foi analisado somente as emissões de GEE e geração de eletricidade para a rede de distribuição do projeto de MDL do aterro sanitário de Itaboraí ou utilização da eletricidade da rede de distribuição, quando na ausência do projeto. Não foram considerados, portanto, quaisquer outras entradas e saídas, como por exemplo, infraestrutura

física do aterro, materiais que o compõe, outros tipos de emissões, transporte do resíduo, dentre outros. A figura 4.1 esquematiza a fronteira do sistema para o estudo em questão.

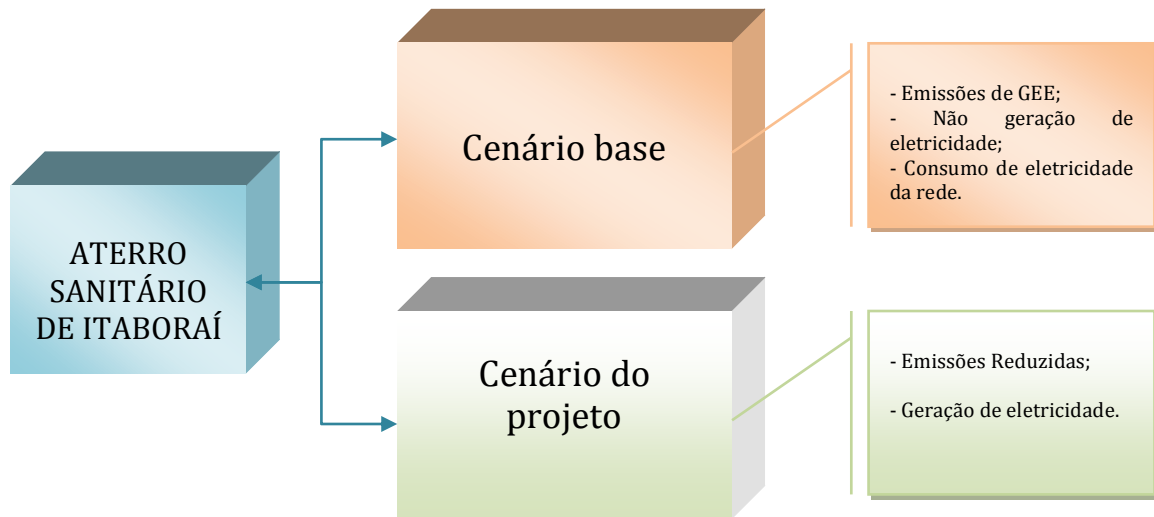


Figura 4.1: Fronteira do Sistema para o estudo de caso no aterro sanitário de Itaboraí.

Metodologia utilizada e Avaliação de Impactos: Para a escolha da metodologia utilizada foram consideradas as categorias de impacto, indicadores das categorias e modelos de caracterização das diversas metodologias propostas pelo software. Essas metodologias, em geral, auxiliam na transformação dos dados de entrada e saída em um número de indicadores de impactos ambientais, facilitando a interpretação dos resultados, como por exemplo, mudanças climáticas, depleção de recursos, eutrofização, dentre outros (BONTON et al, 2012).

As categorias de impacto referem-se à classes representativas das questões ambientais que foram inventariadas durante o levantamento dos dados e que estão associadas aos indicadores de categoria e aos pontos finais de categoria. Os indicadores de categoria são uma representação mensurável de uma categoria de impacto e os “resultados dos indicadores de uma categoria de impacto é a soma das contribuições de todas as substâncias que fazem parte dessa categoria” (NAVARRO, 2006 apud TOURINHO, 2014). Já os pontos finais de categoria correspondem ao agrupamento dessas diversas categorias de impacto em um aspecto ambiental mais abrangente e merecedor de atenção, como por exemplo, a saúde humana, aspecto do ambiente natural ou dos recursos (ABNT, 2009; GOEDKOOOP et al, 2010

apud TOURINHO, 2014). A figura 4.2 demonstra esquematicamente a relação existente entre as categorias de impacto, os indicadores de categoria e os pontos finais de categoria.

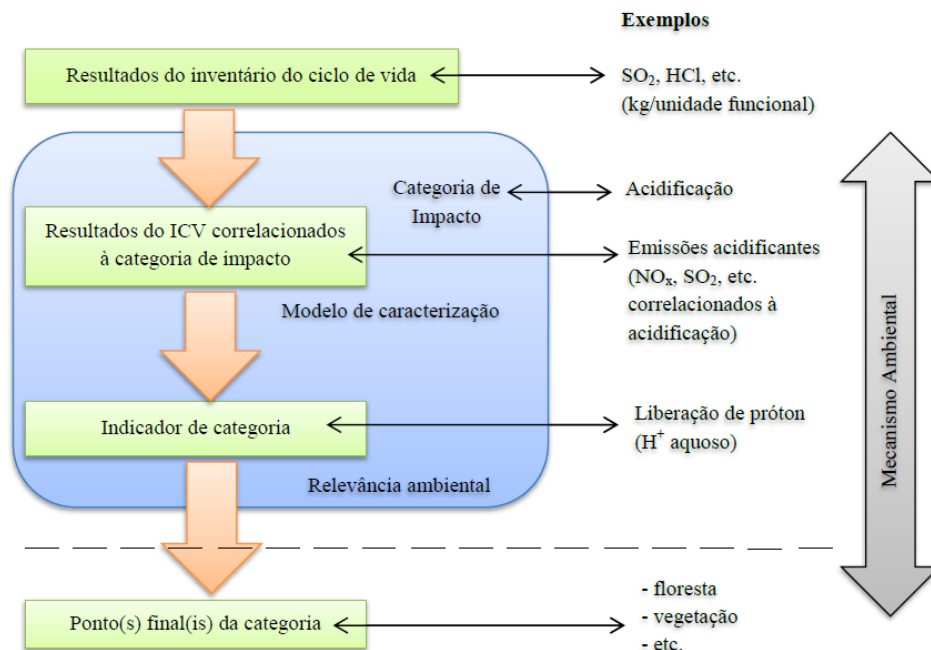


Figura 4.2: Relação existente entre as categorias de impacto, os indicadores de categoria e os pontos finais de categoria. (Fonte: TOURINHO, 2014)

A metodologia utilizada neste trabalho, o método ReCiPe 2008, apresenta dois grupos de categorias de impacto, as quais são denominadas de categorias intermediárias e as categorias finais. As categorias intermediárias são compostas por 18 categorias de impacto, as quais são denominadas, neste método, de *Midpoints* (TOURINHO, 2014) e que estão associadas, cada uma, a um indicador de categoria. Por fim, as categorias intermediárias são agrupadas em três pontos finais de categorias, as quais são denominadas de *Endpoints*. A figura 4.3 representa a relação existente entre as categorias apresentadas pelo método ReCiPe 2008.

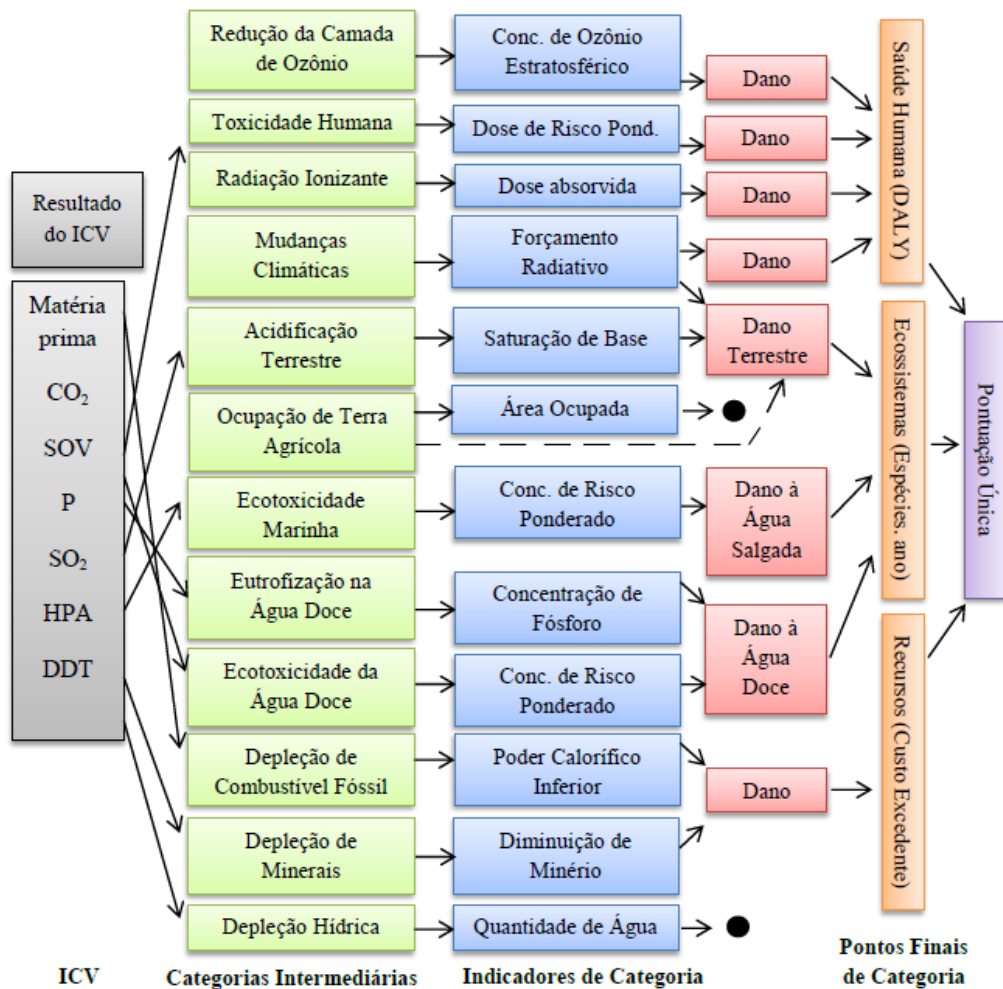


Figura 4.3: relação entre os parâmetros do inventário, categorias intermediárias, indicadores de categoria e pontos finais de categoria, no método ReCiPe 2008. (Fonte: TOURINHO, 2014).

Dessa forma, as categorias intermediárias (*Midpoints*) são as que seguem:

1. Mudanças Climáticas (MC);
2. Redução da Camada de Ozônio (RCO);
3. Acidificação Terrestre (AT);
4. Eutrofização na Água Doce (EAD);
5. Eutrofização Marinha (EM);
6. Toxicidade Humana (TH);
7. Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF);
8. Formação de Material Particulado (FMP);
9. Ecotoxicidade Terrestre (ETT);
10. Ecotoxicidade da Água Doce (ETD);

11. Ecotoxicidade Marinha (ETM);
12. Radiação Ionizante (RI);
13. Ocupação de Terra Agrícola (OTA);
14. Ocupação de Solo Urbano (OSU);
15. Transformação de Área Natural (TAN);
16. Depleção Hídrica (DH);
17. Depleção de Recursos Minerais (DRM); e
18. Depleção de Combustíveis Fósseis (DCF).

E os pontos finais de categoria (*Endpoints*), constituem:

1. Danos à saúde humana (SH);
2. Danos à diversidade do ecossistema (DE); e
3. Danos à disponibilidade de recursos (DR).

A tabela 4.1 demonstra as categorias intermediárias e seus respectivos indicadores de categorias selecionados para a confecção do método ReCiPe 2008 e a tabela 4.2 demonstra os fatores de caracterização das categorias intermediárias de impacto.

Tabela 4.1: Categorias intermediárias e seus respectivos indicadores de categoria.

Categoria intermediária		Indicador de categoria	
Nome	Abrev.	Nome	Unidade*
Mudanças Climáticas	MC	Forçamento radiativo infravermelho	W×ano/m ²
Redução da Camada de Ozônio	RCO	Concentração de ozônio estratosférico	pp [‡] ×ano
Acidificação Terrestre	AT	Saturação de base	ano×m ²
Eutrofização na Água Doce	EAD	Concentração de fósforo	ano×kg/m ³
Eutrofização Marinha	EM	Concentração de nitrogênio	ano×kg/m ³
Toxicidade Humana	TH	Dose de risco ponderado	–
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	FOF	Concentração de ozônio fotoquímico	kg
Formação de Material Particulado	FMP	Inalação de PM ₁₀	kg
Ecotoxicidade Terrestre	ETT	Concentração de risco ponderado	m ² ×ano
Ecotoxicidade da Água Doce	ETD	Concentração de risco ponderado	m ² ×ano
Ecotoxicidade Marinha	ETM	Concentração de risco ponderado	m ² ×ano
Radiação Ionizante	RI	Dose absorvida	homem×Sv
Ocupação de Terra Agrícola	OTA	Ocupação	m ² ×ano
Ocupação de Solo Urbano	OSU	Ocupação	m ² ×ano
Transformação de Área Natural	TAN	Transformação	m ²
Depleção Hídrica	DH	Quantidade de água	m ³
Depleção de Recursos Minerais	DRM	Diminuição de minério	kg ⁻¹
Depleção de Combustíveis Fósseis	DCF	Poder calorífico inferior	MJ

* A unidade do indicador apresentada é a unidade do fenômeno químico ou físico modelado. No método ReCiPe 2008 estes resultados são representados relativos a uma intervenção de referência em um estudo de ACV concreto. ‡ A unidade pp[‡] se refere a unidades de cloro equivalente.

Fonte: TOURINHO, 2014.

Tabela 4.2: Fatores de caracterização das categorias intermediárias de impacto.

Categoria intermediária		Fator de caracterização
Abrev.	Unidade*	Nome
MC	kg (CO ₂ para o ar)	Potencial de aquecimento global
RCO	kg (CFC-11 para o ar)	Potencial de depleção da camada de ozônio
AT	kg (SO ₂ para o ar)	Potencial de acidificação terrestre
EAD	kg (P para a água doce)	Potencial de eutrofização na água doce
EM	kg (N para a água doce)	Potencial de eutrofização marinha
TH	kg (14DCB ^ε para o ar urbano)	Potencial de toxicidade humana
FOF	kg (NMVOC para o ar)	Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos
FMP	kg (PM ₁₀ para o ar)	Potencial de formação de material particulado
ETT	kg (14DCB para o solo industrial)	Potencial de ecotoxicidade terrestre
ETD	kg (14DCB para a água doce)	Potencial de ecotoxicidade da água doce
ETM	kg (14DCB para a água salgada)	Potencial de ecotoxicidade marinha
RI	kg (U ²³⁵ para o ar)	Potencial de radiação ionizante
OTA	m ² ×ano (terra agrícola)	Potencial de ocupação de terra agrícola
OSU	m ² ×ano (solo urbano)	Potencial de ocupação de solo urbano
TAN	m ² (área natural)	Potencial de transformação de área natural
DH	m ³ (água)	Potencial de depleção hídrica
DRM	kg (Fe)	Potencial de depleção de recursos minerais
DCF	kg (óleo ^ξ)	Potencial de depleção de combustíveis fósseis

* A unidade da categoria intermediária aqui é a unidade do resultado do indicador, assim representado relativo a uma intervenção de referência em um estudo concreto de ACV. ^ε14DCB: 1,4-Diclorobenzeno. ^ξ A extração de referência precisa é “oil, crude, feedstock, 42 MJ per kg, in ground” (petróleo bruto, matéria-prima, 42 MJ por kg, no solo “tradução do autor”).

Fonte: TOURINHO, 2014.

Para os pontos finais de categoria, o método ReCiPe utiliza os indicadores e fatores de caracterização apresentados na tabela 4.3.

Tabela 4.3: Pontos finais de categoria, indicadores e fatores de caracterização.

Pontos finais de Categoria		Indicador	
Nome	Abrev.	Nome	Unidade
Danos à saúde humana	SH	Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade (DALY)	ano
Danos à diversidade do ecossistema	DE	Perda de espécies durante um ano (species.yr)	ano
Danos à disponibilidade de recursos	DR	Aumento do custo	\$

Fonte: TOURINHO, 2014.

O método ReCiPe 2008 utiliza diferentes cenários para agrupar os dados da modelagem, devido ao conhecimento incompleto do mecanismo ambiental envolvido nas categorias de impacto. Dessa forma, as diferentes fontes de incerteza foram agrupadas em três cenários preditivos: individualista (I); o hierárquico (H); e o igualitário (E). O cenário “I” é o mais otimista e caracteriza-se por agrupar impactos que são incontestáveis, considera um otimismo tecnológico em matéria de adaptação humana e ainda os interesses são de curto-

prazo. Já o cenário “H”, utiliza os princípios comuns que caracterizam prazos e outras questões relevantes. E o cenário “E” é o mais conservador dos três cenários, pois considera as incertezas relativas aos impactos que ainda não foram totalmente estabelecidos, mas que já possuem indicadores e ainda relativiza os danos a longo-prazo (GOEDKOOOP et al, 2013).

Os resultados serão apresentados através de diferentes elementos, a saber:

- **Caracterização:** é o resultado da conversão dos dados do inventário em unidades comuns, a fim de permitir a comparação, e o agrupamento dessas conversões dentro de uma mesma categoria de impacto. Por exemplo, para a categoria de impacto “Mudanças Climáticas” podem ser inventariados diferentes gases, como CO₂, CH₄ e N₂O e estes, por sua vez, são convertidos em CO₂-equivalente, que nesta categoria representa a unidade comum do indicador de categoria (NAVARRO, 2006).
- **Normalização:** calcula a magnitude dos dados e resultados dos indicadores de categoria em relação a valores de referência. A normalização tem o objetivo de permitir a comparação entre diferentes categorias que possuem valores em unidades distintas convertendo-os em valores adimensionais ou para uma mesma unidade. Assim, como afirma Tourinho (2014): “é possível avaliar qual atributo se destaca dentro de uma alternativa e qual alternativa é a melhor, observando-se todos os atributos.” Desta forma, a normalização evidencia aquelas categorias que merecem mais atenção daquelas que contribuem pouco para a geração de impactos.
- **Ponderação:** refere-se à multiplicação dos resultados normalizados das categorias intermediárias por valores numéricos, os quais atribuem pesos às diferentes categorias. Neste caso, obtém-se um perfil ambiental ponderado e quando todas as categorias de impacto são somadas resultam em um índice ambiental global. Os pesos atribuídos as categorias podem variar de acordo com a importância relativa que cada região geopolítica atribua, ou mesmo à abrangência do estudo em questão (global, regional ou local);

A tabela 4.4 demonstra os valores de referência de normalização e ponderação para os pontos finais de categoria. E a tabela 4.5 os valores de normalização para as diferentes categorias intermediárias.

Tabela 4.4: Valores de referência de normalização e ponderação para os pontos finais de categoria.

Pontos finais de categoria	Normalização	Ponderação
Danos à saúde humana	42,2	300
Danos à diversidade do ecossistema	433	500
Danos à disponibilidade de recursos	4,56E-05	200

Fonte: TOURINHO, 2014

Tabela 4.5: Valores de referência de normalização para as categorias intermediárias.

Categorias intermediárias	Valores de Normalização
MC	0,000182
RCO	26,8
TH	0,00102
FOF	0,0202
FMP	0,0716
RI	0,000766
AT	0,0239
EAD	7,93
EM	0,111
ETT	0,0253
ETD	0,123
ETM	0,00052
OTA	0,000186
OSU	0,0013
TAN	0,0837
DH	0
DRM	0,00226
DCF	0,000733

Fonte: elaboração própria a partir dos dados do software SimaPro.

Portanto, neste estudo foi utilizado, para as etapas de classificação e caracterização o método “ReCiPe Midpoint (E) versão 1.04/World ReCiPe E/E” e para as análises da avaliação de dano, normalização, ponderação e pontuação única foi utilizado o método de “ReCiPe Endpoint (E) / World ReCiPe E/E”. “O conjunto de normalização/ponderação "World R eCiPe E/E" se refere aos valores de normalização mundiais com o grupo de ponderações pertencendo ao cenário igualitário” (TOURINHO, 2014).

CAPÍTULO 5 ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE ATERRO SANITÁRIO NO ÂMBITO DO MDL NO BRASIL

Este capítulo aborda a situação atual dos projetos de MDL dos aterros sanitários brasileiros, tanto no Conselho Executivo do MDL quanto na Autoridade Nacional Designada, que no Brasil é representada pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), quanto à contribuição destes para a redução de emissões de GEE. Adicionalmente, realizou-se uma análise do aporte dos projetos de MDL de aterros sanitários com aproveitamento energético do biogás para a matriz elétrica brasileira.

5.1 SITUAÇÃO ATUAL DOS PROJETOS NO CONSELHO EXECUTIVO DO MDL

Para a realização desta parte da pesquisa, primeiramente, foi realizado um levantamento estatístico dos dados publicados pelo Conselho Executivo do MDL no site da UNFCCC, a fim de analisar a quantidade de projetos registrados no âmbito do MDL. Uma atividade de projeto inicia o ciclo no MDL uma vez que o documento referente ao DCP é submetida à AND do país de origem. Após passar pela aprovação no país, o projeto é enviado para análise do Conselho Executivo, o qual passa por um processo de validação, aprovação e registro. Neste sentido, foi possível identificar um total de 7.956 projetos no mundo que estão em algum ciclo do projeto MDL no Conselho Executivo. Desse total, 7.597 (95%) projetos encontram-se registrados e os restantes 359 (5%) projetos encontram-se em alguma outra fase do ciclo do MDL (Figura 5.1). Destes 359 projetos, 25 estão em fase de requerimento de registro, 271 foram rejeitados e 63 foram retirados do ciclo de MDL.

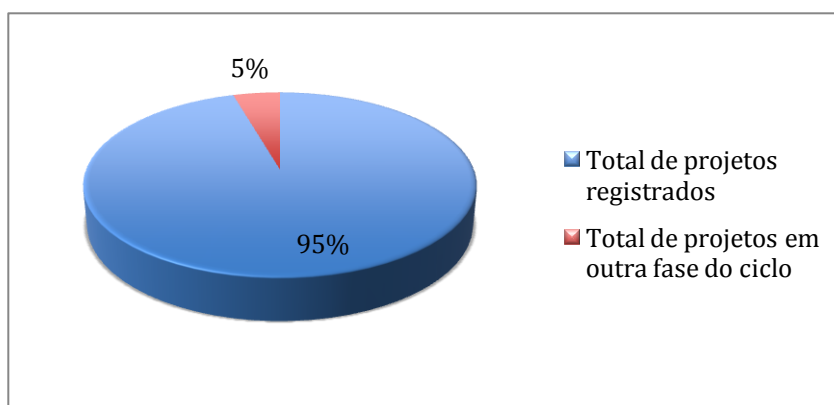


Figura 5.1: Quantidade de Projetos em alguma fase do ciclo do MDL publicados no site do Conselho Executivo do MDL.

Em relação aos projetos brasileiros enviados ao Conselho Executivo, foram identificados um total de 373 projetos, o que corresponde a cerca de 5% do total de projetos mundiais submetidos. Dos projetos brasileiros enviados ao Conselho Executivo, 333 projetos estão registrados e os 40 restantes estão em alguma outra fase do ciclo, o que equivale a um total de 4,4% dos projetos mundiais registrados no Conselho Executivo (Tabela 5.1) e a quase 90% dos projetos brasileiros totais submetidos (Tabela 5.2).

Tabela 5.1: Participação do Brasil nos projetos de MDL mundiais.

	Projetos enviados ao Conselho Executivo		Projetos registrados no Conselho Executivo	
	Número	Percentual (%)	Número	Percentual (%)
Total Mundial	7956	100	7597	100
Total Brasil	373	5	333	4,4

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5.2: Número e percentual de projetos brasileiros enviados e registrados no Conselho Executivo.

Projetos brasileiros enviados e registrados no Conselho Executivo		
	Número	Percentual (%)
Total de projetos brasileiros enviados	373	100
Total de projetos brasileiros registrados	333	90

Fonte: Elaboração própria

O UNFCCC classifica os projetos de acordo com seu escopo setorial que são divididas em 15 categorias, a saber: (1) Indústria Energética (fontes renováveis e não renováveis); (2) Distribuição de Energia; (3) Demanda de Energia; (4) Indústria de Manufatura; (5) Indústria Química; (6) Construção; (7) Transporte; (8) Produção de minérios/mineração; (9) Produção de metais; (10) Emissões Fugitivas de Combustíveis fósseis; (11) Emissões Fugitivas de Produção e Consumo de halocarbonetos e hexafluoreto de enxofre; (12) Uso de Solvente; (13) Gerenciamento e Disposição de resíduos; (14) Arborização e Reflorestamento; (15) Agricultura. Vale ressaltar que um projeto pode ser classificado em mais de um escopo setorial, de acordo com o seu programa de atividades, sendo assim, o somatório total do número de projetos de cada categoria não reflete, necessariamente, a quantidade total de projetos presente no Conselho Executivo.

Os projetos de MDL de aterros sanitários no Brasil estão classificados no escopo setorial “Gerenciamento e disposição final de resíduos”, o qual apresenta um total de 952 projetos, sendo 112 brasileiros, o que corresponde a 11,76%. Aqueles projetos de MDL de aterro sanitário que possuem atividades de aproveitamento energético do biogás também podem estar classificados no escopo “Indústria Energética (fontes renováveis e não renováveis)”, o qual apresenta um total de 6667 projetos cadastrados, sendo 241 projetos brasileiros, o que corresponde a 3,61% do total de projetos submetidos (Tabela 5.3).

Tabela 5.3: Quantidade de projetos registrados no Conselho Executivo por escopo setorial.

Escopo	Total (número de projetos)	Brasil (número de projetos)
Indústria Energética (fontes renováveis e não renováveis)	6667	241
Distribuição de Energia	8	0
Demanda de Energia	124	8
Indústria de Manufatura	453	14
Indústria Química	118	7
Construção	0	0
Transporte	33	0
Produção de minérios/mineração	90	0
Produção de metais	16	5
Emissões Fugitivas de Combustíveis fósseis	236	16
Emissões Fugitivas de Produção e Consumo de halocarbonetos e hexafluoreto de enxofre	30	1
Uso de Solvente	0	0
Gerenciamento e Disposição de resíduos	952	112
Arborização e Reflorestamento	55	3
Agricultura	219	54

Fonte: Elaboração própria.

O escopo setorial “Gerenciamento e Disposição final de resíduos” reúne projetos relativos ao aproveitamento do biogás de aterros sanitários, de tratamento de efluentes de águas residuais, agricultura e criação de animais. Do total de projetos brasileiros registrados nesta categoria (112 projetos), 65 projetos são relativos ao aproveitamento de biogás de aterro sanitário, o que corresponde a cerca de 58% (Tabela 5.4).

Tabela 5.4: Quantidade de projetos registrados de aterro sanitário no Brasil no Conselho Executivo no escopo setorial “Gerenciamento e Disposição final de resíduos”.

Projetos brasileiros registrados no Conselho Executivo		
	Número	Percentual (%)
Total de projetos brasileiros registrados no escopo setorial “Gerenciamento e Disposição final de resíduos”	112	100
Total de projetos brasileiros de aterros sanitários registrados	65	58

Fonte: Elaboração própria.

Em relação aos projetos brasileiros registrados no Conselho Executivo, o que corresponde a 333 projetos, 65 deles (19,5%) são referentes à atividades de projeto de aproveitamento do biogás de aterro sanitário (Tabela 5.5).

Tabela 5.5: Quantidade de projetos brasileiros totais e de aterro sanitário registrados no Conselho Executivo.

Projetos brasileiros registrados no Conselho Executivo		
	Número	Percentual (%)
Total de projetos brasileiros registrados	333	100
Total de projetos brasileiros de aterros sanitários registrados	65	19,5

Fonte: Elaboração própria.

Foi realizado um inventário dos projetos disponíveis no site oficial do Conselho Executivo, a fim de verificar o status de cada um deles em relação ao ciclo do MDL, o qual pode ser visualizado na Tabela 5.6. Foi elaborada uma tabela elencando todos os aterros sanitários cujo DCP das atividades do MDL encontrava-se disponível no site da UNFCCC e, destes, foram identificados exatos 57 projetos de aterros sanitários registrados e 4 projetos em validação, até a data da verificação (Tabela 5.6). Na Tabela 5.6 também pode ser observado o status de cada atividade de projeto na AND brasileira, na qual identifica-se que as 48 atividades de projeto registradas no Conselho Executivo estão aprovadas na AND, justamente pelo fato da aprovação pela AND ser um pré-requisito para que o projeto possa requerer seu registro no Conselho Executivo. Dois projetos foram retirados do Conselho Executivo e 6 encontrava-se em validação. Entretanto, não foi possível identificar o status dos quatro

projetos em validação no Conselho Executivo no site oficial da AND, por estes não apresentarem documentação disponibilizada neste veículo. De todos os projetos aprovados na CIMGC, 6 deles não foi possível identificar o status que se encontram no Conselho Executivo, pois os documentos referentes às essas atividades não estavam disponíveis no site oficial da UNFCCC. Estes projetos estão sinalizados na tabela com o símbolo “--”.

Dos projetos aprovados ou validados no Conselho Executivo, todos encontravam-se aprovados no CIMGC, com exceção de 4 atividades de projeto que não foi possível encontrar informações no site oficial do CIMGC, a saber: Projeto de Gás do Aterro de Marília/Arauna; Projeto de Gás do Aterro CPTR – Puxinanã; Projeto de Gás do Aterro Laguna e; Projeto de Gás do Aterro CTR-PE e LongiCarbon.

Tabela 5.6: Inventário das Atividades de Projeto de Aterro sanitário submetidas ao CIMGC e à UNFCCC.

Nº do Projeto	Aterro Sanitário	Localidade	Status	
			CIMGC	UNFCCC
0001/2004	Projeto NovaGerar - Projeto de Energia a partir de Gases de Aterro Sanitário	Nova Iguaçu, RJ	Aprovado	Registrado
0002/2004	Projeto Vega Bahia - Projeto de Gás de Aterro de Salvador da Bahia	Salvador,BA	Aprovado	Registrado
0004/2004	Projeto de Energia de Gases de Aterro Sanitário da Empresa MARCA	Cariacica,ES	Aprovado	Registrado
0005/2005	Projeto de Conversão de Gás de Aterro em Energia no Aterro Lara – Mauá – Brasil	Mauá,SP	Aprovado	Registrado
0006/2005	Projeto ONYX de Recuperação de Gás de Aterro Tremembé - Brasil	Tremembé,SP	Aprovado	Registrado
0010/2005	Projeto de Recuperação de Gás de Aterro ESTRE - Paulínia (PROGAE)	Paulínia,SP	Aprovado	Registrado
0011/2005	Projeto de Redução de Emissões de Biogás, Caieiras - Brasil	Caieiras,SP	Aprovado	Registrado
0013/2005	Projeto Bandeirantes de Gás de Aterro e Geração de Energia em São Paulo, Brasil	São Paulo,SP	Aprovado	Registrado
0016/2005	Projeto de Gás do Aterro Sanitário Anaconda	Santa Isabel,SP	Aprovado	Registrado
0021/2005	Projeto São João de Gás de Aterro e Geração de Energia no Brasil	São Paulo,SP	Aprovado	Registrado
0076/2006	Projeto de Gás de Aterro Sanitário Canabrava - Salvador-BA, Brasil	Salvador,BA	Aprovado	Registrado
0080/2006	Projeto de Gás do Aterro Sanitário do Aurá	Belém,PA	Aprovado	Registrado
0089/2006	Projeto de Gás do Aterro de Bragança - EMBRALIXO/ARAÚNA	Bragança Paulista,SP	Aprovado	Registrado
0093/2006	Projeto de Gás de Aterro SIL (PROGAS)	Minas do Leão, RS	Aprovado	Registrado
0109/2006	Projeto de captura de gás de aterro sanitário	Itaquaquecetuba,	Aprovado	Registrado

Nº do Projeto	Aterro Sanitário	Localidade	Status	
	Alto-Tietê	SP		
0114/2006	Projeto de Gás de Aterro Terrestre Ambiental (PROGATA)	Santos, SP	Aprovado	Registrado
0115/2006	Projeto de Gás de Aterro ESTRE Itapevi - (PROGAEI)	Itapevi, SP	Aprovado	Registrado
0116/2006	Projeto de Gás de Aterro Quitaúna (PROGAQ)	Guarulhos,SP	Aprovado	Registrado
0138/2006	Projeto de Gás de Aterro CDR Pedreira (PROGAEP)	São Paulo,SP	Aprovado	Registrado
0158/2007	Atividade de projeto de redução de emissão de gás de aterro no Aterro Sanitário SANTECH Resíduos	Içara,SC	Aprovado	Registrado
0162/2007	Projeto Probiogás – JP	João Pessoa,PB	Aprovado	Registrado
0180/2007	Projeto de Captura e Queima de Gás de Aterro Sanitário de Tijuquinhas da Proactiva	Tijuquinhas,SC	Aprovado	Registrado
0182/2007	URBAM/ARAUNA – Projeto de Gás de Aterro Sanitário (UAPGAS)	São José dos Campos,SP	Aprovado	Registrado
0198/2007	Projeto de redução de emissão do aterro CTRVV	Vila Velha,ES	Aprovado	Registrado
0202/2007	Projeto de gás de aterro sanitário de Feira de Santana	Feira de Santana,BA	Aprovado	Registrado
0234/2009	Projeto de Gás de Aterro TECIPAR – PROGAT	Santana de Parnaíba,SP	Aprovado	Registrado
0242/2009	Projeto de Captação e Combustão de Biogás no Aterro Sanitário – CTRS / BR.040	Belo Horizonte,MG	Aprovado	Registrado
0258/2009	Projeto de Captura do Gás de Aterro de Natal	Ceará-Mirim,RN	Aprovado	Retirado
0287/2010	Projeto de Biogás de Aterro Sanitário de Corpus/Araúna	Indaiatuba,SP	Aprovado	Validação
0288/2010	Projeto de Captura de Gás de Aterro de Manaus	Manaus,AM	Aprovado	Registrado
0291/2010	Projeto Itaoca de Gás de Aterro	São Gonçalo, RJ	Aprovado	Registrado
0295/2011	Projeto de Gás de Aterro CTR Candeias	Jaboatão dos Guararapes,PE	Aprovado	Registrado
0298/2011	Projeto de Gás de Aterro CGR Guataparará	Guataparará,SP	Aprovado	Registrado
0302/2011	Projeto de Gás de Aterro CTL	São Paulo,SP	Aprovado	Registrado
0358/2012	Projeto de Gás de Aterro Uberlândia I e II	Uberlândia, MG	Aprovado	Registrado
360/2012	Projeto de Gás de Aterro para Energia em Natal	Natal, RN	Aprovado	Registrado
0363/2012	Projeto de MDL ENGEPE & BEGREEN no Aterro UTGR - Jambeiro	Jambeiro,SP	Aprovado	Registrado
0376/2012	Projeto de biogás para energia Controeste	Onda Verde, SP	Aprovado	--
0385/2012	Projeto de Gás do Aterro CGR Catanduva	Catanduva,SP	Aprovado	Registrado
0388/2012	Projeto de Gás de Aterro CTR Rosário	Rosário, MA	Aprovado	Registrado
0390/2012	Projeto da CGA Iperó para Gás de Aterro e Geração de Energia da Proactiva	Iperó, SP	Aprovado	Registrado
0396/2012	Projeto de Gás de Aterro CPTR Marituba	Marituba,PA	Aprovado	Registrado
0397/2012	Projeto de Gás de Aterro da ITVR São Leopoldo	São Leopoldo, RS	Aprovado	Registrado

Nº do Projeto	Aterro Sanitário	Localidade	Status	
0398/2012	Projeto de Aterro da CTR da Caturrita	Santa Maria, RS	Aprovado	Registrado
0399/2012	Projeto de Gás de Aterro Rio Grande	Rio Grande, RS	Aprovado	Registrado
0402/2012	Projeto de Gás de Aterro CTDR Bob Ambiental	Belford Roxo, RJ	Aprovado	Registrado
0406/2012	Projeto de Gás de Aterro do CTR Feira de Santana	Feira de Santana, BA	Aprovado	--
0407/2012	Projeto de Gás de Aterro ESTRE Piratininga	Piratininga, SP	Aprovado	Registrado
0408/2012	Projeto de Gás de Aterro ESTRE Itaboraí	Itaboraí, RJ	Aprovado	Validação
0409/2012	Projeto de Aterro CTR Maceió	Maceió, AL	Aprovado	Registrado
0410/2012	Projeto de Aterro ESTRE Aracaju	Rosário do Catete, SE	Aprovado	--
0411/2012	Projeto de Aterro ESTRE Iguaçu	Fazenda Rio Grande, PR	Aprovado	--
0412/2012	Projeto de Aterro CTR Teresina	Teresina, PI	Aprovado	--
0428/2012	Projeto Gramacho de Gás de Aterro	Duque de Caxias, RJ	Aprovado	Registrado
0431/2012	Projeto de Gás do Aterro Macaúbas	Sabará, MG	Aprovado	Registrado
0440/2012	Projeto do Aterro Sanitário Canhanduba	Itajaí, SC	Aprovado	Registrado
0445/2013	Projeto Biogás de Franca/Araúna	Franca, SP	Aprovado	--
--	Projeto de Gás do Aterro de Marília/Arauna	Marília, SP	--	Validação
--	Projeto de Gás do Aterro CPTR - Puxinanã	Puxinanã, PB	--	Validação
--	Projeto de Gás do Aterro Laguna	Laguna, SC	--	Validação
--	Projeto de Gás do Aterro CTR-PE e LongiCarbon	Recife, PE	--	Validação

Fonte: Elaboração própria

5.2 SITUAÇÃO ATUAL DOS PROJETOS NA AUTORIDADE NACIONAL DESIGNADA BRASILEIRA

Para que as atividades de projetos de MDL possam solicitar registro junto ao Conselho Executivo é necessário que a AND emita a Carta de Aprovação, a qual é um requisito obrigatório para realizar tal requerimento junto à UNFCCC. Para a deliberação desses pleitos, o colegiado da CIMGC reúne-se em caráter ordinário bimestralmente, conforme o calendário aprovado no ano anterior durante a última reunião realizada.

Do mesmo modo que foi realizado um inventário do quantitativo de projetos registrados no Conselho Executivo do MDL no site oficial da UNFCCC, também realizou-se um levantamento dessas informações no site oficial da AND brasileira. Inicialmente, constatou-se que o número de projetos submetidos à CMIGC até 31 de fevereiro de 2015 era

de 426 projetos, nenhum projeto encontrava-se em análise pela Secretaria Executiva da CIMGC e 39 projetos estavam cancelados (Tabela 5.7).

Tabela 5.7: Atividades de Projetos MDL na CIMGC.

Situação	Nº de Projetos
Atividades de Projetos MDL submetidos à Comissão Interministerial no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	427
Atividades de Projetos MDL recebidos pela Secretaria Executiva da Comissão Interministerial	0
Atividades de Projetos MDL Canceladas	39

Fonte: Elaboração própria.

Das atividades de projetos submetidas à CMIGC, 425 encontravam-se aprovados, 2 atividades de projetos aprovadas com ressalvas e nenhuma em revisão ou submetidas (Tabela 5.8).

Tabela 5.8: Atividades de Projetos MDL submetidos à Comissão Interministerial no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Status	Número de projetos
Atividades de Projetos Aprovados	425
Atividades de Projetos Aprovados com Ressalvas	2
Atividades de Projetos MDL em Revisão	0
Atividades de Projetos MDL Submetidos	0

Fonte: Elaboração própria

Com relação aos projetos de MDL cancelados pela CIMGC, dos 39 projetos totais identificados, 5 atividades de projeto são referentes à aterros sanitários (Tabela 5.9), correspondendo a cerca de 12,8% do total.

Tabela 5.9: Atividades de Projeto de MDL de aterro sanitário Canceladas no CIMGC.

Nº Projeto	Projeto	Situação
105/2006	Projeto de Gás de Aterro Sanitário de Manaus	Projeto não registrado na UNFCCC, resubmetido como 288/2010
231/2008	Projeto Gramacho de Gás de Aterro	Projeto não registrado na UNFCCC, resubmetido como 428/2012
283/2010	Projeto de Gás de Aterro Marília / Araúna	Não Submetido
387/2012	Projeto de Gás de Aterro Macaúbas	Submissão Cancelada
400/2012	Projeto de gás de aterro CPTR Puxinanã	Submissão Cancelada

Fonte: Elaboração própria.

O CIMGC classifica os projetos submetidos à Secretaria Executiva em 7 categorias de escopo setorial, a saber: Eficiência Energética, Emissões Fugitivas, Energia Renovável, Manejo de Dejetos, Processos Industriais, Resíduos, Substituição de combustíveis fósseis. Os projetos de MDL referentes a aterros sanitários encontram-se classificados no escopo setorial “resíduos” correspondendo a 57 (13,35%) projetos de captura e queima ou aproveitamento energético do biogás.

Dentre os projetos de MDL de aterros sanitários, podemos encontrar aqueles que utilizam somente a queima do metano em queimadores (*flares*) e aqueles que realizam o aproveitamento energético oriundo dessa queima. No levantamento realizado, foi possível identificar que no Brasil, de todos os projetos de MDL de aterros sanitários submetidos à CIMGC, somente cerca de 13% dessas atividades realizam o aproveitamento energético da queima do metano, todos os outros 87% apenas o queimam e o transformam em CO₂ (Figura 5.2).

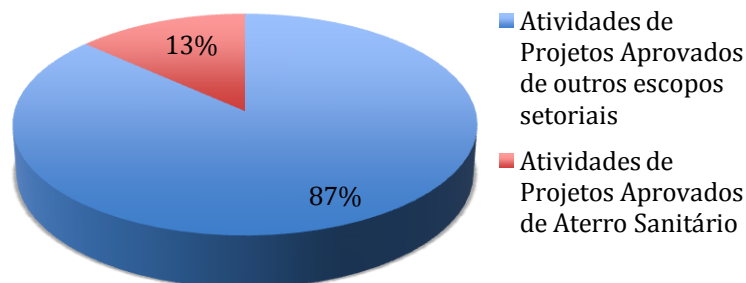


Figura 5.2: Quantidade de Projetos aprovados na Autoridade Nacional Designada brasileira.

5.2.1 Análise do Documento de Concepção de Projeto dos aterros sanitários com atividades de projeto aprovada na AND brasileira e Conselho Executivo.

Todos os DCPs dos Aterros sanitários brasileiros que possuem atividades de projeto de MDL aprovadas no CIMGC e registradas ou validadas no Conselho Executivo foram analisados quanto aos seguintes quesitos:

- Status no CIMGC e UNFCCC;
- Localidade;
- Potência Nominal (em caso de projetos com aproveitamento energético);
- Início e fim do projeto;
- A energia líquida gerada durante a atividade do projeto no primeiro período de crédito;
- Quantidade estimada da média anual das reduções de emissões de GEE.

Apesar dos DCPs de MDL serem concebidos através de um modelo disponibilizado pelo próprio Conselho Executivo, o teor das informações e a maneira como estas são apresentadas ao longo do documento dificultam bastante sua análise, uma vez que este não fornece dados estruturados. Um dos principais fatores que levam a essa discrepância na apresentação das informações é justamente o fato de existirem diversas organizações que prestam consultorias às empresas para a confecção do DCP de MDL e cada uma delas organiza os dados de uma forma distinta. A tabela 5.10 apresenta as informações inventariadas dos DCPs dos aterros sanitários analisados.

A potência nominal, em MW, refere-se à capacidade instalada da central elétrica do projeto nos aterros sanitários com aproveitamento energético do biogás gerado. Essa informação está diretamente relacionada com a quantidade e potência dos grupos geradores instalados. Em diversos projetos analisados foi possível observar que a capacidade instalada de geração aumenta progressivamente ao longo da vida útil do projeto, iniciando-se, muitas vezes, com poucos grupos geradores até alcançar a potência nominal declarada no DCP. Em diversos casos, essa informação está explícita ao longo do DCP, porém, em muitos outros, não. Desse modo, foi considerada sempre a potência nominal máxima alcançada ao longo da vida útil do projeto, naqueles em que esta informação estava claramente disponível; e foi assumida como verdadeira a premissa de que naqueles projetos em que esta informação não estava claramente disponível no DCP, a potência nominal declarada referenciava-se àquela capacidade instalada de geração máxima atingida pelo projeto ao longo da sua vida útil.

Como observado na tabela 5.10, a potência nominal varia bastante nos projetos analisados, partindo de 2,8 MW no Projeto de Gás de Aterro Uberlândia I e II a até 40 MW no Projeto Vega Bahia - Projeto de Gás de Aterro de Salvador da Bahia. Os demais projetos de aterros sanitários em que a informação sobre a potência nominal encontra-se com o valor “zero” previam somente a captura e queima do biogás, não realizando, portanto, o aproveitamento energético do mesmo. Dessa forma, o somatório da potência nominal prevista pelos projetos de MDL de aterros sanitários com aproveitamento energético do biogás correspondem a cerca de 285,5 MW, os quais contribuem para a expansão e complementaridade da matriz elétrica brasileira. Atualmente, essa potência nominal corresponde a cerca de 0,23% da matriz elétrica brasileira.

O início e fim do projeto referem-se ao período declarado no DCP quanto ao início da atividade de aproveitamento energético no aterro sanitário analisado. Este, em muitos casos, está atrelado ao período de crédito de carbono requerido e suas renovações, o que corresponde um período de crédito a 7 anos, podendo ser renovado por mais 2 períodos de crédito, totalizando 21 anos; ou a um período sem renovação de 10 anos. Os aterros sanitários que possuem suas atividades de captura e/ou aproveitamento do biogás atrelados aos períodos possíveis de crédito de carbono correspondem a 50,82% do total de aterros analisados. Em outros casos, a empresa gestora do aterro sanitário se compromete a manter as atividades até o término da concessão, não estando o período de atividades do projeto atrelado aos possíveis períodos de obtenção de créditos de carbono e suas renovações. A totalidade de projetos de captura e/ou aproveitamento do biogás, cujas atividades não estão necessariamente atreladas aos possíveis períodos de obtenção de crédito corresponde a 49,18% dos projetos de aterro sanitário analisados.

A energia gerada, medida em MWh, corresponde àquela declarada no DCP durante o período de crédito, resultante da atividade dos geradores instalados na estação de energia elétrica para aproveitamento do biogás do aterro, e obviamente, esta informação constou somente nos projetos de aproveitamento energético do biogás. Essa informação está diretamente relacionada à quantidade e eficiência dos grupos geradores instalados, a vazão e quantidade de metano produzida no aterro diariamente, bem como, do número de horas que os geradores funcionam.

Todos os aterros analisados realizaram a projeção da energia gerada durante um período de crédito (7 anos), ou seja, o quantitativo de energia gerada na tabela 5.10, por aterro sanitário, corresponde ao somatório da energia anual estimada para cada projeto nos primeiros

7 anos. O motivo pelo qual elegeu-se a forma de apresentação do quantitativo de energia gerada dos projetos de aproveitamento do biogás em um horizonte de 7 anos e não anualmente foi definida pelo fato de alguns projetos apresentarem o valor total da estimativa de geração de eletricidade ao longo de um período completo de crédito, ou seja, não especificar quanto de energia seria gerada por ano. Em outros casos, apesar do projeto apresentar em seu DCP o quantitativo de energia gerada anualmente, este valor geralmente não era constante, pois o número de geradores instalados poderia variar ao longo do primeiro período de crédito, até alcançar a potência nominal máxima declarada no projeto; mesmo nestes casos, convencionou-se utilizar o somatório da energia gerada ao longo de um período de crédito.

Os aterros sanitários “Projeto NovaGerar - Projeto de Energia a partir de Gases de Aterro Sanitário”, “Projeto Vega Bahia - Projeto de Gás de Aterro de Salvador da Bahia”, “Projeto de Energia de Gases de Aterro Sanitário da Empresa MARCA”, “Projeto de Conversão de Gás de Aterro em Energia no Aterro Lara – Mauá – Brasil”, apresentaram em seu DCP o quantitativo total da energia gerada estimada durante toda a vida útil do projeto, ou seja, 21 anos para os aterros NovaGerar, MARCA e Lara; e 16 anos para o aterro Vega Bahia. Nestes casos, para que os valores fossem comparáveis aos dos outros aterros sanitários convencionou-se apresentá-los em um período igualmente de 7 anos, bastando para isso calcular a energia média anual e multiplicá-la por 7 anos.

Alguns projetos, apesar de preverem a instalação de grupos geradores para o aproveitamento energético do gás de aterro, não realizaram a estimativa de geração de eletricidade durante as atividades do projeto. Os projetos em que não houveram estimativas da geração de energia elétrica foram: “Projeto Bandeirantes de Gás de Aterro e Geração de Energia em São Paulo, Brasil”, “Projeto de Gás de Aterro CTR Candeias”, “Projeto de biogás para energia Controeste”, “Projeto da CGA Iperó para Gás de Aterro e Geração de Energia da Proactiva”. Os demais projetos de aterros sanitários em que a informação da geração de eletricidade encontram-se com o valor “zero” previam somente a captura e queima do biogás, não realizando, portanto, o aproveitamento energético do mesmo.

Dessa forma, o somatório da quantidade total disponibilizada de energia gerada estimada durante um período de crédito correspondem a cerca de 7.485.639 MWh que os projetos de MDL de aterro sanitário com aproveitamento energético poderiam contribuir para a matriz elétrica brasileira, uma vez que os projetos prevêm a inserção da energia gerada para a rede.

As emissões reduzidas correspondem ao quantitativo de carbono equivalente que foram evitados de serem lançadas na atmosfera devido à implantação do projeto. Esse valor será convertido em créditos de carbono e poderá ser comercializado no mercado de créditos. Os projetos de MDL de aterro sanitário analisados contribuem com cerca de 13.191.505 tCO₂eq evitados anualmente de serem lançados na atmosfera.

Tabela 5.10: Inventário dos projetos de MDL de aterro sanitário do Brasil.

Aterro Sanitário	Pot.Nominal (MW)	Início (ano)	Fim (ano)	Anos do projeto	Energia gerada (MWh/7anos)	Emissões reduzidas (tCO ₂ eq/ano)
Projeto NovaGerar - Projeto de Energia a partir de Gases de Aterro Sanitário	12,0	2004	2025	21	218.000	670.133
Projeto Vega Bahia - Projeto de Gás de Aterro de Salvador da Bahia	40,0	2004	2020	16	1.185.187	664.674
Projeto de Energia de Gases de Aterro Sanitário da Empresa MARCA	11,0	2004	2025	21	405.005	231.405
Projeto de Conversão de Gás de Aterro em Energia no Aterro Lara – Mauá – Brasil	10,0	2004	2025	21	360.036	751.148
Projeto ONYX de Recuperação de Gás de Aterro Tremembé - Brasil	0,0	2002	2012	10	0	70.063
Projeto de Recuperação de Gás de Aterro ESTRE - Paulínia (PROGAE)	0,0	2006	2013	7	0	212.558
Projeto de Redução de Emissões de Biogás, Caieiras - Brasil	0,0	2005	2025	20	0	770.932
Projeto Bandeirantes de Gás de Aterro e Geração de Energia em São Paulo, Brasil	22,0	2003	2024	21	0	1.070.649
Projeto de Gás do Aterro Sanitário Anaconda	0,0	2006	2027	21	0	120.423
Projeto São João de Gás de Aterro e Geração de Energia no Brasil	0,0	2006	2027	21	0	816.940
Projeto de Gás de Aterro Sanitário Canabrava - Salvador-BA, Brasil	0,0	2007	2017	10	0	202.867
Projeto de Gás do Aterro Sanitário do Aurá	0,0	2007	2017	10	0	320.151
Projeto de Gás do Aterro de Bragança - EMBRALIXO/ARAÚNA	0,0	2006	2027	21	0	66.399
Projeto de Gás de Aterro SIL (PROGAS)	0,0	2007	2028	21	0	107.881
Projeto de captura de gás de aterro sanitário Alto-Tietê	0,0	2008	2029	21	0	480.595
Projeto de Gás de Aterro Terrestre Ambiental (PROGATA)	0,0	2007	2028	21	0	100.222
Projeto de Gás de Aterro ESTRE Itapevi - (PROGAEI)	0,0	2007	2028	21	0	90.575
Projeto de Gás de Aterro Quitaúna (PROGAQ)	0,0	2007	2028	21	0	95.030
Projeto de Gás de Aterro CDR Pedreira (PROGAEP)	0,0	2007	2028	21	0	186.315
Atividade de projeto de redução de emissão de gás de aterro no Aterro Sanitário SANTECH Resíduos	0,0	2006	2027	21	0	39.478
Projeto Probiogás – JP	0,0	2007	2014	7	0	211.150
Projeto de Captura e Queima de Gás de Aterro Sanitário de Tijuquinhas da Proactiva	0,0	2006	2027	21	0	131.194
URBAM/ARAUNA – Projeto de Gás de Aterro Sanitário (UAPGAS)	0,0	2007	2028	21	0	116.909

Aterro Sanitário	Pot.Nominal (MW)	Início (ano)	Fim (ano)	Anos do projeto	Energia gerada (MWh/7anos)	Emissões reduzidas (tCO ₂ eq/ano)
Projeto de redução de emissão do aterro CTRVV	0,0	2007	2028	21	0	94.454
Projeto de gás de aterro sanitário de Feira de Santana	0,0	2006	2027	21	0	42.572
Projeto de Gás de Aterro TECIPAR – PROGAT	6,5	2008	2029	21	271.034	35.992
Projeto de Captação e Combustão de Biogás no Aterro Sanitário – CTRS / BR.040	0,0	2009	2019	10	0	134.160
Projeto de Captura do Gás de Aterro de Natal	4,2	2012	2022	10	303.000	161.335
Projeto de Biogás de Aterro Sanitário de Corpus/Araúna	0,0	2010	2024	14	0	48.448
Projeto de Captura de Gás de Aterro de Manaus	19,2	2008	2033	25	473.890	1.031.574
Projeto Itaoca de Gás de Aterro	0,0	2010	2029	19	0	25.887
Projeto de Gás de Aterro CTR Candeias	8,5	2011	2031	20	0	155.112
Projeto de Gás de Aterro CGR Guatapar	5,5	2011	2036	25	237.277	211.924
Projeto de Gás de Aterro CTL	19,2	2011	2036	25	808.497	737.221
Projeto de Gás de Aterro Uberlândia I e II	2,8	2011	2032	21	118.816	99.124
Projeto de Gás de Aterro para Energia em Natal	4,2	2012	2028	16	303.000	161.335
Projeto de MDL ENGEP & BEGREEN no Aterro UTGR - Jambeiro	0,0	2013	2034	21	0	106.154
Projeto de biogás para energia Controeste	7,2	2012	2032	20	0	156.203
Projeto de Gás do Aterro CGR Catanduva	4,5	2012	2032	20	65.616	70.210
Projeto de Gás de Aterro CTR Rosário	5,7	2013	2038	25	82.862	63.981
Projeto da CGA Iperó para Gás de Aterro e Gerao de Energia da Proactiva	8,6	2013	2034	21	0	114.937
Projeto de Gás de Aterro CPTR Marituba	0,0	2013	2038	25	0	110.633
Projeto de Gás de Aterro da ITVR São Leopoldo	0,0	2013	2038	25	0	33.141
Projeto de Aterro da CTR da Caturrita	0,0	2013	2038	25	0	31.957
Projeto de Gás de Aterro Rio Grande	0,0	2013	2038	25	0	11.436
Projeto de Gás de Aterro CTDR Bob Ambiental	0,0	2013	2038	25	0	77.851
Projeto de Gás de Aterro do CTR Feira de Santana	7,5	2013	2038	25	189.392	42.572
Projeto de Gás de Aterro ESTRE Piratininga	6,0	2013	2038	25	107.047	68.899
Projeto de Gás de Aterro ESTRE Itaboraí	27,0	2013	2038	25	741.179	376.330
Projeto de Aterro CTR Maceió	10,5	2013	2038	25	226.447	116.336
Projeto de Aterro ESTRE Aracajú	4,5	2013	2038	25	82.862	69.116
Projeto de Aterro ESTRE Iguaçu	10,5	2013	2038	25	255.266	127.292
Projeto de Aterro CTR Teresina	4,5	2013	2038	25	74.109	45.516
Projeto Gramacho de Gás de Aterro	0,0	2008	2023	15	0	313.751
Projeto de Gás do Aterro Macaúbas	12,8	2013	2038	25	679.277	377.528
Projeto do Aterro Sanitário Canhanduba	0,0	2014	2034	20	0	78.269
Projeto Biogás de Franca/Araúna	0,0	2013	2033	20	0	37.972
Projeto de Gás do Aterro de Marilia/Arauna	0,0	2008	2038	30	0	32.775
Projeto de Gás do Aterro CPTR - Puxinana	0,0	2013	2038	25	0	19.579
Projeto de Gás do Aterro Laguna	0,0	2009	2030	21	0	22.441

Aterro Sanitário	Pot.Nominal (MW)	Início (ano)	Fim (ano)	Anos do projeto	Energia gerada (MWh/7anos)	Emissões reduzidas (tCO ₂ eq/ano)
Projeto de Gás do Aterro CTR-PE e LongiCarbon	11,2	2011	2036	25	297.840	219.797
TOTAL	285,5				7.485.639	13.191.505

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos dados inventariados foi possível analisar o quantitativo de projetos de MDL de aterro sanitário que prevêem somente a captura e queima do biogás e aqueles em que há a previsão do aproveitamento energético do mesmo no Brasil. Na figura 5.3 pode-se observar que 64% dos projetos de aterro sanitário analisados realizam somente a captura e queima do biogás, enquanto os outros 36% prevêem o aproveitamento energético desse biogás (Figura 5.3).

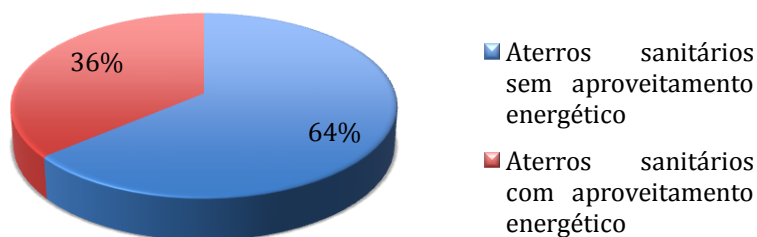


Figura 5.3: Percentual de projetos de aterro sanitário analisados com e sem aproveitamento energético do biogás.

A figura 5.4 demonstra o número de projetos de MDL de aterro sanitário por estado brasileiro. Pode-se observar que o estado em que apresenta maior número de projetos de MDL de aterro sanitário é São Paulo, com 25 projetos aprovados, sendo 16 deles somente para captura e queima do biogás e 9 com aproveitamento energético. Em segundo lugar encontra-se o Rio de Janeiro, com apenas 5 projetos de MDL de aterro sanitário aprovados, sendo 3 deles somente para captura e queima do biogás e 2 com aproveitamento energético. Rio Grande do Sul e Santa Catarina apresentam 4 projetos de MDL de aterro sanitário somente com captura e queima do biogás. Enquanto a Bahia também apresenta 4 projetos de

MDL de aterro sanitário, porém 2 deles com captura e queima do biogás e 2 com aproveitamento energético. Minas Gerais apresenta 3 projetos de MDL de aterros sanitário, sendo 2 com aproveitamento energético do biogás e 1 com captura e queima do mesmo. Os estados de Espírito Santo, Pará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte apresentam cada um deles 2 projetos de MDL de aterro sanitário aprovados, sendo o Espírito Santo com 1 projeto com aproveitamento energético do biogás; Pará e Paraíba com 2 projetos sem aproveitamento energético do biogás e; Rio Grande do Norte e Pernambuco com 2 projetos com aproveitamento energético do biogás. Os estados do Alagoas, Maranhão, Piauí, Sergipe, Amazonas e Paraná todos apresentam 1 projeto de MDL de aterro sanitário aprovado para captura e queima do biogás. Os demais estados brasileiros não possuem projeto de MDL de aterro sanitário aprovado no CIMGC, cujos documentos de concepção do projeto estejam disponíveis no sítio oficial da AND brasileira. A figura 5.5 apresenta todos os projetos de MDL de aterro sanitário com captura e queima do biogás distribuídos pelos estados brasileiros e a figura 5.6 apresenta todos aqueles projetos analisados com aproveitamento energético também distribuídos pelos estados do Brasil.

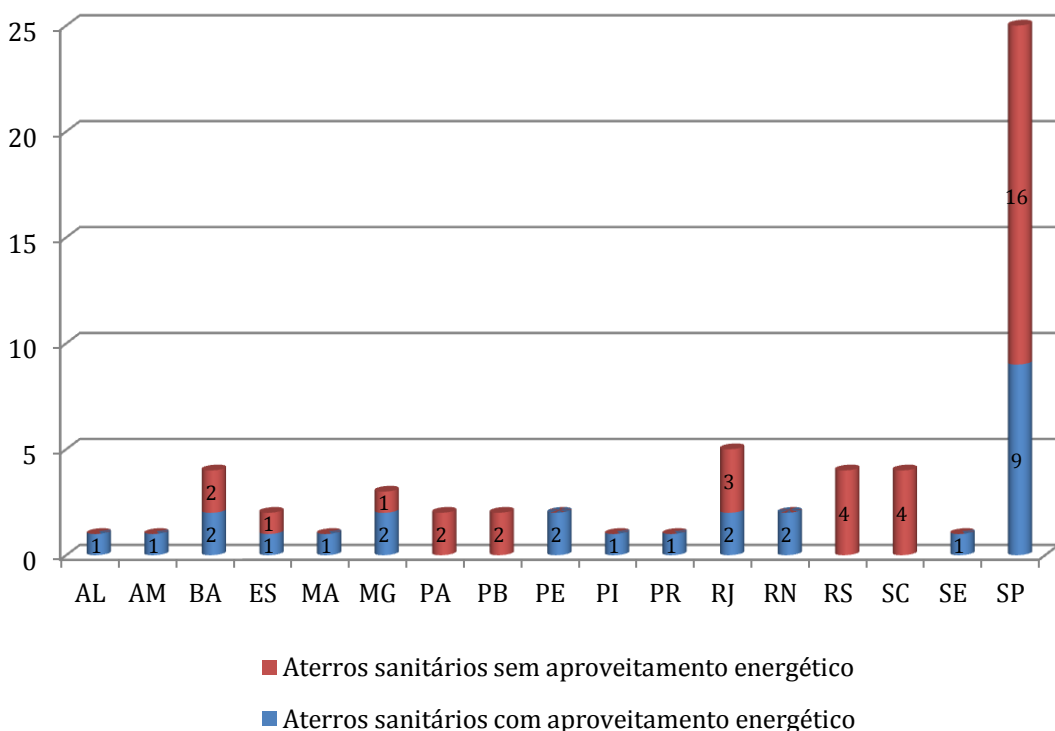


Figura 5.4: Percentual de aterros sanitários com e sem aproveitamento energético por estado brasileiro.



Figura 5.5 – Distribuição dos projetos de MDL de aterro sanitário aprovados no CIMGC com previsão de aproveitamento energético do biogás por estados brasileiros.



Figura 5.6 – Distribuição dos projetos de MDL de aterro sanitário aprovados no CIMGC com captura e queima do biogás por estados brasileiros.

Quando se analisa o quantitativo de projetos de MDL de aterro sanitário com aproveitamento energético do biogás e captura e queima do mesmo, observa-se que o Sudeste lidera em número de projetos, tanto com previsão de aproveitamento energético (21 projetos) quanto somente para captura e queima do biogás (14 projetos), grande parte desses projetos está localizado no estado de São Paulo. Observa-se que o Nordeste é a segunda região brasileira com maior número de projetos de MDL de aterro sanitário, com 10 projetos com aproveitamento energético e 4 projetos apenas com captura e queima do biogás. A região Sul possui 9 projetos de MDL de aterro sanitário, 8 somente com captura e queima do biogás e 1 com aproveitamento energético do mesmo. A região Norte, apresenta 3 projetos de MDL de aterro sanitário, 2 somente com captura e queima do biogás e 1 com aproveitamento energético do mesmo. A região Centro-Oeste não apresenta nenhum projeto de MDL de aterro sanitário aprovado no CIMGC, cujos documentos de concepção do projeto estejam disponíveis no site oficial da AND brasileira (Figura 5.7).

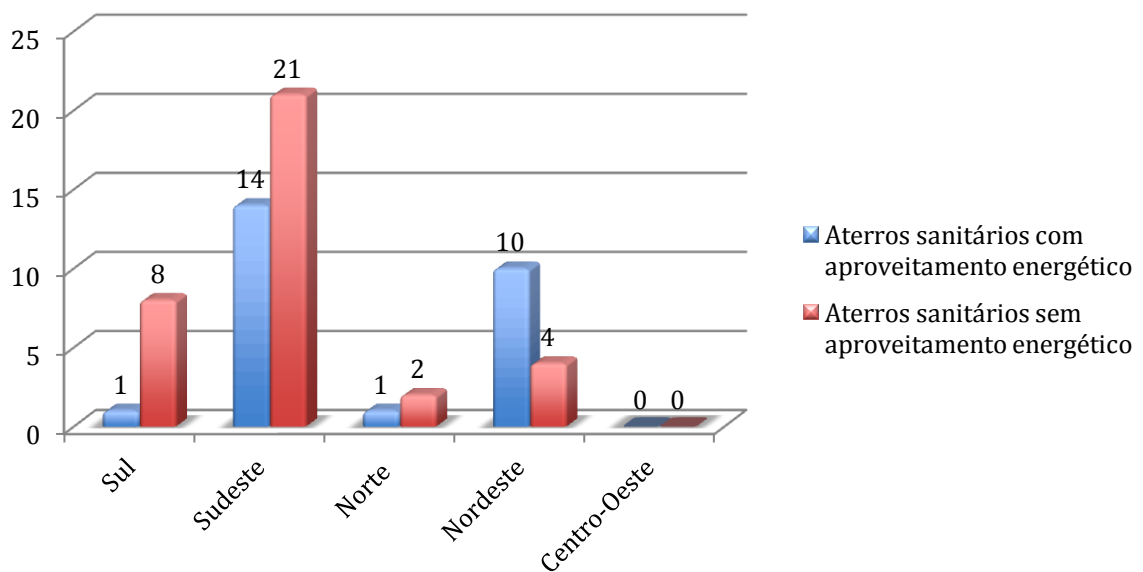


Figura 5.7: Percentual de aterros sanitários com e sem aproveitamento energético por região brasileira.

A análise somente do percentual de projetos de MDL de aterro sanitário que prevêm o aproveitamento energético do biogás revela que a região Sudeste, com 54%, continua liderando com o número de projetos aprovados no CIMGC, seguida pela região Nordeste com 38% do total de projetos brasileiros. As regiões Sul e Norte apresentam 4% e a Centro-Oeste nenhum projeto (Figura 5.8).

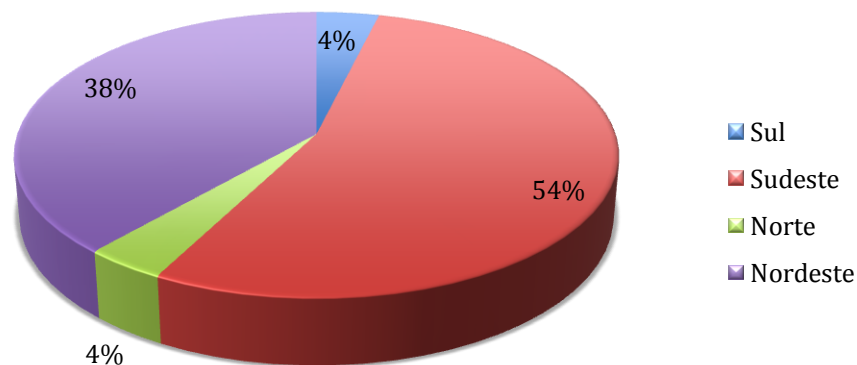


Figura 5.8 - Percentual de aterros sanitários com aproveitamento energético por regiões brasileiras.

Quando se analisa a capacidade elétrica instalada por região observa-se uma relação direta com quantidade de projetos de MDL de aterro sanitário com aproveitamento energético por região. Neste sentido, a região Sudeste apresenta o maior percentual, 54%, explicada pelo fato da maior quantidade de projetos de MDL de aterro sanitário com aproveitamento energético estar localizada nesta região, seguida pela região Nordeste, a qual apresenta 35% do total de projetos brasileiros. A região Norte apresenta 7% e a Sul 4%, enquanto a Centro-Oeste, nenhum (Figura 5.9).

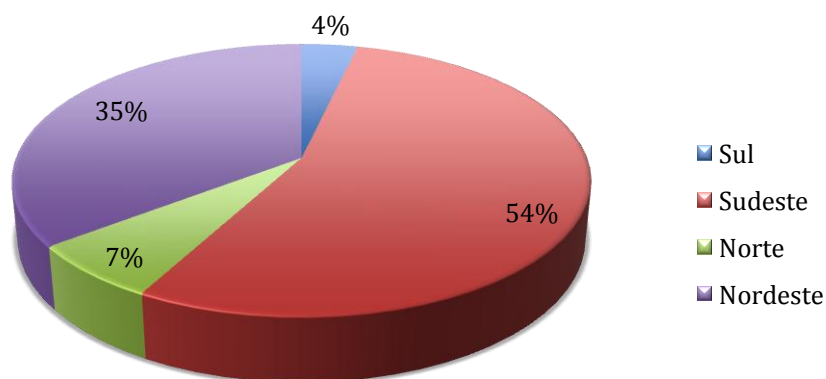


Figura 5.9 – Capacidade elétrica instalada dos aterros sanitários com aproveitamento energético por região brasileira.

A análise do percentual de emissões evitadas por região, medidas em CO₂ equivalente, resultante das atividades de captura e queima do biogás, bem como, dos projetos que prevêm o aproveitamento energético do mesmo, revelam que, novamente, a região Sudeste contribui com 65% desse total, seguida por 18% do Nordeste, 13% da região Norte, apenas 4% da região Sul e 0% da região Centro-Oeste (Figura 5.10).

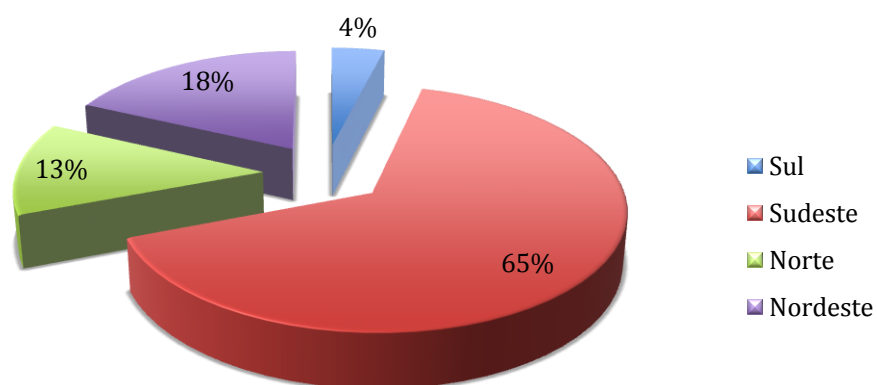


Figura 5.10: Percentual de emissões reduzidas dos projetos de MDL de aterros sanitário por regiões brasileiras.

CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO ATERRO SANITÁRIO DE ITABORAÍ/RJ – ESTUDO DE CASO.

Para a realização desta fase da pesquisa foram utilizados o DCP (MCTI, 2012) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (COPPETEC-ECP, 2008) do Centro de Tratamento de Resíduos de Itaboraí disponíveis no site oficial do CIMGC e do Instituto Estadual do Meio Ambiente (INEA), respectivamente, bem como dados enviados diretamente pelo gestor da ESTRE Ambiental através de contato via correio eletrônico e telefônico. As análises realizadas focaram principalmente na verificação de como a implantação do projeto de MDL poderia contribuir para o desenvolvimento sustentável do Brasil e na mitigação dos impactos ambientais gerados pelo empreendimento, bem como, na análise de desempenho ambiental desta atividade.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE ITABORAÍ – CTR ITABORAÍ

O Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) da empresa ESTRE Ambiental S/A, localiza-se na Estrada Itapacorá, denominada Estância Santa Helena, situada no bairro de Badureco, Município de Itaboraí, no Estado do Rio de Janeiro. O empreendimento possui uma extensão superficial da ordem de 276,44 hectares e encontra-se a 31 m de altitude. A figura 6.1 esquematiza a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, destacando o município de Itaboraí (em cinza).

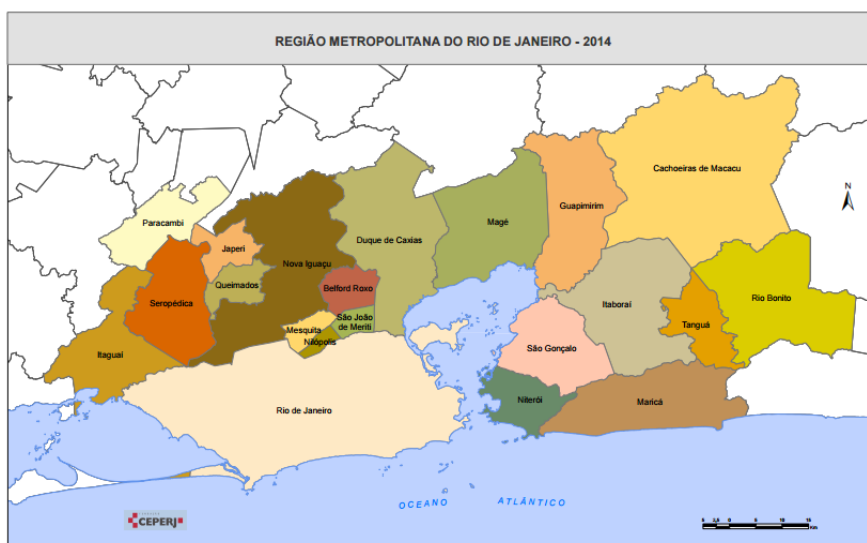


Figura 6.1: Mapa da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Município de Itaboraí em cinza. Fonte: CEPERJ, 2014.

O aterro sanitário iniciou sua operação em 2010, de acordo com a Licença de operação nº IN002455 válida até 18/08/2014, recebendo resíduos sólidos recolhidos pelo serviço de coleta municipal de resíduos, resíduos comerciais e resíduos sólidos tipo Classe II-A e Classe II-B, conforme classificação da Norma NBR-10.004/2004 da ABNT (ABNT, 2004) .

O aterro sanitário recebe resíduos dos municípios de Itaboraí, Guapimirim, Tanguá, Rio Bonito, Maricá, Magé, São Gonçalo, Niterói e Rio de Janeiro. E segundo o RIMA do empreendimento, os principais tipos de resíduos recebidos pelo aterro são provenientes de atividades industriais, escritórios, varrição, restos de banheiros, cozinhas e refeitórios, lodo gerado em sistemas de tratamento de efluentes líquidos, areias geradas nos processos de fundição de peças metálicas e os resíduos produzidos por grandes estabelecimentos comerciais.

6.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO DE MDL DO CTR ITABORAÍ

A proposta de atividade do projeto é realizar a captura ativa do metano gerado nas células de deposição, queimá-lo em *flares* e realizar o aproveitamento energético de parte desse metano gerado anaerobicamente. Desta forma, as emissões reduzidas resultantes das atividades de projeto gerarão créditos de carbono que poderão ser comercializados. Segundo o DCP do projeto, as atividades de redução de emissões serão realizadas de duas maneiras, a saber:

- “A queima de CH₄ em *flares* e/ou geradores de grupo”;
- “A quantidade de eletricidade gerada na atividade de projeto será despachada à rede nacional, evitando o despacho da mesma quantidade igual de energia produzida por termelétricas a combustível fóssil para essa rede. A iniciativa evita as emissões de CO₂ e contribui para o desenvolvimento sustentável regional e nacional.”

O esquema do projeto pode ser visualizado na figura 6.2, na qual pode-se observar a coleta ativa do metano gerado anaerobicamente nas células de deposição, o tratamento e processamento do biogás através da queima nos *flares* e a produção de eletricidade na estação de biogás.

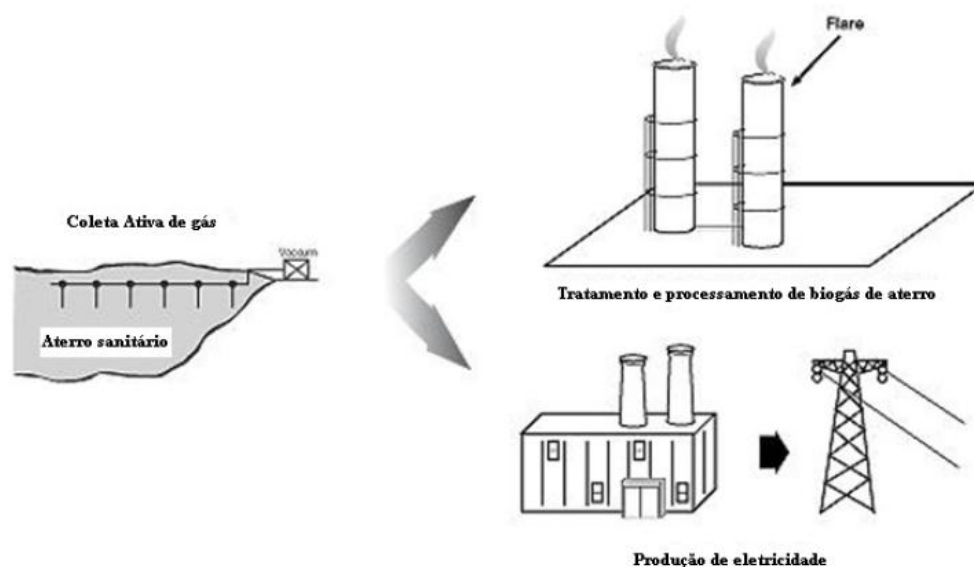


Figura 6.2 – Digrama representativo para a coleta e tratamento do metano e geração de energia elétrica
 Fonte: MCTI (2012).

6.2.1 Cenário da Linha de Base

Para a definição da linha de base de operação do aterro sanitário de Itaboraí, as informações constantes no DCP são as mesmas encontradas no RIMA enviado ao órgão ambiental para a emissão das licenças ambientais. O cenário da linha de base é definido como aquele encontrado antes da implantação do projeto de MDL.

A área de ocupação do aterro sanitário é de 1.462.410 m², o volume total de resíduos recebidos correspondem 54.060.000 m³, e os resíduos são classificados como sendo de tipo II-A e II-B. A vida útil do aterro é de 34 anos e a impermeabilização é realizada com geomembranas e drenagem do chorume. O chorume é recolhido a partir de um sistema de redes instalado para este fim e direcionado para uma unidade de tratamento de águas residuais. O metano é captado através de um sistema passivo de drenos verticais e é parcialmente liberado na atmosfera. A licença ambiental concedida exige que pelo menos 20% do metano seja captado e queimado para segurança de parte, bem como, a metodologia utilizada para a concepção do projeto executivo definida pela UNFCCC (ACM0001) também define que a eficiência de linha de base no sistema de captação de biogás deve ser, no mínimo, 20%.

No cenário de base não existe geração de eletricidade e, portanto, todo o aporte de energia é obtido da rede de distribuição elétrica. A estimativa de emissões totais para o cenário da linha de base é de 2.634.613 tCO₂eq, com uma média anual de 376.373 tCO₂eq e a

principal fonte de emissão da linha de base é o CH₄, pois o projeto considera que as emissões de N₂O são pequenas comparadas com as emissões de CH₄. Já as emissões de CO₂ oriundas da decomposição anaeróbica dos resíduos orgânicos não são consideradas, uma vez que o CO₂ também é liberado na atividade do projeto, principalmente decorrente do consumo de eletricidade.

A tabela 6.1 sumariza as emissões de metano decorrentes das atividades previstas na linha de base, bem como, emissões de CO₂ oriundas da utilização de eletricidade da rede.

Tabela 6.1 – Cálculo da emissão da linha de base. Fonte: MCTI (2012).

Ano	Emissões de CH ₄ na linha de base (tCO ₂ eq/ano)	Emissões de CO ₂ decorrentes da utilização de energia (tCO ₂ eq/ano)	Total de emissões (tCO ₂ eq/ano)
2013	53.739	-	53.739
2014	218.721	14.731	233.452
2015	298.794	19.642	318.436
2016	357.572	24.552	383.124
2017	401.707	27.826	429.533
2018	435.686	29.463	465.149
2019	462.543	31.100	493.643
2020	242.169	32.737	258.537

Fonte: Elaboração própria.

6.2.2 Cenário do Projeto

O projeto possui uma vida útil prevista de 25 anos e a tecnologia utilizada nas atividades de projeto incluem a melhoria da coleta do biogás gerado no aterro sanitário e a queima deste em *flares* e, ainda, o reaproveitamento energético do mesmo. Para isso, as instalações do sistema de recuperação serão compostas por um sistema de coleta ativo de biogás; um sistema de tubulações para o transporte do biogás, um sistema de sucção de gás e queima deste na estação de biogás, e uma usina de geração de eletricidade.

O cenário de implantação do projeto de MDL na CTR-Itaboraí inclui duas fases. A primeira fase, iniciada em Julho de 2013, será apenas para instalar a estrutura necessária para a captura ativa, coleta e queima em *flare* do gás de aterro. Nesta fase, a queima do metano reduzirá odores e os impactos causados ao efeito estufa. O sistema instalado para captura e coleta do biogás possui uma eficiência de coleta de 75% do biogás gerado anaerobicamente

nas células de deposição e convencionou-se que o gás de aterro é composto por 50% de metano.

A segunda fase que se iniciou em 2014 e durará até 2037, consiste na instalação de uma planta de geração de energia elétrica a partir de geradores que farão a combustão do biogás captado. A capacidade instalada de geração de eletricidade aumentará durante a vida útil do projeto até alcançar 27 MW de potência nominal, sendo cada grupo gerador com uma potência nominal de 1,5 MW, o qual possui um fator de carga de 94% e a eficiência nominal do motor é 39,8%. Entretanto, a capacidade instalada final poderá variar de acordo com a escolha e disponibilidade no mercado dos equipamentos de geração que finalmente comporão a segunda fase do projeto. Mesmo nesta fase, os *flares* serão mantidos em operação a fim de queimar o excesso de biogás que não será utilizado pela planta de geração de eletricidade, bem como, nos períodos em que não se estará produzindo eletricidade por considerações operacionais. A eletricidade gerada será utilizada para consumo do próprio aterro sanitário e o excedente será enviado para a rede de distribuição. Foi estimado, ainda, que o preço da eletricidade enviada para a rede, em 2011, seria de R\$ 103,06/MWh, o qual corresponde ao mais alto valor de energia do último leilão realizado no Brasil nos últimos três anos anteriores ao início da atividade do projeto, segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.

O período de implantação do projeto pode ser observado na tabela 6.2, a qual explicita todos os eventos que foram necessários até o início das atividades.

Tabela 6.2 – Linha do tempo para implemetação do projeto.

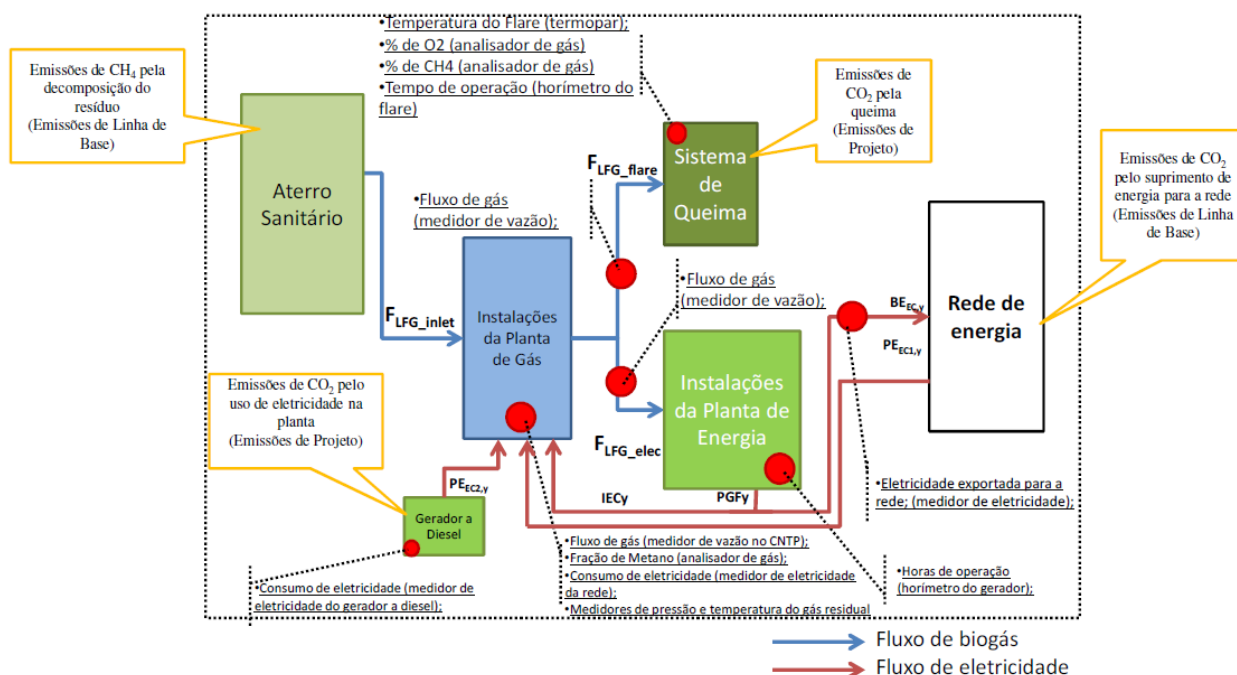
Eventos chave	Data
Consideração anterior do MDL para a UNFCCC e AND brasileira	10/04/2012
Contrato entre a Entidade Operacional Designada (EOD) e o PP (Participante do Projeto) para o processo de validação.	Abril de 2012
Período de consulta pública internacional (GSC).	25 Maio 2012 - 23 Junho 2012
A data de início da atividade do projeto será a compra do equipamento principal.*	Janeiro de 2013
Início – Fase I*	Julho de 2013
Operação comercial – Fase II*	Janeiro de 2014

*Estimado.

Fonte: MCTI (2012)

A figura 6.3 representa um fluxograma do projeto implementado, na qual o metano gerado anaerobicamente entra na atividade de projeto (F_{LFG_inlet}) através da planta de biogás. Esta é alimentada por um gerador de eletricidade a diesel ($PE_{EC2,y}$) ou pela energia elétrica da

rede de distribuição ($PE_{EC1,y}$). Parte do metano é direcionado para o sistema de queima em *flare* (F_{LFG_flare}) e outra parte para as instalações da planta de energia (F_{LFG_elec}), na qual parte da eletricidade gerada poderá ser utilizada pelas atividades do projeto (PGF_y ; IEC_y) e o excedente é direcionado para a rede de distribuição ($BE_{EC,y}$).



Onde:

F_{LFG_inlet} – Entrada LFG na atividade de projeto

F_{LFG_flare} – LFG que é destruído por queima em *flare*

F_{LFG_elec} – LFG usado para geração elétrica

$BE_{EC,y}$ – Geração de eletricidade para a rede

$PE_{EC1,y}$ – Consumo de eletricidade da rede

$PE_{EC2,y}$ – Consumo de eletricidade a partir do gerador a diesel

PGF_y – Eletricidade gerada para necessidades internas e/ou para a rede.

IEC_y – Consumo da eletricidade pelos equipamentos auxiliares gerado nas instalações de geração energética.

Figura 6.3 – Fluxograma dos limites do projeto. Fonte: MCTI (2012).

6.2.3 Geração de eletricidade na atividade do projeto

Para a geração de eletricidade na atividade de projeto foi proposto a instalação de 4 *flares*, 18 geradores de grupo, sendo cada grupo gerador com uma potência nominal de 1,5 MW, o qual possui um fator de carga de 94% e eficiência nominal de 39,8%, a fim de atingir a capacidade máxima instalada de 27 MW até o ano de 2026.

Para o sistema de coleta ativa do biogás, o projeto executivo do aterro sanitário de Itaboraí prevê a instalação de drenos verticais interligados a um tubo de coleta que transportam o biogás até uma estação de controle, a qual controla a perda de carga dos drenos. Após passar pela estação de controle, o biogás é encaminhado para os *flares*, através de uma tubulação de transmissão. Finalmente, a destruição do teor de metano presente no biogás coletado, será realizada nos *flares* fechados, a fim de assegurar uma maior destruição do gás, que de acordo com as especificações do fabricante do equipamento esta eficiência chega a ser maior que 99%. O número de *flares* instalados durante o vida útil do projeto se iniciará com 1 *flare* em 2013, 4 até 2020 (o que corresponde ao primeiro período de créditos de carbono) até o máximo de 5 *flares* em 2027 (Tabela 6.3). Como descrito no DCP-Aterro de Itaboraí:

“A estação de gás terá um sistema de destruição de metano por meio de flares. Este sistema será composto inicialmente por 1 flare fechado, com capacidade de 3.000 Nm³/h e poderá ter outras unidades de 3.000 Nm³/h cada uma, de acordo com a geração de gás. O flare é construído em uma câmara de combustão cilíndrica vertical, onde o biogás é queimado em flare a uma temperatura constante (cerca de 1.000°C), controlada pela admissão de ar, e com tempo de residência mínimo” (MCTI, 2012 pag 9)”.

Já a unidade geradora de eletricidade é composta por grupos motogeradores de gás de alto desempenho (potência nominal de 1,5 MW, fator de carga de 94% e eficiência nominal de 39,8%) nos quais ocorrerão a combustão do gás coletado. Neste processo, uma parte do biogás coletado será direcionada para os motogeradores e a outra parte para os *flares*, a fim de queimar o excesso de gás não utilizado pela estação de geração elétrica.

O número de motogeradores instalados vai aumentando ao longo da vida útil do projeto, iniciando com um motor em 2013 até o número máximo de 18 em 2026, alcançando a capacidade instalada de 27 MW (Tabela 6.3). Na tabela 6.3 é possível observar a estimativa de geração elétrica a partir do projeto proposto até o ano de 2020, devido ao fato deste corresponder ao primeiro período de créditos de carbono requerido pelas atividades do projeto de MDL do aterro em questão, as quais iniciam em 01/07/2013 e se estendem até 30/06/2020. Estimou-se que até 2020 serão gerados e enviados para a rede de distribuição cerca de 741.179 MWh de energia resultante do somatório dos 7 anos previstos. Entretanto, uma quantidade de 1.314 MWh de consumo de eletricidade da rede foi projetada para o ano de 2013, uma vez que a central elétrica ainda não havia sido instalada.

Tabela 6.3: Geração de eletricidade decorrente das atividades do projeto.

Ano	Fase	Número de flares instalados (unidade)	Número de motores instalados (unidade)	Capacidade instalada (MW)*	Eletricidade gerada na planta (MWh)
2013	1	1,0	0	0,0	0
2014	2	2,0	8	12,0	74.110
2015		3,0	10	15,0	98.813
2016		3,0	12	18,0	123.516
2017		3,0	13	19,5	139.985
2018		4,0	14	21,0	148.219
2019		4,0	14	21,0	156.454
2020		4,0***	15	22,5	82,344**

*A capacidade instalada total esperada para 2026 com 27,0 MW e 18 geradores de grupo instalados.

** Foi considerada apenas a eletricidade gerada até junho de 2020, porque o primeiro período de obtenção de créditos vai de 01/07/2013 a 30/06/2020.

*** O número total de flares que serão instalados durante o período de atividade do projeto é 5. O flare número 5 será instalado em 2027. No entanto, para o primeiro período de obtenção de créditos, o total de flares instalado será 4.

Fonte: MCTI (2012)

Em relação à redução de emissões o projeto prevê que 2.634.310 tCO₂eq, com uma média anual de 376.373 tCO₂eq, serão evitadas em decorrência das atividades do projeto de MDL propostas (Tabela 6.4).

Tabela 6.4: Síntese das estimativas das reduções de emissões.

Ano	Emissões da linha de base (tCO ₂ e)	Emissões do projeto (tCO ₂ e)	Fugas (tCO ₂ e)	Reduções de emissões (tCO ₂ e)
2013	53.739	303	0	53.436
2014	233.452	0	0	233.452
2015	318.436	0	0	318.436
2016	382.124	0	0	382.124
2017	429.533	0	0	429.533
2018	465.149	0	0	465.149
2019	493.643	0	0	493.643
2020	258.537	0	0	258.537
Total	2.634.613	303	0	2.634.310
Número total de anos de crédito	7			
Média anual durante o período de obtenção de créditos	376.373	43	0	376.330

Fonte: MCTI (2012)

6.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO PROJETO DE MDL DO ATERRO DE ITABORAÍ

A partir do levantamento dos dados realizados e da descrição das informações constantes no DCP do Aterro de Itaboraí obtidos na seção 6.1, foi possível realizar uma análise do desempenho ambiental do projeto de MDL deste aterro sanitário utilizando o software comercial de Análise do Ciclo de Vida denominado SimaPro® versão 7.2.3 da empresa *PRé-Consultants*. Para tanto, sumarizou-se os dados inventariados do projeto de MDL do aterro de Itaboraí nas tabelas 6.5 e 6.6, as quais apresentam os dados do cenário de linha de base e do cenário do projeto, respectivamente.

Para o cálculo da energia consumida durante os anos de período de crédito, considerou-se a energia declarada no DCP para o consumo no primeiro ano no período de 6 meses compreendido entre 01/07/2013 a 31/12/2013 (4.380 horas), o qual reflete a data de início do projeto até o último dia do ano de 2013. Os anos subsequentes (2014-2020) foram calculados a partir desse dado, porém considerando os 365 dias do ano, os quais totalizam 8.760 horas (Figura 6.5). Como a capacidade nominal dos equipamentos utilizados no projeto é de 30 kW, podemos realizar uma estimativa de consumo energético a partir da equação 6.1:

$$\text{Estimativa energética} = \text{Capacidade nominal dos equipamentos} * \text{N}^\circ \text{ de horas de utilização dos equipamentos} \quad (6.1)$$

Portanto,

$$\text{Estimativa energética} = 30\text{kW} * 8.760 \text{ h} = 262,8 \text{ MWh}$$

Como no cenário da linha de base não houve aproveitamento energético do biogás, a eletricidade gerada para este período foi considerado como igual a “zero”. Da mesma forma que o total de emissões, neste período, foi considerado os mesmos valores do quantitativo de emissões reduzidas quando as atividades de projeto de MDL do aterro fossem implementadas (Tabela 6.5).

Tabela 6.5: Principais dados sumarizados referentes ao cenário da linha de base do projeto de MDL do aterro de Itaboraí.

Ano	Total de emissões (tCO ₂ eq/ano)	Eletricidade consumida da rede (MWh/ano)	Eletricidade gerada usando o biogás (MWh/ano)
2013	53.436	131,4	0
2014	233.452	262,8	0
2015	318.436	262,8	0
2016	382.124	262,8	0
2017	429.533	262,8	0
2018	465.149	262,8	0
2019	493.643	262,8	0
2020	258.537	262,8	0
Total	2.634.310	1.971	0

Fonte: Elaboração Própria.

Para os dados estimados do projeto de MDL para o aterro de Itaboraí, foi considerado o total de emissões reduzidas declaradas no DCP decorrentes das atividades de projeto de MDL no aterro, e os valores de eletricidade consumida foram retirados dos dados disponibilizados no DCP. Portanto, para as atividades de projeto de MDL, a energia da rede somente será consumida no primeiro ano (2013), pois a partir desse período a planta de geração de energia elétrica já está prevista para funcionar e, portanto, nenhuma eletricidade será consumida da rede de distribuição (Tabela 6.6).

Tabela 6.6: Principais dados sumarizados referentes ao cenário do projeto de MDL do aterro de Itaboraí.

Ano	Total de emissões reduzidas (tCO ₂ eq/ano)	Eletricidade consumida da rede (MWh/ano)	Eletricidade gerada usando o biogás (MWh/ano)
2013	53.436	131,4	0
2014	233.452	0	74.110
2015	318.436	0	98.813
2016	382.124	0	123.516
2017	429.533	0	139.985
2018	465.149	0	148.219
2019	493.643	0	156.454
2020	258.537	0	82.344
total	2.634.310	131,4	823.441

Fonte: Elaboração Própria.

A partir dos dados inventariados, foi possível modelar dois cenários para a análise de desempenho ambiental. Os cenários construídos consideram as seguintes premissas:

1. O primeiro cenário representa a linha de base do projeto de MDL do aterro sanitário de Itaboraí. Dessa forma, considerou-se que as emissões reduzidas de GEE, em tCO₂eq, calculadas para a implementação do projeto, representam a quantidade de dióxido de carbono emitido neste cenário. Da mesma forma, foi considerado que nenhuma eletricidade foi gerada e, por conseguinte, foi utilizada a energia disponibilizada pela rede de distribuição;
2. O segundo cenário foi modelado a partir dos dados do projeto de MDL com aproveitamento do biogás para a geração de eletricidade. Dessa forma, a unidade funcional (UF) utilizada para fins de comparação foi 1 tCO₂eq para as emissões reduzidas. Como neste cenário há geração de energia elétrica e a mesma é direcionada para a rede de distribuição, considerou-se que a quantidade de energia produzida corresponde àquela energia evitada da matriz elétrica brasileira.

Em síntese, os dados introduzidos no programa estão demonstrados na tabela 6.7.

Tabela 6.7: Dados introduzidos no programa SimaPro.

Cenário	UF*	Emissões (tCO ₂ eq)	Eletricidade consumida da rede (MWh)	Eletricidade gerada (evitada da matriz elétrica) (MWh)
1 CTR Itaboraí sem o projeto de MDL (linha de base)	2.634.310	2.634.310	1.971	0
2 CTR Itaboraí com o projeto de MDL (dados do projeto)	1	0	131,4	823.441

*UF: Unidade Funcional

Fonte: Elaboração Própria.

Para a realização dessa análise foi realizada a montagem de um novo processo no Software com os dados supracitados. Neste sentido, podemos visualizar na Figura 6.4 e 6.5 os dados introduzidos no programa para os dois cenários em questão.

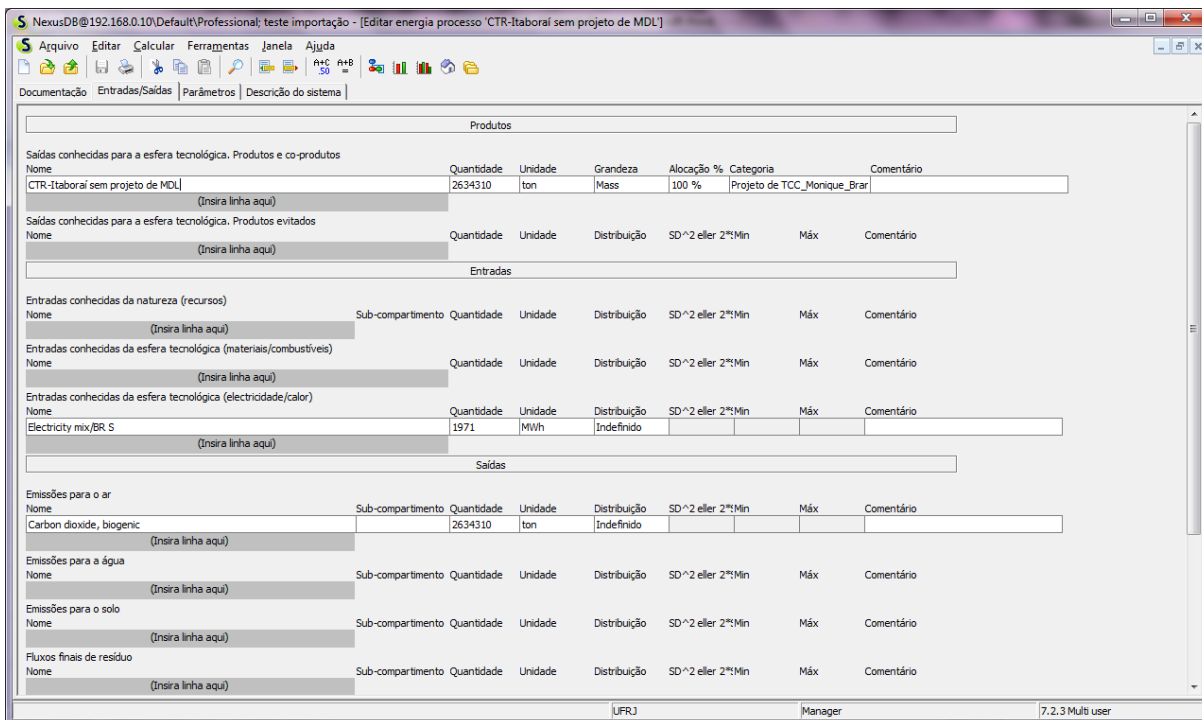


Figura 6.4: Tela do software SimaPro evidenciando a introdução dos dados do cenário 1 (linha de base) para o processo desenvolvido.

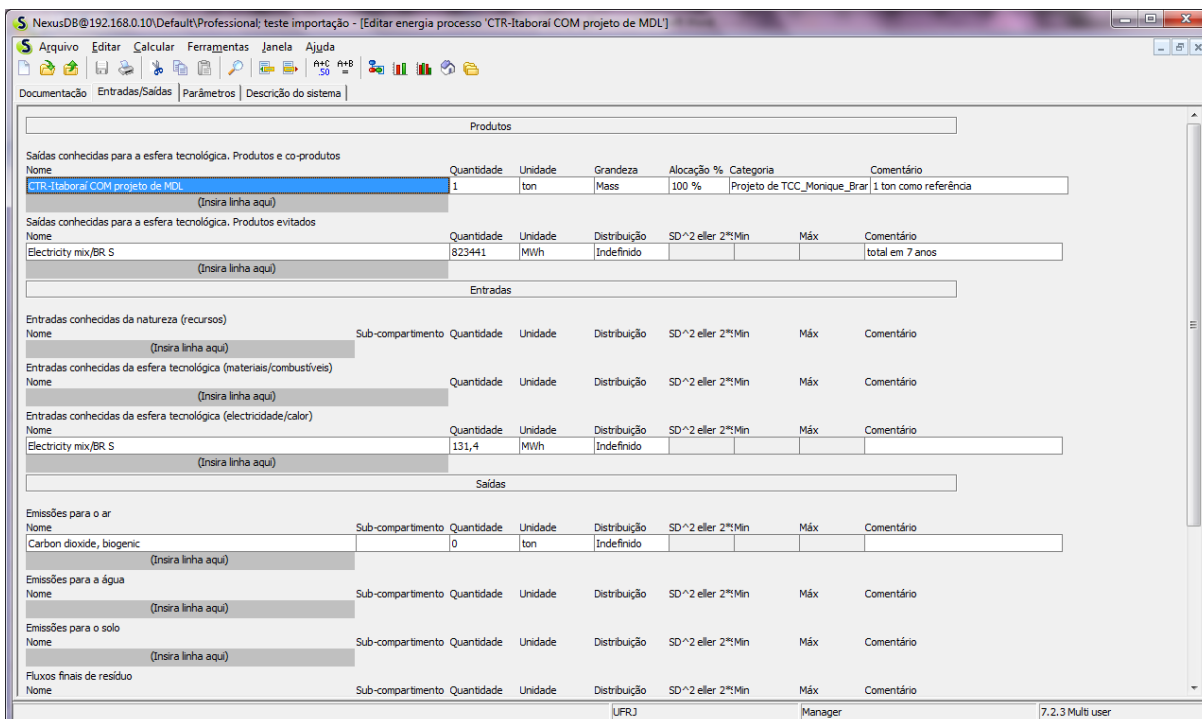


Figura 6.5: Tela do software SimaPro evidenciando a introdução dos dados do cenário 2 (dados do projeto) para o processo desenvolvido.

6.3.1 Comparação dos Processos

A partir dos dados inseridos e os processos criados, foi possível compará-los utilizando o método ReCiPe 2008, conforme descrito na seção 4.2.2 da metodologia. Neste

item, são apresentadas as categorias intermediárias, os indicadores de categoria, a correlação dos resultados do inventário às categorias selecionadas (classificação), os cálculos dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização) para os dois processos avaliados e suas respectivas interpretações.

Para a obtenção dos resultados de classificação e caracterização utilizou-se o método ReCiPe Midpoint (E) V1.04/World ReCiPe E, os quais podem ser visualizados na tabela 6.8 e graficamente na figura 6.6.

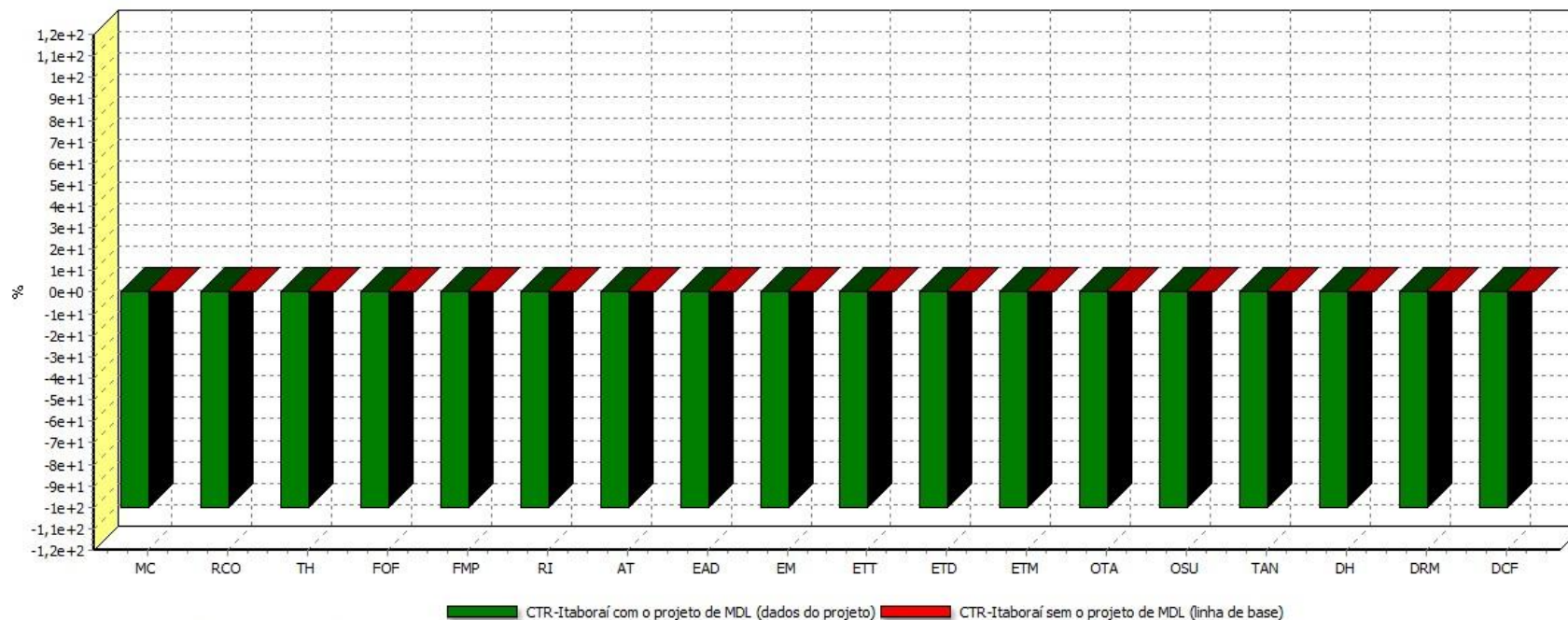
Tabela 6.8: Valores da caracterização comparativa dos cenários.

Categoria de impacto	Unidade	CTR-Itaboraí sem o projeto de MDL (linha de base)	CTR-Itaboraí com o projeto de MDL (dados do projeto)
MC	kgCO ₂ eq	0,000134564	-148071,391
RCO	kg CFC-11eq	6,48084E-12	-0,007131395
TH	kg 1,4-DB eq	0,000320747	-352944,0432
FOF	kg NMVOC	2,00275E-07	-220,3794013
FMP	kg PM10 eq	6,62602E-08	-72,9115396
RI	kg U ²³⁵ eq	2,39561E-05	-26360,89597
AT	kg SO ₂ eq	2,02927E-07	-223,2973781
EAD	kg P eq	9,53981E-09	-10,49742985
EM	kg N eq	4,50537E-08	-49,57626779
ETT	kg 1,4-DB eq	4,09264E-08	-45,03467406
ETD	kg 1,4-DB eq	1,99645E-07	-219,6852417
ETM	kg 1,4-DB eq	0,000276595	-304360,536
OTA	m ² a	4,23472E-06	-4659,804583
OSU	m ² a	1,99302E-07	-219,3081784
TAN	m ²	1,55792E-07	-171,4305806
DH	m ³	3,71481E-07	-408,7710758
DRM	kg Fe eq	1,68811E-06	-1857,563842
DCF	kg óleo eq	2,02349E-05	-22266,06955

Legenda: MC – Mudanças Climáticas; RCO – Redução da Camada de Ozônio; TH – Toxicidade Humana; FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos; FMP – Formação de Material Particulado; RI – Radiação Ionizante; AT – Acidificação Terrestre; EAD – Eutrofização da Água Doce; EM – Eutrofização Marinha; ETT – Ecotoxicidade Terrestre; ETD – Ecotoxicidade da Água Doce; ETM – Ecotoxicidade Marinha; OTA – Ocupação de Terra Agrícola; OSU – Ocupação do Solo Urbano; TAN – Transformação de Área Natural; DH – Depleção Hídrica; DRM – Depleção de Recursos Minerais; DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis. Para todas as categorias, valores negativos indicam benefícios ao meio ambiente (redução de impacto ambiental). Fonte: Elaboração própria.

Na figura 6.6, pode-se observar a caracterização comparativa dos dois processos. O eixo vertical apresenta o impacto potencial em porcentagem, estipulando o valor de 100% para o componente mais impactante em cada uma das categorias, e os valores dos outros componentes da mesma categoria intermediária são apresentados em relação ao mais impactante dentro de cada uma das categorias. De forma geral, o cenário 2, o qual representa o CTR Itaboraí com o projeto de MDL implementado (barras verdes na figura 6.6) apresenta valores negativos o que corresponde a impactos positivos às diferentes categorias de impacto, expressas em relação aos valores apresentados pelo cenário 1, o qual representa os valores da linha de base do CTR Itaboraí sem o projeto de MDL implementado (barras vermelhas) e que foram atribuídas a porcentagem de impacto de 100% (máxima). Na tabela 6.8 pode-se visualizar os valores de caracterização de cada categoria intermediária dos dados dos dois cenários analisados, da mesma forma, pode-se observar que os valores atribuídos ao cenário 2 são todos negativos, representando, portanto, impactos positivos.

Na figura 6.7, pode-se observar os valores de caracterização das categorias intermediárias de impacto foram multiplicadas pelos valores de normalização da tabela 4.5, permitindo uma comparação adimensional dos resultados. Dessa forma, a categoria que apresenta um maior peso no cálculo do impacto final é “Toxicidade Humana (TH)” do cenário 2 (CTR Itaboraí com o projeto de MDL), a qual apresenta o valor mais negativo comparado com as outras categorias de impacto, representando, portanto, os maiores ganhos ambientais quando há a implementação do projeto de MDL no aterro de Itaboraí. As demais categorias intermediárias, em ordem decrescente de ganho ambiental, são as seguintes: ETM – Ecotoxicidade Marinha, EAD – Eutrofização da Água Doce, ETD – Ecotoxicidade da Água Doce, MC – Mudanças Climáticas, RI – Radiação Ionizante, DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis e TAN – Transformação de Área Natural. Os valores normalizados encontram-se na tabela 6.9.



A comparar 1 kg 'CTR-Itaboraí com o projeto de MDL (dados do projeto)' com 1 kg 'CTR-Itaboraí sem o projeto de MDL (linha de base)'; Método: ReCiPe Midpoint (E)_Monique V1.04 / World ReCiPe E / Caracterização

Figura 6.6: Caracterização comparativa dos cenários.

Legenda: MC – Mudanças Climáticas; RCO – Redução da Camada de Ozônio; TH – Toxicidade Humana; FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos; FMP – Formação de Material Particulado; RI – Radiação Ionizante; AT – Acidificação Terrestre; EAD – Eutrofização da Água Doce; EM – Eutrofização Marinha; ETT – Ecotoxicidade Terrestre; ETD – Ecotoxicidade da Água Doce; ETM – Ecotoxicidade Marinha; OTA – Ocupação de Terra Agrícola; OSU – Ocupação do Solo Urbano; TAN – Transformação de Área Natural; DH – Depleção Hídrica; DRM – Depleção de Recursos Minerais; DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis. Para todas as categorias, valores negativos indicam benefícios ao meio ambiente (redução de impacto ambiental). Fonte: Elaboração própria.

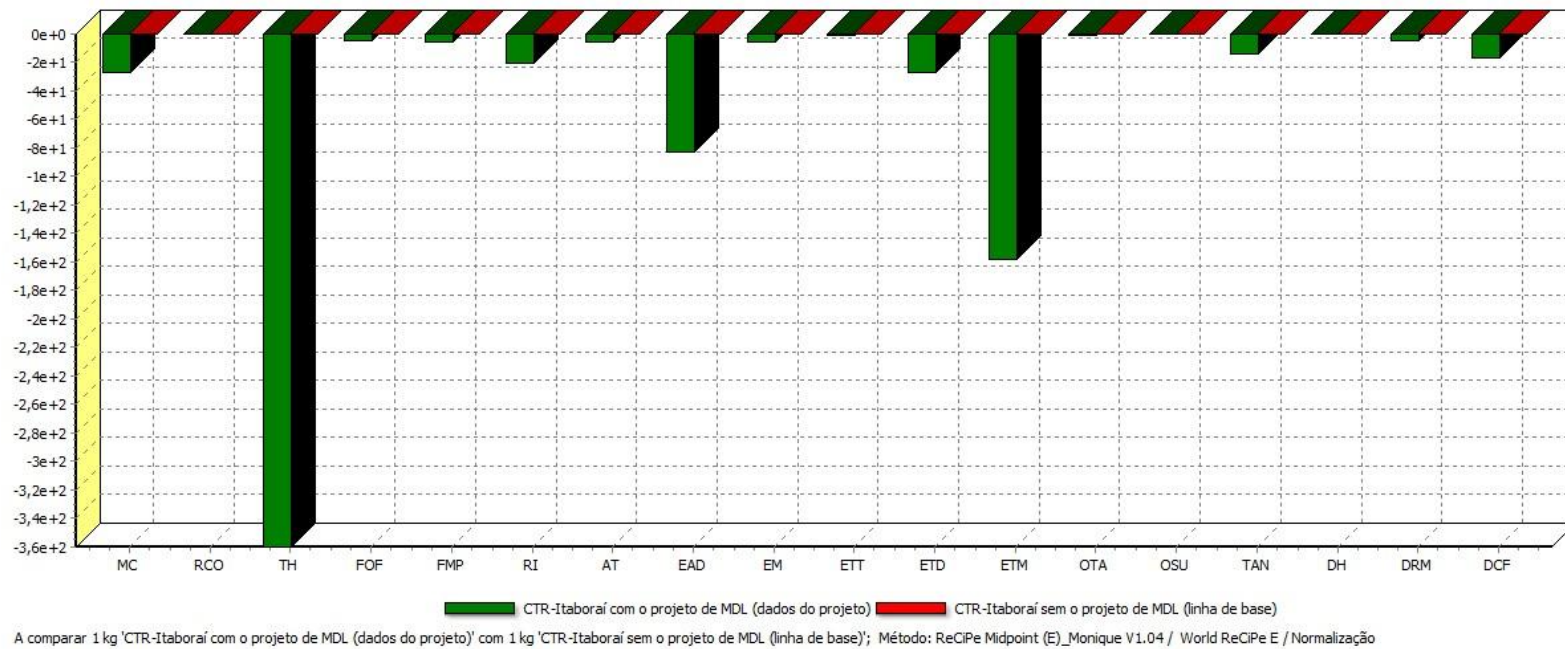


Figura 6.7: Valores de normalização das categorias intermediárias dos cenários analisados.

Legenda: MC – Mudanças Climáticas; RCO – Redução da Camada de Ozônio; TH – Toxicidade Humana; FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos; FMP – Formação de Material Particulado; RI – Radiação Ionizante; AT – Acidificação Terrestre; EAD – Eutrofização da Água Doce; EM – Eutrofização Marinha; ETT – Ecotoxicidade Terrestre; ETD – Ecotoxicidade da Água Doce; ETM – Ecotoxicidade Marinha; OTA – Ocupação de Terra Agrícola; OSU – Ocupação do Solo Urbano; TAN – Transformação de Área Natural; DH – Depleção Hídrica; DRM – Depleção de Recursos Minerais; DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis. Para todas as categorias, valores negativos indicam benefícios ao meio ambiente (redução de impacto ambiental). Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6.9: Valores normalizados de impacto das categorias intermediárias.

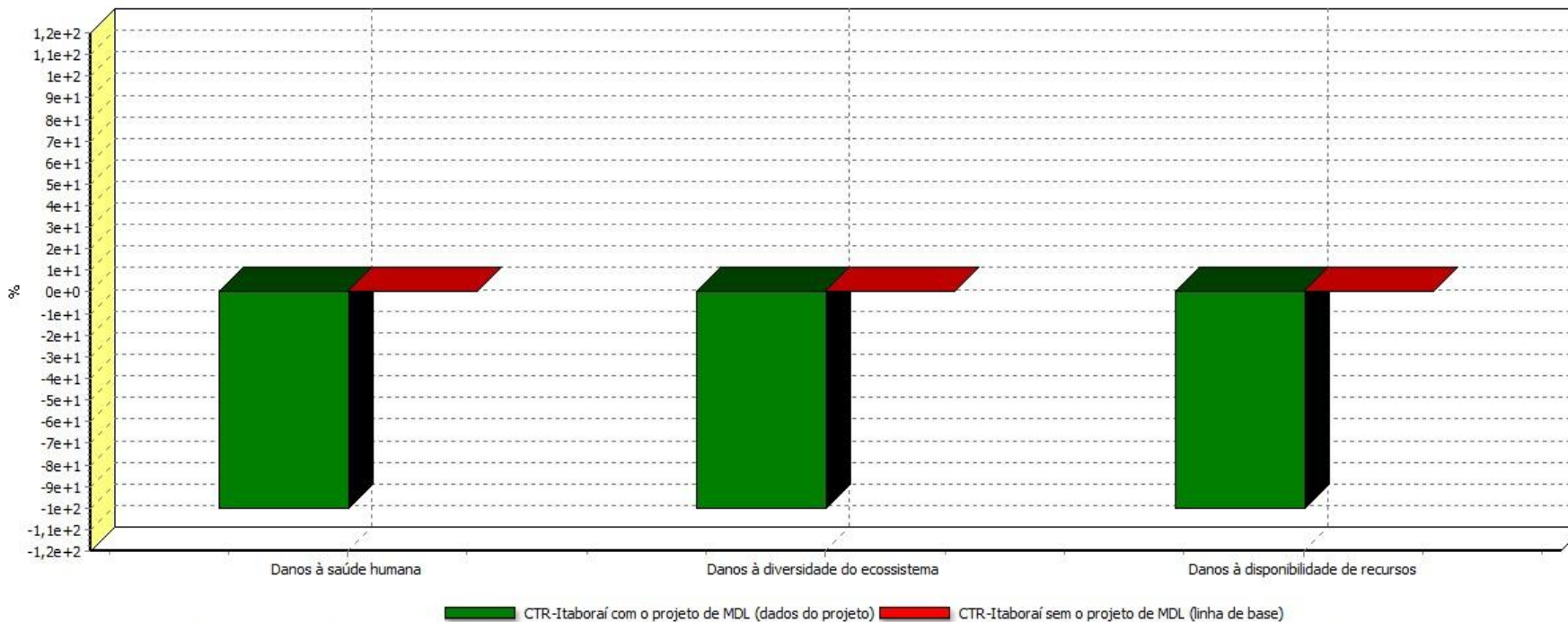
Categoria de impacto	CTR-Itaboraí sem o projeto de MDL (linha de base)	CTR-Itaboraí com o projeto de MDL (dados do projeto)
MC	2,45E-08	-26,949
RCO	1,74E-10	-0,19112
TH	3,27E-07	-360,003
FOF	4,05E-09	-4,45166
FMP	4,74E-09	-5,22047
RI	1,84E-08	-20,1924
AT	4,85E-09	-5,33681
EAD	7,57E-08	-83,2446
EM	5E-09	-5,50297
ETT	1,04E-09	-1,13938
ETD	2,46E-08	-27,0213
ETM	1,44E-07	-158,267
OTA	7,88E-10	-0,86672
OSU	2,59E-10	-0,2851
TAN	1,3E-08	-14,3487
DH	0	0
DRM	3,82E-09	-4,19809
DCF	1,48E-08	-16,321

Legenda: MC – Mudanças Climáticas; RCO – Redução da Camada de Ozônio; TH – Toxicidade Humana; FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos; FMP – Formação de Material Particulado; RI – Radiação Ionizante; AT – Acidificação Terrestre; EAD – Eutrofização da Água Doce; EM – Eutrofização Marinha; ETT – Ecotoxicidade Terrestre; ETD – Ecotoxicidade da Água Doce; ETM – Ecotoxicidade Marinha; OTA – Ocupação de Terra Agrícola; OSU – Ocupação do Solo Urbano; TAN – Transformação de Área Natural; DH – Depleção Hídrica; DRM – Depleção de Recursos Minerais; DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis. Para todas as categorias, valores negativos indicam benefícios ao meio ambiente (redução de impacto ambiental). Fonte: Elaboração própria.

As figuras 6.8, 6.9 e 6.10 representam graficamente a análise de desempenho ambiental dos dois cenários em questão nos pontos finais de categoria. Analisando a figura 6.8 pode-se observar que o cenário 2 (CTR Itaboraí com o projeto de MDL), novamente, representa os maiores benefícios ambientais quando comparado ao cenário 1 (CTR Itaboraí sem o projeto de MDL implementado), com relação aos danos à saúde humana, danos à diversidade do ecossistema e danos à disponibilidade de recursos. Quando esses valores da avaliação de danos aos pontos finais de categoria são normalizados pelos valores apresentados na tabela 4.4, na seção de metodologia, pode-se observar que os valores dos danos do cenário 2, apesar de continuarem sendo negativos, representando impactos positivos, verifica-se que os danos à diversidade do ecossistema e os danos à disponibilidade de recursos são muito mais significativos que os danos causados à saúde humana, portanto, os dois primeiros pontos

finais de categoria sofrem mais intensamente a ação do impacto analisado nos processos (Figura 6.9). Esses resultados corroboram a análise realizada com as categorias intermediárias de impacto, nas quais a categoria “Toxicidade humana” apresentou os maiores benefícios quando da implantação do projeto de MDL, sendo esta categoria intermediária incluída no ponto final de categoria “danos à saúde humana” (Figura 6.9). Na figura 6.10 os valores de normalização são ponderados pelos valores apresentados na tabela 4.4, e os resultados são análogos aos encontrados nos valores de normalização, com uma leve diminuição dos benefícios observados ao ponto de final de categoria “danos à disponibilidade de recursos” do cenário 2.

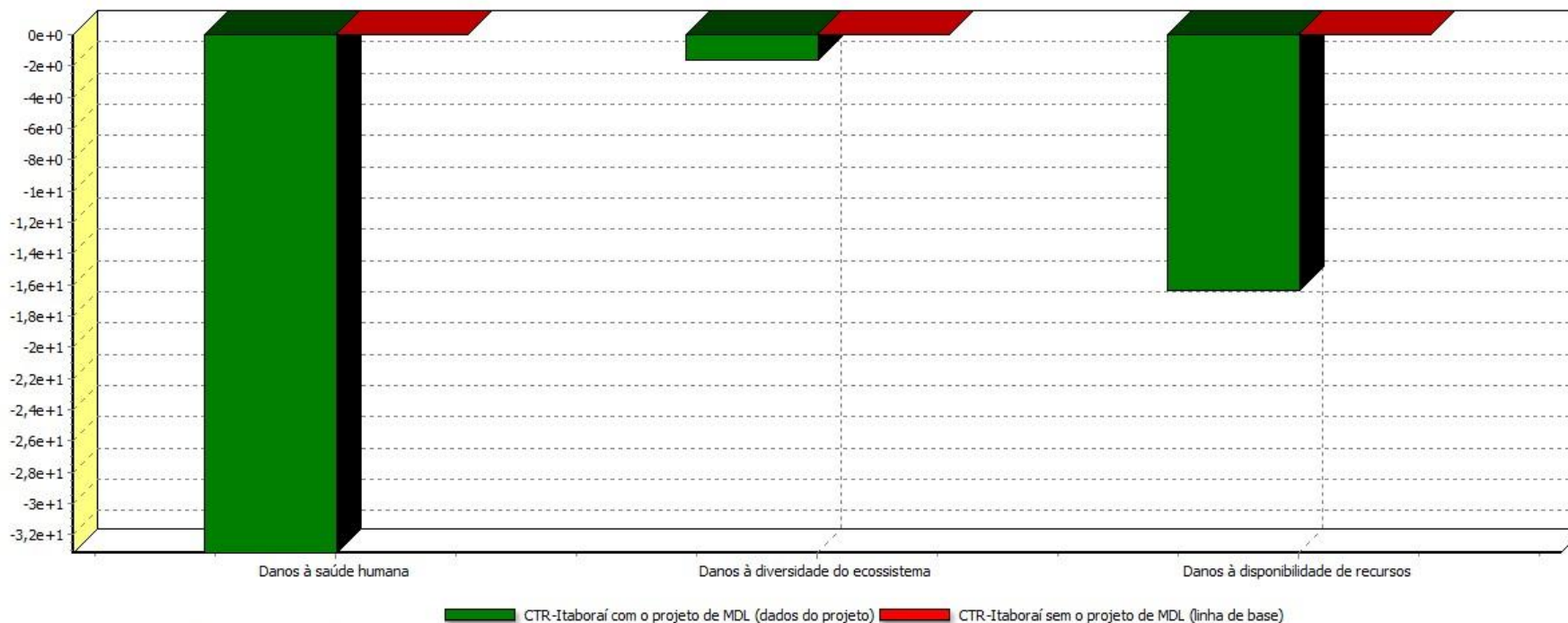
A figura 6.11 representa a pontuação única obtida para cada cenário. A pontuação única é obtida a partir da multiplicação dos valores de normalização pelos valores de ponderação dos diferentes pontos finais de categoria dos cenários analisados. Dessa forma, observa-se que representação esquemática destas pontuações únicas indica que o cenário 2, mesmo ponderado, apresenta o menor impacto potencial ambiental, quando comparado com o cenário 1, com os maiores benefícios sendo observados no ponto de final de categoria “danos à saúde humana”, seguida de vantagens observadas no ponto final de categoria “danos à disponibilidade de recursos e em menor grau ao ponto final de categoria “danos à diversidade do ecossistema”.



A comparar 1 kg 'CTR-Itaboraí com o projeto de MDL (dados do projeto)' com 1 kg 'CTR-Itaboraí sem o projeto de MDL (linha de base)'; Método: ReCiPe Endpoint (E)_Monique V1.04 / World ReCiPe E/E / Avaliação de danos

Figura 6.8: Valores da avaliação de danos dos pontos finais de categoria dos cenários analisados.

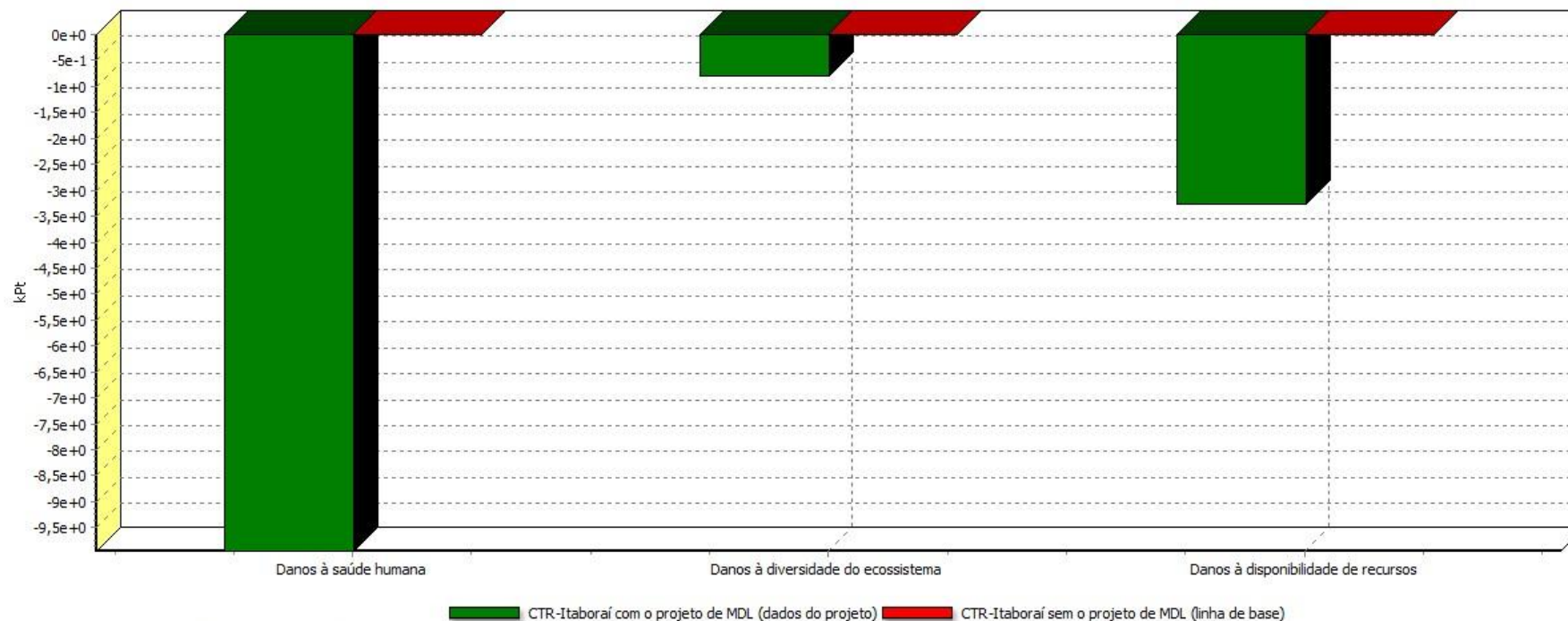
Legenda: MC – Mudanças Climáticas; RCO – Redução da Camada de Ozônio; TH – Toxicidade Humana; FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos; FMP – Formação de Material Particulado; RI – Radiação Ionizante; AT – Acidificação Terrestre; EAD – Eutrofização da Água Doce; EM – Eutrofização Marinha; ETT – Ecotoxicidade Terrestre; ETD – Ecotoxicidade da Água Doce; ETM – Ecotoxicidade Marinha; OTA – Ocupação de Terra Agrícola; OSU – Ocupação do Solo Urbano; TAN – Transformação de Área Natural; DH – Depleção Hídrica; DRM – Depleção de Recursos Minerais; DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis. Para todas as categorias, valores negativos indicam benefícios ao meio ambiente (redução de impacto ambiental). Fonte: Elaboração própria.



A comparar 1 kg 'CTR-Itaboraí com o projeto de MDL (dados do projeto)' com 1 kg 'CTR-Itaboraí sem o projeto de MDL (linha de base)'; Método: ReCIPE Endpoint (E)_Monique V1.04 / World ReCIPE E/E / Normalização

Figura 6.9: Valores de normalização dos pontos finais de categoria dos cenários analisados.

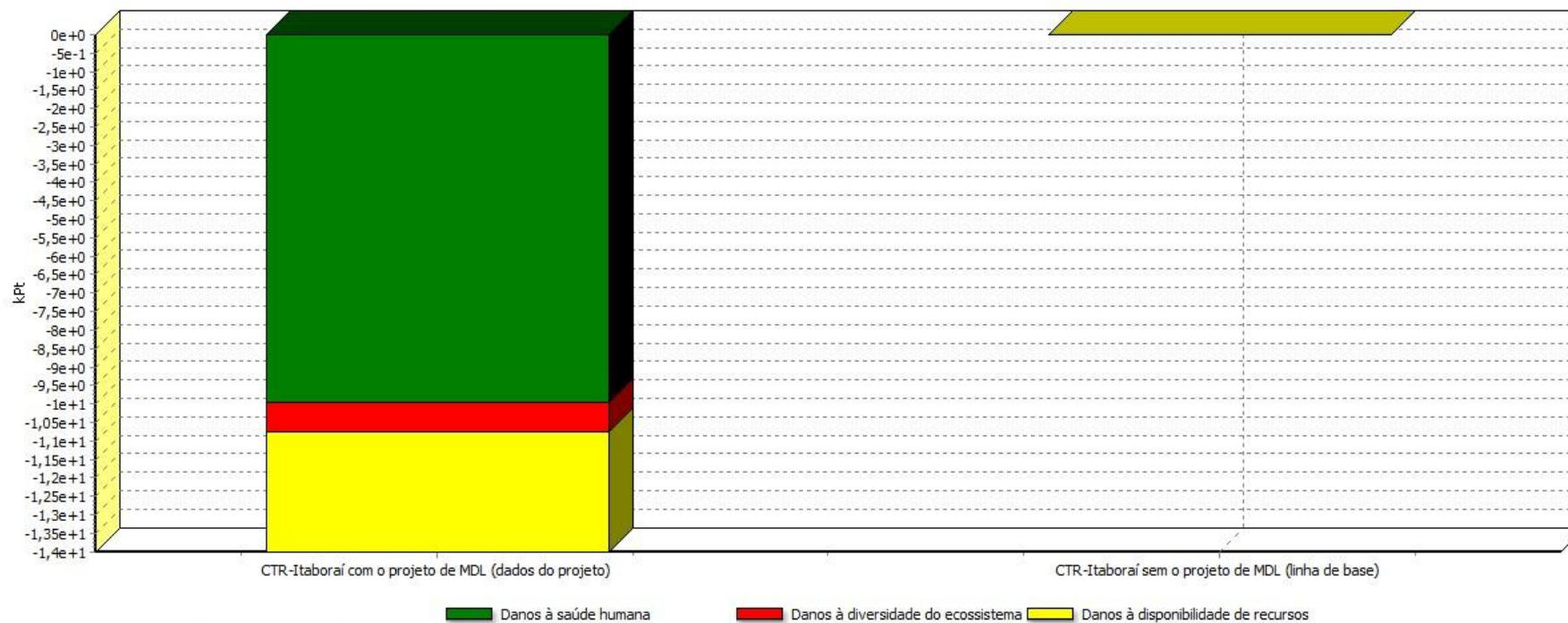
Legenda: MC – Mudanças Climáticas; RCO – Redução da Camada de Ozônio; TH – Toxicidade Humana; FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos; FMP – Formação de Material Particulado; RI – Radiação Ionizante; AT – Acidificação Terrestre; EAD – Eutrofização da Água Doce; EM – Eutrofização Marinha; ETT – Ecotoxicidade Terrestre; ETD – Ecotoxicidade da Água Doce; ETM – Ecotoxicidade Marinha; OTA – Ocupação de Terra Agrícola; OSU – Ocupação do Solo Urbano; TAN – Transformação de Área Natural; DH – Depleção Hídrica; DRM – Depleção de Recursos Minerais; DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis. Para todas as categorias, valores negativos indicam benefícios ao meio ambiente (redução de impacto ambiental). Fonte: Elaboração própria.



A comparar 1 kg 'CTR-Itaboraí com o projeto de MDL (dados do projeto)' com 1 kg 'CTR-Itaboraí sem o projeto de MDL (linha de base)'; Método: ReCIpe Endpoint (E)_Monique V1.04 / World ReCIpe E/E / Ponderação

Figura 6.10: Valores de ponderação dos pontos finais de categoria dos cenários analisados.

Legenda: MC – Mudanças Climáticas; RCO – Redução da Camada de Ozônio; TH – Toxicidade Humana; FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos; FMP – Formação de Material Particulado; RI – Radiação Ionizante; AT – Acidificação Terrestre; EAD – Eutrofização da Água Doce; EM – Eutrofização Marinha; ETT – Ecotoxicidade Terrestre; ETD – Ecotoxicidade da Água Doce; ETM – Ecotoxicidade Marinha; OTA – Ocupação de Terra Agrícola; OSU – Ocupação do Solo Urbano; TAN – Transformação de Área Natural; DH – Depleção Hídrica; DRM – Depleção de Recursos Minerais; DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis. Para todas as categorias, valores negativos indicam benefícios ao meio ambiente (redução de impacto ambiental). Fonte: Elaboração própria.



A comparar 1 kg 'CTR-Itaboraí com o projeto de MDL (dados do projeto)' com 1 kg 'CTR-Itaboraí sem o projeto de MDL (linha de base)'; Método: ReCiPe Endpoint (E)_Monique V1.04 / World ReCiPe E/E / Pontuação única

Figura 6.11: Valores da pontuação única dos cenários analisados.

Legenda: MC – Mudanças Climáticas; RCO – Redução da Camada de Ozônio; TH – Toxicidade Humana; FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos; FMP – Formação de Material Particulado; RI – Radiação Ionizante; AT – Acidificação Terrestre; EAD – Eutrofização da Água Doce; EM – Eutrofização Marinha; ETT – Ecotoxicidade Terrestre; ETD – Ecotoxicidade da Água Doce; ETM – Ecotoxicidade Marinha; OTA – Ocupação de Terra Agrícola; OSU – Ocupação do Solo Urbano; TAN – Transformação de Área Natural; DH – Depleção Hídrica; DRM – Depleção de Recursos Minerais; DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis. Para todas as categorias, valores negativos indicam benefícios ao meio ambiente (redução de impacto ambiental). Fonte: Elaboração própria.

CAPÍTULO 7 - DISCUSSÃO

7.1 DISCUSSÃO DA ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE ATERRO SANITÁRIO NO ÂMBITO DO MDL NO BRASIL.

Uma grande problemática atual é o equacionamento do gerenciamento dos RS, sobretudo os RSU em áreas urbanas. O expressivo crescimento populacional aliado à mudanças nos padrões de consumo, sobretudo nos países em desenvolvimento, tem ocasionado alterações nas características dos RS gerados e a existência, cada vez menor, de áreas disponíveis para a disposição desses materiais (CAMARGO, 2005).

Das soluções ambientalmente adequadas para a disposição final dos RS encontram-se os aterros sanitários, segundo a PNRS (BRASIL, 2010a). No entanto, no Brasil apenas 33% dos municípios adotaram uma destinação adequada para os RS gerados em seu território, sendo 27,7% em aterros sanitários (IBGE, 2011). Ainda, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada em 2008 pelo IBGE (IBGE, 2008), revelou que 50,8% dos municípios brasileiros adotaram soluções inadequadas para a destinação final dos RS, como os vazadouros a céu aberto. O prognóstico ainda é pior quando analisamos a Região Norte e Nordeste, os quais à essa época apresentavam cerca de 89,3% e 85,5%, respectivamente, de disposição dos RS em lixões. No estado do Rio de Janeiro, 80% dos municípios já destinam seus resíduos de acordo com o exigido pela PNRS. Das 92 cidades fluminenses, 19 ainda não estão destinando o lixo para centrais de tratamento de resíduos – CTRs (SELUR, 2014).

Diante deste cenário, percebe-se que no Brasil o saneamento ambiental e o manejo adequado dos RS ainda são problemáticas atuais e, obviamente a existência de aterros sanitários para a disposição final ambientalmente adequada dos RS, segundo preconiza a PNRS (BRASIL, 2010a), ainda não foi totalmente cumprida. Considerando que uma ação para cumprimento legal ainda não fora satisfeita, quando analisamos o aproveitamento energético dos RS dispostos em aterros sanitários no Brasil, percebemos que todas as atividades implementadas são resultado de projetos de MDL, e que esta prática proporcionou o avanço desta área no Brasil. Segundo Leme e colaboradores (2014), no Brasil os projetos de geração de energia utilizando o biogás dos aterros sanitários dependem fortemente da existência de um mercado de créditos de redução de emissões, uma vez que o custo de implantação e manutenção dessa atividade se tornaria inviável para o empreendimento sem o

aporte da comercialização dos créditos no Brasil. Da mesma maneira, Ellis e colaboradores (2007) afirmam que os projetos de MDL desempenham um duplo objetivo, o de reduzir as emissões dos países desenvolvidos a um custo efetivo e, ainda, oferecer a oportunidade da promoção do desenvolvimento sustentável nos países em desenvolvimento.

De acordo com Lima e colaboradores (2014), o aproveitamento energético do biogás possui um potencial significativo para a redução dos GEE, sendo esta fonte uma das maiores emissoras de metano em diversos países desenvolvidos, como o Estados Unidos, e mitigar essas emissões constitui um fator chave na diminuição do impacto climático.

No presente trabalho foi possível identificar que dos 7597 projetos registrados no Conselho Executivo do MDL, 333 são brasileiros, o que corresponde a cerca de 4,4% do total de projetos mundiais. E do total de projetos brasileiros, 65 projetos são relativos ao aproveitamento de biogás de aterro sanitário, o que corresponde a cerca de 58% do total de projetos mundiais registrados no escopo setorial “Gerenciamento e Disposição de resíduos”. Nesta perspectiva, o trabalho desenvolvido pelo MCTI, demonstrou que o Brasil ocupava o 3º lugar em número de atividades de projeto, com 330 projetos e atividades de projeto registradas (4%), sendo que em primeiro lugar encontrava-se a China com 3.763 (50%) e, em segundo, a Índia com 1.1536 projetos (20%) até novembro de 2014 (MCTI, 2014b).

Foi observado um acréscimo de 3 projetos brasileiros registrados de novembro de 2014 até fevereiro de 2015, momento em que o levantamento de dados deste trabalho foi finalizado. O mesmo trabalho realizado pelo MCTI (MCTI, 2014b) revelou que o escopo setorial “Tratamento e eliminação de resíduos” possuía, até novembro de 2014, uma quantidade de 82 projetos aprovados no CIMGC, sendo 63 relativos a biogás e 50 projetos de gás de aterro sanitário. Foi observado neste trabalho que, até fevereiro de 2015, o Brasil possuía 61 projetos de captura e queima ou aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários aprovados no CIMGC.

Quanto ao número de projetos distribuídos por estados brasileiros, o MCTI revelou que São Paulo lidera com uma quantidade de 74 projetos aprovados, seguido por Minas Gerais, com 56 e Rio Grande do Sul, com 42 projetos aprovados até novembro de 2014 (MCTI, 2014b). Neste trabalho, foi verificado que essa proporção modificou, em parte, quando analisou-se a quantidade de projetos de gás de aterro sanitário. O estado da Federação com o maior número de projetos de gás de aterro aprovado continua sendo São Paulo, com 25 projetos, seguido por Rio de Janeiro, com 5 projetos, e em terceiro lugar encontram-se empatados Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Bahia, todos com 4 projetos. De fato,

conforme afirma Lima e colaboradores (2014), São Paulo foi a primeira cidade do Brasil a aproveitar o biogás como fonte de energia, a primeira delas, inaugurada em 2003, dentro do aterro sanitário Bandeirantes, com capacidade instalada de 20 MW, foi anunciada, à época, como a maior usina a biogás do mundo.

No âmbito regional, observa-se que a região Sudeste lidera em número de projetos, tanto com previsão de aproveitamento energético (21 projetos) quanto somente para captura e queima do biogás (14 projetos). Grande parte desses projetos está localizado no estado de São Paulo. Uma questão interessante que merece destaque é fato da região Nordeste ter sido ranqueada como a segunda região brasileira com maior número de projetos de MDL de aterro sanitário, contando com 10 projetos com aproveitamento energético e 4 projetos apenas com captura e queima do biogás. Esse fato, contrasta com os resultados da pesquisa de saneamento básico realizada pelo IBGE em 2008 (IBGE, 2008), em que demonstra que cerca de 89,3% dos RS eram dispostos em vazadouros a céu aberto. Isso evidencia um grande avanço no saneamento ambiental nessa região, mesmo estes valores estando muito aquém do necessário para suprir a disposição ambientalmente correta dos RS gerados nesse território, uma vez que, segundo o senso publicado pelo IBGE em 2014, o Nordeste apresenta cerca de 56 milhões de habitantes (IBGE, 2014). Em contrapartida, a região Sul possui 9 projetos de MDL de aterro sanitário, 8 somente com captura e queima do biogás e 1 com aproveitamento energético do mesmo e, segundo o Atlas de Saneamento Básico do IBGE (IBGE, 2011) essa região possui o estado com o maior número de aterros sanitários, depois de São Paulo, que é o Rio Grande do Sul, porém a quantidade de aterros com aproveitamento energético não reflete o desenvolvimento econômico desta região e, menos ainda, a quantidade de aterros sanitários com potencial de exploração dessa fonte, portanto, poderia existir um maior esforço por parte do governo e dos empreendimentos localizados nesse território a fim de maximizar o uso dessa alternativa energética. Já a região Norte, com 3 projetos de MDL, 2 somente com captura e queima do biogás e 1 com aproveitamento energético do mesmo, ainda carece de infraestrutura para a disposição final ambientalmente adequada dos RS, segundo o atlas de saneamento básico, o qual afirma que essa região em 2008 apresentava uma proporção de 85,5% dos RS sendo dispostos em vazadouros a céu aberto (IBGE, 2011). A região Centro-Oeste, por sua vez, não apresenta nenhum projeto de MDL de aterro sanitário aprovado no CIMGC.

Quanto à redução de emissões, os projetos analisados, juntos, proporcionam uma redução de emissões de cerca de 13.191.505 tCO₂eq. Segundo o MCTI (MCTI, 2014b) o

Brasil ocupou o 4º lugar mundial na emissão de RCEs, sendo superado pela China, Índia e Coreia do Sul, com 900, 199 e 127 milhões, respectivamente. Quanto à distribuição de RCEs emitidas por tipo de projeto até 30 de novembro de 2014, as atividades de projeto de gás de aterro foram ranqueadas em segundo lugar, com 20% do total de RCEs emitidas, precedida pelos projetos de decomposição de NO₂, com mais de 49% do total de RCEs brasileiras, e seguida pela Hidroelétrica com 11% (MCTI, 2014b).

Dos aterros sanitários analisados, foi observado que 64% dos projetos de MDL para gás de aterro correspondem somente à captura e queima do biogás, enquanto os outros 36% preveem o aproveitamento energético do mesmo. Nesta perspectiva os projetos de biogás de aterros sanitários no Brasil contribuem com cerca de 285,5 MW para a complementação da matriz elétrica brasileira. Até novembro de 2014 o percentual de contribuição dos aterros sanitários brasileiros com aproveitamento energético registravam 252 MW (MCTI, 2014b), um acréscimo substancial quando consideramos o horizonte temporal, cerca de 3 meses de diferença entre essas duas pesquisas. Embora, pareça ser importante a contribuição estimada dos aterros sanitários brasileiros com aproveitamento energético do biogás para a matriz elétrica, os dados reais publicados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015), revelam que somente 10 usinas encontram-se em operação atualmente e enviando energia elétrica para a rede de distribuição, os quais possuem uma capacidade instalada de 62,3 MW, valores que realmente são muito aquém do previsto pelos projetos de MDL dos aterros sanitários analisados.

O país que possui a maior capacidade instalada de biogás é a Alemanha, com 1,7 GW e possui aproximadamente 4.700 usinas, seguido pelos Estados Unidos, Inglaterra e Itália, com aproximadamente 790MW, 680MW e 220MW, respectivamente (LIMA et al, 2014). Em um estudo realizado pelo MMA (2010), para estimar o potencial energético brasileiro para aproveitamento do biogás, geraria cerca de 311 MW e colocaria nosso país como um dos maiores geradores de energia elétrica a partir dessa fonte no mundo. Contudo, para que isso ocorra com efetividade devem ser instauradas políticas públicas, incentivos fiscais e governamentais.

A geração de energia alternativa constitui um elemento importante para garantir a segurança energética de um país, para garantir a complementaridade à matriz elétrica ou mesmo proporcionar a descentralização energética. Segundo o SRREN (IPCC, 2011), em 2008, a biomassa proveu aproximadamente 10% de toda a energia primária mundial, sendo a energia advinda de gás de aterro correspondendo a cerca de 3%. No Brasil, o Balanço

Energético Nacional (EPE, 2014) publicou que 7,6% da oferta de energia elétrica foi oriunda da biomassa, porém sem distinguir o tipo de matéria prima, e Maier & Oliveira (2014) afirmam que é estimado que o Brasil alcance uma capacidade instalada de 12.400 MW em 2020 e 17.500 MW em 2050 de usinas de geração de energia através do tratamento dos RSU em aterros sanitários.

Os projetos de MDL analisados discutem a inviabilidade financeira de implantação dos projetos de aproveitamento energético do biogás sem a obtenção dos créditos de carbono, demonstrando que os custos são bastante altos e essa seria a explicação de muitos empreendimentos desperdiçarem a energia contida no biogás. Entretanto, uma das premissas essenciais para o registro de um projeto de MDL no Conselho Executivo, seria justamente o fato dos proponentes demonstrarem adicionalidade, ou seja, que o projeto não seria viável sem a comercialização dos créditos de carbono. Neste sentido, alguns trabalhos discutem a legitimidade e clareza na demonstração dos dados que conduzem a essas conclusões. Watts e colaboradores (2015) em um estudo sobre o papel da América Latina na avaliação da carteira mundial após a conclusão do primeiro período de crédito, demonstraram que para a análise das principais barreiras do projeto, os proponentes geralmente utilizam declarações muito gerais sobre os principais obstáculos e muitas vezes não fornecem qualquer explicação sobre a forma como o MDL ajudaria a superar tais barreiras. Em várias ocasiões "barreiras de investimento" são declaradas, sem indicação de custos, de sua magnitude ou impacto nas receitas do projeto e quase todos os projetos afirmam que "práticas vigentes", como a utilização de combustíveis fósseis, são uma barreira. E dessa forma, se torna bastante difícil distinguir projetos que apresentam adicionalidade, daqueles que não apresentam.

Outra questão bastante discutida é a ausência, na legislação brasileira, de exigências legais para mitigar os efeitos negativos da emissão de GEE nos aterros sanitários. Conforme afirma Takimura e Júnior (2011): em decorrência da própria natureza do empreendimento ter como matéria prima o lixo, a legislação brasileira (PNRS) e a norma correspondente (NBR 8419/1984) já prevê a diminuição de riscos, como impermeabilização do solo, tratamento dos líquidos residuais, mas não impõe a queima do metano gerado, somente a implantação de dutos coletores visando dispersão dos gases. Dessa forma, os projetos de MDL possuem um duplo e importante objetivo: facilitar que os países desenvolvidos alcancem suas metas de emissão a um custo efetivo e, ainda, promover o desenvolvimento sustentável dos países em desenvolvimento (OLSEN & FENHANN, 2008).

7.2 DISCUSSÃO DO ESTUDO DE CASO DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO ATERRO SANITÁRIO DE ITABORAÍ/RJ.

No estudo de caso realizado no aterro sanitário de Itaboraí foi possível analisar os impactos gerados pelas atividades implementadas pelo projeto de MDL, comparando estes com o cenário da linha de base do projeto, o qual refere-se às atividades sem a implementação do mesmo.

Neste sentido, verificou-se que as atividades de projeto de MDL implementadas apresentam benefícios ambientais, representados por impactos positivos para todas as categorias de impacto analisadas. Verificou-se que a categoria intermediária “Toxicidade Humana” foi a que apresentou os maiores ganhos ambientais quando há implementação do projeto, da mesma maneira, esses resultados conduziram aos maiores benefícios sendo observados no ponto de final de categoria “danos à saúde humana”.

O ganho ambiental em relação à saúde humana pode ser explicado pelo fato do cenário de aproveitamento energético do projeto de MDL do aterro de Itaboraí incluir a destinação da energia gerada para a rede de distribuição, poupando o consumo e geração desta energia da matriz elétrica brasileira. Isso pode ser explicado pelo fato de que os maiores danos à saúde causados pela geração de energia elétrica serem causados pela emissão de partículas, como o O₃, CO, SO_x, NO_x, compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM), hidrocarbonetos, dioxinas, dentre outros (LEME et al, 2014). De outra maneira, os compostos ou poluentes secundários formados a partir do SO₂, NO_x e os COVNM, também causam impactos significativos sobre os ecossistemas terrestres e aquáticos, e ainda, sobre o patrimônio cultural e urbanístico (LEME et al, 2014). Por conseguinte, o software utilizado para analisar o desempenho ambiental do projeto de MDL do aterro de Itaboraí, considera o mix da matriz elétrica brasileira para calcular os benefícios ambientais dessa atividade. Dessa forma, de acordo com Balanço Energético Nacional – BEN de 2014 (EPE, 2014) a matriz brasileira possui uma participação de energias não renováveis da ordem de 20,7% no ano base de 2013, sendo estas basicamente derivadas de petróleo, as quais possuem uma grande taxa de emissão de GEE e particulados que causam danos à saúde humana (IPCC, 2011). E desta forma, a inserção da energia gerada no aterro sanitário em questão para a rede de distribuição abate as emissões de GEE e partículas oriundas da geração de energia da matriz brasileira.

Interessantemente, a categoria intermediária “Mudanças Climáticas”, foi ranqueada em quarto lugar em ganho de benefícios ambientais com a implementação do projeto de MDL

do aterro sanitário de Itaboraí. Quando são aplicados os mecanismos de flexibilização do Protocolo de Quioto, como o MDL, são indiscutíveis as contribuições que estes conferem à mitigação dos impactos adversos às mudanças do clima global, porém poucos são os trabalhos que inspecionam as diversas outras vantagens ambientais adquiridas na implementação destes mecanismos. O trabalho de Leme e colaboradores (2014), em um estudo que compara diversos cenários para o aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário em Belo Horizonte, MG, demonstra que a implementação da atividade de recuperação energética do biogás diminui consideravelmente o potencial de impacto das emissões de GEE, comparado com o cenário em que não há recuperação energética do biogás. Neste mesmo estudo, Leme e colaboradores (2014) concluíram que a recuperação de energia a partir do biogás reduz ligeiramente a carga ambiental do aterro sanitário e Cherubini e colaboradores (2009) demonstraram que na Itália quanto maiores forem os rendimentos na recuperação energética a partir da disposição final dos RS, maiores os benefícios ambientais alcançados. Conforme afirma Khoo e colaboradores (2010), as principais contribuições para o aquecimento global nos aterros sanitários que não possuem aproveitamento energético do biogás são causadas por emissões indiretas de consumo de energia e as emissões diretas do próprio processo.

Nesta perspectiva, a implantação do projeto de MDL no aterro sanitário de Itaboraí demonstrou uma contribuição considerável ao desenvolvimento sustentável e a conservação dos recursos naturais.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados neste trabalho foi possível vislumbrar o estado da arte e o status atual dos projetos de MDL dos aterros sanitários brasileiros, bem como identificar que a implementação e manutenção destas fontes alternativas de energia só são possíveis, no Brasil, no âmbito do MDL para obtenção dos créditos de carbono.

Dessa forma, a viabilidade econômica do processo de implantação ainda constitui-se uma barreira para que o uso dessa tecnologia possa ser difundida para todos os aterros sanitários brasileiros. Neste contexto, diversos estudos foram conduzidos a fim de considerar a avaliação econômica e financeira do gerenciamento dos RSU (SCHNEIDER et al., 2012, AMINI & REINHART, 2011, CARNEIRO & FERREIRA, 2012 e GÓMEZ et al. , 2010). Neste contexto, Schneider e colaboradores (2012) avaliaram diversos métodos alternativos de gestão de RSU em Zagreb, Croácia, a partir de um ponto de vista da evolução econômica e financeira, incluindo a utilização de biogás para a produção de energia elétrica, o uso de combustíveis derivados de resíduos na indústria do cimento, tratamento térmico (incineração) dos RSU, tratamento mecânico-biológico; e a queima de biogás, que é uma opção sem recuperação de energia. O custo e eficácia de cada tecnologia foram avaliadas, produzindo custos marginais da redução relativa dos GEE ao potencial de redução possível. Como resultado, os autores concluíram que a queima de biogás e sua utilização para a produção de eletricidade tem o maior benefício econômico. Igualmente, Barros e colaboradores (2014) demonstraram que os resultados das simulações realizadas para analisar o potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado em aterros sanitários brasileiros mostraram que as iniciativas de usinas de geração de energia a partir de biogás tornaram-se financeiramente atraente para os municípios com população de mais de 200.000 habitantes. E ainda, Leme e colaboradores (2014) detectaram que os projetos de usinas de aproveitamento energético do biogás de aterro, devido ao seu alto custo de instalação, operação e manutenção, são altamente dependentes das tarifas para o tratamento dos RSU, e para se tornarem atraentes financeiramente necessitam de um aumento dos impostos do município em uma ordem de três vezes.

De outra forma, inexitem no Brasil políticas públicas que favoreçam, ou mesmo, exijam a necessidade de mitigar os efeitos adversos do metano e outros GEE presentes no biogás gerado a partir da decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos orgânicos nos aterros sanitários brasileiros.

Considerando a importância ambiental do aproveitamento energético do biogás e da necessidade de geração descentralizada de energia elétrica perto de áreas urbanas, os resultados deste estudo destacam a necessidade da implementação de políticas públicas de apoio a iniciativas de aproveitamento do biogás. Estas políticas de apoio poderiam estar pautadas no desenvolvimento de instrumentos econômicos e financeiros que estimulassem os empreendedores a investirem esforços no sentido de implementar plantas de recuperação energética do biogás em aterros com valores menores de fluxo de RSU e nos quais esta prática é inviável atualmente. Conseqüentemente, estas políticas aumentariam a contribuição de biogás para consumo final de energia no Brasil, tornando-se o método mais adequado ambientalmente para o tratamento e disposição final de RSU no cenário contemporâneo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Matriz de Energia elétrica. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 20 de fev. 2015.

ALBUQUERQUE, L. *Análise Crítica das Políticas Públicas em Mudanças Climáticas e dos Compromissos Nacionais de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil*. 2012. 97f. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2012.

AMIN S. Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae. *Energy Convers Manage*, 50:1834–40, 2009.

AMINI, H. R.; REINHART, D. R. Regional prediction of long-term landfill gas to energy potential. *Waste management (New York, N.Y.)*, v. 31, n. 9-10, p. 2020-6, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10004: Classificação de resíduos sólidos, Junho 2004.

_____. NBR ISO 14040: gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

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

BARROS, R. M; TIAGO FILHO, G. L.; DA SILVA, T. R. The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. *Energy Policy*, v. 65, p. 150-164, 2014.

BNDES e CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 316 p, 2008.

BONTON, A.; BOUCHARD, C.; BARBEAU, B.; JEDRZEJAK, S. Comparative life cycle assessment of water treatment plants. *Desalination*, v. 284, p. 42–54, 2012.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 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. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato-2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso: 4 janeiro de 2014a.

BRASIL. DECRETO nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 4 janeiro de 2014b.

CAMARGO, P.O. *Mercado de Crédito de Carbono e os Aterros Sanitários*. Monografia. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia, São Paulo, 2005.

CAMPOS, C. P. de. *A Conservação das Florestas no Brasil, Mudança do Clima e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo*. Rio de Janeiro, 2001. 169 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2001.

CARNEIRO, P.; FERREIRA, P. The economic, environmental and strategic value of biomass. *Renewable Energy*, v. 44, p. 17-22, 2012.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Biogás: Definição. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Biog%C3%A1s/17-Defini%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em 19 jan. 2015.

CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICAS, PESQUISAS E FORMAÇÃO DE SERVIDORES PÚBLICOS DO RIO DE JANEIRO (CEPERJ). CEPERJ lança novo mapa alterando a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.ceperj.rj.gov.br/noticias/Mar_14/27/novo_mapa.html>. Acesso em 11 de maio de 2015. 27/03/2014.

CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, v. 34, n. 12, p. 2116-2123, 2009.

COOPETEC-ECP. Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Centro de Tratamento de Resíduos de Itaboraí, 2008

DAROIT, D. *Melhores práticas ambientais em empresas do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Administração da Escola de Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2001.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management* 50(1): 14-34, 2009.

DUARTE, A. C. *Projetos de MDL em aterros sanitários no Brasil: alternativa para o desenvolvimento sustentável*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ELLIS, J. et al. CDM: Taking stock and looking forward. *Energy Policy*, v. 35, n. 1, p. 15-28, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional, 2014.

FELIPETTO, A. V. Conceito, planejamento e oportunidades. IBAM, 2007.

GOEDKOOP, M.; OELE, M.; DE SCHRYVER, A.; VIEIRA, M. SimaPro Database Manual – Methods library. Report version 2.2. *Netherlands: PRé Consultants*, 2008.

GÓMEZ, A. et al. Potential and cost of electricity generation from human and animal waste in Spain. *Renewable Energy*, v. 35, n. 2, p. 498-505, 2010.

GUERRA, Antonio Teixeira e GUERRA, Antonio José Teixeira. Dicionário geológico-geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2014.

_____. Atlas de Saneamento. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm. Acesso em 20 de Jan. de 2015.

_____. Estadosat. Estados@. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>> Acesso em 20 de Mar. de 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN). Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp, 2011.

_____. IPCC. Chapter 6: Carbon and Other Biogeochemical Cycles. 2013. Disponível em http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2014.

_____. IPCC. Climate Change 2014 Synthesis Report, 2014.

KHOO, H. H.; LIM, T. Z.; TAN, R. B. H. Food waste conversion options in Singapore: environmental impacts based on an LCA perspective. *The Science of the total environment*, v. 408, n. 6, p. 1367-73, 2010.

LEME, M. M. V. et al. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 2014.

LIMA, A. K. C.; BERNSTEIN, A.; VALLE, T. F. Aproveitamento energético do biogás a partir de resíduos sólidos. Disponível em: <<http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/quimica/0021.html>>. Acesso em: 20 de Mar de 2015.

MAGRINI, A. Política e Gestão Ambiental: conceitos e instrumentos. In: MAGRINI, A; SANTOS, M.A.(ed.). Gestão Ambiental de bacias hidrográficas. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE/Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais, 2001.

MAIER, S.; OLIVEIRA, L. B. Economic feasibility of energy recovery from solid waste in the light of Brazil's waste policy: The case of Rio de Janeiro. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014. ISSN 1364-0321.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Documento de Concepção do Projeto (DCP) do aterro de Itaboraí. 2012. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235259.pdf>. Acesso em: 10 de Fev de 2015.

_____. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 2013. Disponível em <<http://gvces.com.br/arquivos/177/EstimativasClima.pdf>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2014.

_____. Status dos projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo. 2014a. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0232/232099.pdf>. Acesso em: 20 de Fev de 2015.

_____. Status dos projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil. 2014b. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0236/236122.pdf>. Acesso em: 10 de Mar de 2015.

_____. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>>. Acesso em: 20 de Fev de 2015.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - Brasil, 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Estudo sobre o potencial de geração de energia a partir de resíduos de saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. São Paulo, 2010.

_____. Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 18 de fev de 2014.

NAVARRO, M. O. *Análisis de ciclo de vida de sistemas de depuración y tratamiento de aguas*. 2006. 199 f. Proyecto Fin de Carrera. Ingeniería Química. Zaragoza, 2006.

OLSEN, K. H.; FENHANN, J. Sustainable development benefits of clean development mechanism projects. *Energy Policy*, v. 36, n. 8, p. 2819-2830, 2008.

PRATHER, Michael J.; HSU, Juno. NF₃, the greenhouse gas missing from Kyoto. *Geophysical Research Letters*, v. 35, n. 12, 2008.

PROTOCOLO, DE QUIOTO. Protocolo de Quioto. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. 34p, 1997.

ROCHA, M.J.B. *Do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo ao programa de atividades: uma análise do uso do biodiesel e da energia eólica no Brasil*. 170p. Dissertação de Mestrado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

SCHNEIDER, D. R.; KIRAC, M.; HUBLIN, A. Cost-effectiveness of GHG emission reduction measures and energy recovery from municipal waste in Croatia. *Energy*, v. 48, n. 1,

p. 203-211, 2012.

SINDICATO DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA (SELUR). Três anos após a regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): seus gargalos e superação, 2014. Disponível em http://www.selur.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2014/08/Estudo_Selur_2014-final.pdf. Acesso em: 29 de fev de 2015.

STERN N, et al. Stern Review: The economics of climate change. *Londres: HM, Treasury*, 173 p, 2006.

TAKIMURA, M.; JÚNIOR, V. M. Projetos Brasileiros de Aterro Sanitário no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: uma análise dos indicadores de sustentabilidade. *Revista Capital Científico-Eletrônica (RCCe)*-ISSN 2177-4153, v. 7, n. 1, p. 57-72, 2010.

TOURINHO, T. C. *Avaliação Comparativa do Ciclo de Vida de Processos de Tratamento de Efluentes Domésticos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica & Escola de Química - Programa de Engenharia Ambiental, 2014

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Convenção sobre Mudança do Clima. Disponível em: < <http://unfccc.int/2860.php> > Acesso em 10 Jan 2015.

WATTS, D.; ALBORNOZ, C.; WATSON, A. Clean Development Mechanism (CDM) after the first commitment period: Assessment of the world's portfolio and the role of Latin America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 41, p. 1176-1189, 2015.