

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAELA DE OLIVEIRA TAVARES

**ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO NOS ATERROS SANITÁRIOS DO
BRASIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018

RAFAELA DE OLIVEIRA TAVARES

**ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO NOS ATERROS SANITÁRIOS DO
BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Gabriela Helena Bauab Shiguemoto

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Rafaela de Oliveira Tavares

Estudo do Potencial enérgico nos aterros sanitários do Brasil

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 15:30hs do dia 14/11/2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto - Presidente (Orientador)

Prof(a). Dr(a). Edson Aparecido Rozas Theodoro - (Membro)

Prof(a). Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

AGRADECIMENTOS

Ao concluir essa etapa de minha vida, me deparei com uma grande transformação pessoal. Após me aventurar pela jornada do conhecimento a qual pude ser apresentada nestes cinco anos, percebi o quão importante foi à visão acadêmica, que me proporcionou um olhar além das matérias estudadas em sala de aula para a visão exterior de um mundo de possibilidades a serem exploradas. Esta experiência inestimável, bem como a conclusão deste trabalho, somente foi possível graças ao apoio de algumas pessoas a gostaria de endereçar e retribuir minha eterna gratidão:

A Deus, meu maior Mestre e Senhor, pelo dom da vida, pelas bênçãos conquistadas e pelas vitórias que ainda alcançarei em minha caminhada.

Aos professores do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, especialmente, a Prof.^a Dr.^a Gabriela Shiguemoto, orientadora deste trabalho. Sou grata pelos ensinamentos, esclarecimentos e sugestões dadas por todos os professores que contribuíram com minha formação e trajetória acadêmica.

Aos colegas de graduação, pelos momentos de alegria e superação, com quem tive a oportunidade de conviver e trocar experiências.

A empresa Biogás Energia Ambiental S/A por disponibilizar as informações utilizadas neste trabalho.

A minha família, pela educação, amor, e incentivos no alcance de meus objetivos. Por ser a base fundamental para que eu conseguisse prosseguir firme em direção de meu objetivo. Pela simplicidade, exemplo, amizade, e carinho, fundamentais na construção de meu caráter.

E um agradecimento particular a todas as pessoas, especialmente alguns amigos queridos que partilharam comigo sua amizade, confiança, paciência e compreensão na busca incessante de concluir este trabalho. Sem a força e o apoio deles nada disso seria possível. Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

*“Na natureza nada se cria, nada se perde,
tudo se conserva.”
(Lavoisier)*

RESUMO

Tavares, Rafaela O. **Estudo do Potencial Energético nos Aterros Sanitários do Brasil**. 2018. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

Diante de alguns problemas atuais relacionados a questões sobre preservação ambiental, possibilidade de escassez de recursos naturais em curto prazo e de uma crescente necessidade energética do país, as alternativas de geração de energia através de fontes renováveis apresentam-se como soluções ecológica e economicamente viáveis para resolver tais problemas. Este trabalho objetiva mostrar o potencial de geração de energia no Brasil por meio do biogás proveniente de aterros sanitários. O mesmo apresenta os principais conceitos sobre a geração de energia mostrando os tipos de geração existentes com foco na geração a partir de resíduos sólidos urbanos. Verificou-se também por meio de dados e informações reais de uma Usina Termelétrica o passo a passo do processo de tratamento do biogás até a geração de energia. Para a mensuração do potencial foram realizados métodos de cálculos desenvolvidos pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática) para se obter a quantidade de emissões de metano e conseqüentemente o potencial de geração do biogás. Através dos resultados obtidos foi possível verificar a viabilidade financeira deste sistema de geração que contribui para a otimização de recursos naturais e redução de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Biogás, Potencial de geração de Energia, Aterro Sanitário, Coleta de Resíduos sólidos Urbanos.

ABSTRACT

Tavares, Rafaela O. **Study of the Energy Potential in landfill in Brazil.** 2018. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

In the presence of current problems related to environmental preservation issues, the possibility of a shortage of natural resources in the short-term period, and the growing demand of energy need in the country, the alternative power generation through renewable sources are presented as ecologically and economically feasible solutions for such challenges. This theses aims to demonstrate the potential of energy generation in Brazil through biogas from landfills. It presents main concepts about power generation, showing the existing types of power generation, focused on generation from solid urban waste. The step by step process of treatment of the biogas until its generation of energy was corroborated through data inputs and actual information of a Thermoelectric Plant. For the potential measurement, calculation methods were developed by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) to obtain the number of methane emissions and consequent potential biogas generation. Through the results obtained, it was possible to examine the financial viability of this generation system that contributes to the optimisation of natural resources and reduction of greenhouse gases.

Keywords: Biogas, Potential power generation, Landfill, Solid urban waste.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Matriz energética brasileira.....	20
Gráfico 2 - Geração de RSU no Brasil	30
Gráfico 3 - Coleta de RSU no Brasil.....	31
Gráfico 4 - Índice de cobertura da coleta de RSU (%)	31
Tabela 3 – Quantidade de RSU coletado no Brasil e Regiões.....	32
Gráfico 5 - Percentual de RSU coletado por região	32
Gráfico 6 – Destino do RSU Coletado.....	33
Gráfico 7 - Disposição final de RSU no brasil por tipo de destinação (T/DIA).....	34
Gráfico 8- Potencial Energético por Região	55
Gráfico 9- Potencial Energético de Aterro Sanitário por estado	55
Gráfico 10 - Composição gravimétrica de RSU no Brasil.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução das Emissões brutas e líquidas de GEE no Brasil por setor entre 1970 e 2014 (Milhões de toneladas de CO ₂).....	16
Figura 2 - Emissão de GEE na geração de eletricidade, por fonte primária	
Figura 3 - Estrutura básica de uma Usina de biogás.....	25
Figura 4 - Fases do processo de decomposição dos resíduos em aterros	29
Figura 5 - Fases da biodegradação sem interferência dos RSU	40
Figura 6 - Dreno Vertical do Aterro Bandeirantes-SP	42
Figura 7 - Coletores.....	44
Figura 8 - Condensador do biogás de aterro.....	45
Figura 9 - Resfriador (<i>chiller</i>).....	46
Figura 10 - Soprador (<i>blower</i>)	47
Figura 11 – Motor de combustão Ciclo Otto	48
Figura 12 – Queimadores (flares).....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de Energia nas Termoelétricas.....	22
Tabela 2 - Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada	27
Tabela 3 - Quantidade de RSU coletado no Brasil e Regiões.....	32
Tabela 4 - Constituinte típico encontrado no biogás do aterro RSU.....	38
Tabela 5 - Usinas de Aterros instaladas no Brasil.....	53
Tabela 6 - Usinas de Aterros instaladas no Brasil.....	54

LISTA DE SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AIE	Agência Internacional de Energia
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COD	Carbono Orgânico Degradável
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática)
IPLA	Parceria Internacional para desenvolvimento da gestão de resíduos
ISWA	International Solid Waste Association
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organizador das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PIE	Produção independente de Energia
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
REG	Registro
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1	Relevâncias da pesquisa	18
1.2	Objetivos	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
2.	GERAÇÃO DE ENERGIA	20
2.1	Hidrelétricas	20
2.2	Termoelétrica	21
2.3	Energia Eólica	22
2.4	Energia Solar	23
2.5	Energia Nuclear	23
2.6	Potencial Energético Brasileiro	23
2.7	Geração de Energia de Biogás	25
3.	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	26
3.1	Métodos de Disposição de Resíduos	26
3.1.1	Lixões	27
3.1.2	Aterro controlado	27
3.1.3	Aterro sanitário	28
3.2	Geração e Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos	30
3.3	Destinação Final de RSU	33
4.	FORMAS DE APROVEITAMENTOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.	35
4.1	Reciclagem	35
4.2	Compostagem dos resíduos	35
4.3	Incineração dos resíduos	36
5.	O BIOGÁS DE ATERRO E SEU APROVEITAMENTO	38
5.1	Formação do gás de aterro	38
5.2	O metano	41
5.3	Créditos de Carbono	41
5.4	Formas de queima do Metano	42
6.	ATERRO SANITÁRIO E USINA DE BENEFICIAMENTO DO BIOGÁS	44
7.	USINA SÃO JOÃO	50

8.	POTENCIAL ENERGÉTICO NOS ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS	53
8.1	Potencial Energético do biogás de Aterro por Região	54
8.2	Potencial Energético de Aterro Sanitário por estado	55
8.3	Cálculo de emissões do Metano	57
8.4	Calculo do potencial Energético presente nos RSU do Brasil	62
8.5	Resultados obtidos	63
8.5.1	Emissões de metano e Potencial Energético - Aterros Sanitários do Brasil.	64
8.5.2	Estimativa de Emissões de metano e do Potencial Energético de biogás no Brasil.	65
9.	ANÁLISE PRÉVIA DE VIABILIDADE NA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA	67
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS	70

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico da humanidade surge uma dependência mais acentuada de fontes de energia. Simultaneamente, tem-se também o aumento da geração de resíduos sólidos coletados, pois o mesmo está relacionado a esse desenvolvimento.

Neste contexto, um dos problemas ambientais dos grandes centros urbanos é a disposição final desses resíduos. Uma solução para o problema é a implantação de aterros sanitários, estrutura mais desenvolvida e ligada à sustentabilidade, sendo esta a que causa menor impacto socioambiental, por ter instalações adequadas para o lixo urbano. (MMA, 2018).

O aterramento do lixo leva à produção de biogás, produto resultante do processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica pela ação de bactérias. A distribuição da concentração destes gases varia de acordo com o aterro e de acordo com a composição, idade e umidade dos resíduos, e as condições de temperatura e de pH, o projeto do aterro e a sua operação. O Biogás gerado possui em sua composição uma alta concentração de metano (entre 45% a 60%), sendo este um dos responsáveis pelo aquecimento global (MMA, 2018).

A emissão desses gases geram novos problemas. Segundo dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes do setor de resíduos vem crescendo conforme os anos, mesmo sabendo que estes representam a menor parcela de contribuição de emissões com 68,4 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂e) em 2014 (figura 1). (SEEG, 2016).

Este setor possui grande impacto na atmosfera devido à geração de gases com maior potencial de aquecimento global, como é o caso do metano (CH₄), 21 vezes mais prejudicial que o dióxido de carbono (CO₂) (MMA, 2018).

No setor de Resíduos houve um crescimento de 500% de emissões entre 1970 e 2014 e de 80% entre 2000 e 2014, como pode ser visto na figura 1, números preocupantes que podem ser reduzidos com o tratamento correto dos resíduos, como acontece nos aterros sanitários com a recuperação e a queima do metano (SEEG, 2016).

Figura 1 - Evolução das Emissões brutas e líquidas de GEE no Brasil por setor entre 1970 e 2014 (Milhões de toneladas de CO₂)

Setores	1970	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Agropecuária	161	240	287	317	328	392	406	418	413	418	423
Energia	99	185	190	228	288	313	368	382	418	452	479
Processos Industriais	14	39	51	65	76	83	95	101	101	99	101
Resíduos	12	18	27	32	39	46	58	59	59	64	68
Mudança de Uso da Terra	-	-	1.068	2.139	1.503	2.319	893	843	771	887	774
Total Emissões	285	483	1.624	2.781	2.234	3.154	1.821	1.803	1.762	1.921	1.846
Remoção por MUT**	-	-	-36	-36	-36	-182	-209	-209	-209	-209	-209
Remoções por F.A.P***	-	-	-190	-202	-211	-264	-315	-315	-315	-315	-317
Total Remoções	-	-	-226	-237	-257	-446	-524	-524	-514	-524	-526
Emissões Líquidas	285	483	1.398	2.544	1.977	2.708	1.297	1.279	1.237	1.396	1.320

Fonte: SEEG (2016).

Uma das alternativas para a redução de GEE é o aproveitamento do gás metano para geração de energia.

Aterros sanitários, sendo obras planejadas, podem conter sistemas de captação de metano para aproveitamento energético ou para conversão do mesmo em dióxido de carbono por meio de *flare* [queima], podendo assim reduzir o impacto na atmosfera (Observatório do Clima).

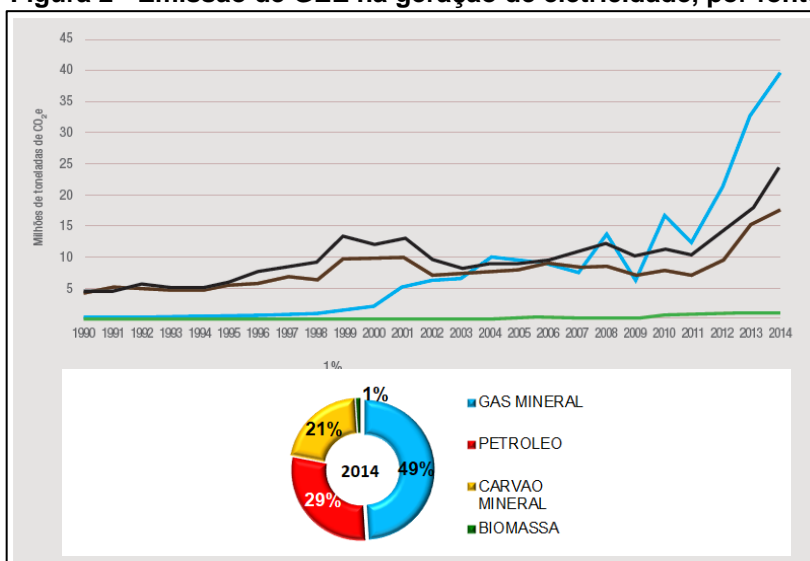
A retirada e aproveitamento do biogás em um aterro sanitário podem ser feitos através da instalação de drenos que atinjam todas as camadas de lixo. A impermeabilização da base e da cobertura do aterro é uma medida que contribui tanto para colaborar com o processo de degradação da matéria orgânica, aumentando a produção do biogás, quanto para prevenir a contaminação do solo e da água subterrânea do local (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

O sistema de extração encaminha os gases provenientes do aterro (biogás) para um sistema de captação, levando-o até o sistema de tratamento, o qual é composto por um conjunto de trocadores de calor que o condensa para que aconteça a separação do gás e as gotículas que se tornam um material particulado e é encaminhado para o reservatório de chorume, o biogás após ser “purificado” segue até os sopradores e de lá alimentam os moto-geradores para assim ser gerado a energia (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

A geração de energia através do biogás é uma solução para a redução de GEE, pois além de diminuir as emissões provenientes dos resíduos ela diminuiria as emissões do setor de energia, que esta em segundo lugar entre os principais emissores de gases de efeito estufa, e se considerado das emissões líquidas, o setor de energia ocupa a primeira colocação (MDL 2017).

O incentivo à geração de energia nos aterros sanitários (Termoelétrica com combustível de biomassa) diminuiria da participação da termoelétrica a combustível fóssil, que foram responsáveis pelo aumento das emissões de GEE na geração de eletricidade em nove vezes entre 1990 (8,6 MtCO₂e) e 2014 (82,0 MtCO₂e), ano em que as suas emissões atingiram seu patamar mais elevado, representando 17% do Setor de Energia e passando a ser o segundo maior emissor, depois dos Transportes. Como pode ser visto na figura 2 em 2014 as emissões decorrentes da geração termelétrica, aquelas provenientes do uso de gás natural corresponderam a 49%, contra 29% das emissões de derivados de petróleo e 21% do uso de carvão mineral e derivados (SEEG, 2016).

Figura 2 - Emissão de GEE na geração de eletricidade, por fonte primária



Fonte: Adaptado de SEEG (2016)

De acordo com a figura 2, entre o ano de 2011 e 2014 constatou-se um acentuado aumento nas emissões de gás natural, isto ocorreu devido à queda na geração hídrica, devido ao racionamento de água, quando os reservatórios ficaram abaixo do percentual permitido, com isso as termoelétricas entraram em funcionamento e assim tivemos um aumento considerável nas emissões por combustíveis fósseis.

1.1 Relevâncias da pesquisa

O uso de novas alternativas de energia tornou-se imprescindível no cenário mundial, visto que o crescente desenvolvimento humano e tecnológico também fez crescer a necessidade energética da humanidade. Países mais desenvolvidos tem conseguido utilizar menos energia para produzir bens e serviços, o Brasil, no entanto está aumentando o consumo para gerar o mesmo crescimento econômico. Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE) a intensidade energética - medida pela energia usada para produzir um dólar de PIB- caiu, em 2016, 1,8% em termos globais. Entretanto no Brasil esse índice vem subindo desde 2013 (Jornal do comércio, 2007).

O Brasil encontra-se no limite entre geração e consumo de energia. Sua matriz energética é predominantemente hidráulica, porém já está saturada, sendo novas alternativas de geração de energia imprescindíveis. Neste contexto, pode-se ver um aumento na geração de energias renováveis, como é o caso da eólica e da solar (ONS, 2018).

A geração de energia usando biogás tem ganhado seu espaço com o passar dos anos, como geração sustentável. Atualmente tem-se uma capacidade de geração de 133.129KW/h, o que corresponde a 0,079% da matriz energética brasileira (ANEEL, 2018). Esses valores são menores comparados a outras fontes de energia. Todavia, o presente trabalho visa ressaltar a importância de ter um incentivo para a geração de energia por meio do biogás e mostrar, usando dados concretos, que o Brasil possui um imenso potencial energético depositado nos resíduos sólidos urbanos (RSU) e que esse potencial não pode ser desperdiçado.

Os Aterros Sanitários são uma solução para a destinação dos resíduos sólidos urbanos não recicláveis recomendadas pelo IPCC/ONU, e a implantação de usinas nos aterros sanitários é uma forma de otimização dos recursos naturais, pois toda a energia existente é conservada e o aproveitamento energético do biogás produzido pela degradação dos resíduos deve ser convertido em energia útil (MDL 2007).

Esse aproveitamento energético gera inúmeros benefícios, como a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE), possibilitando a

recuperação energética mais eficiente dos resíduos urbanos que estariam inutilizados ou subutilizados. Outro ponto que merece destaque é a necessidade de uma menor área para a implantação da usina, podendo ser instalada próxima aos centros urbanos, o que implica em redução dos custos de coleta e transporte dos resíduos, além de substituir fontes fósseis de energia, com vistas à otimização de recursos naturais (ABRELPE, 2012).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Quantificar o Potencial Energético presente nos aterros sanitários do país através da metodologia sugerida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 1996) e mostrar através de resultados obtidos pelas equações, a quantidade de energia que poderia ser gerada por meio do total de resíduos sólidos coletados atualmente no Brasil, mostrando assim sua importância para a Matriz Energética Brasileira, meio ambiente e para a sociedade.

1.2.2 Objetivos específicos

✓ Realizar um estudo sobre geração de energia termelétrica com a utilização de combustível de biogás.

✓ Realizar um estudo sobre a usina termelétrica São João, como exemplo real de energia por meio do biogás.

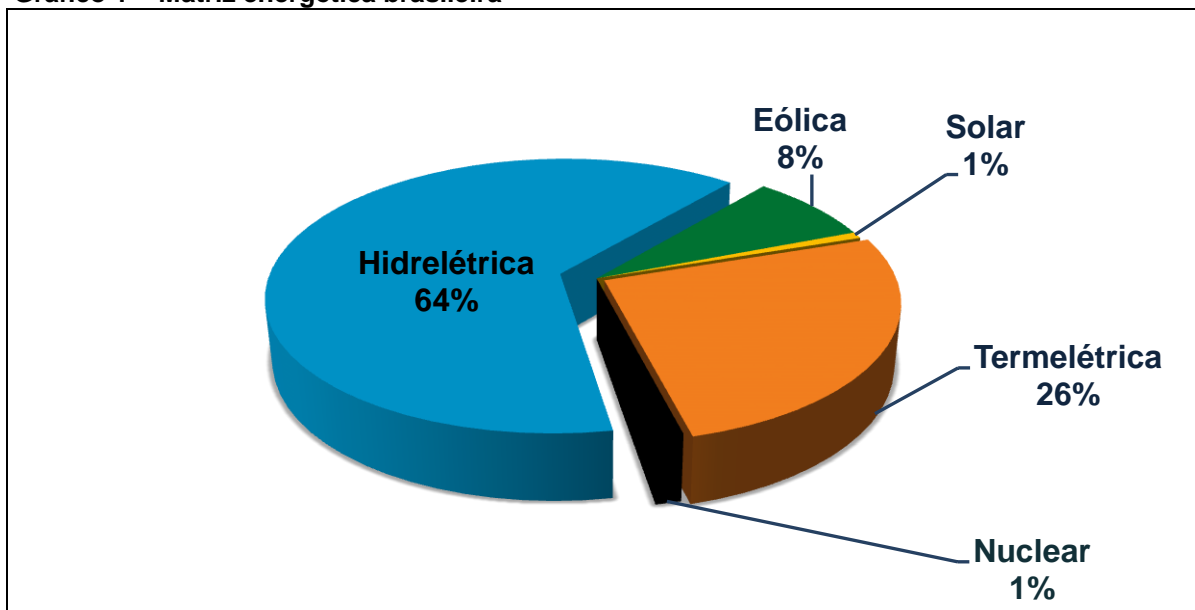
✓ Fazer um levantamento dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil.

✓ Realizar um estudo quantitativo do Potencial Energético nos aterros sanitários, considerando a quantidade de resíduos que é coletado anualmente no país;

2. GERAÇÃO DE ENERGIA

Segundo Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2018) o Brasil possui atualmente 7.143 empreendimentos em operação que totalizam 160.672.617,00 KW de potência instalada que é distribuída em cinco formas primárias de geração de energia: Hidrelétricas, Eólica, Solar, Termoelétrica, Nuclear.

Gráfico 1 – Matriz energética brasileira



Fonte: Adaptado de ANEEL (2018)

2.1 Hidrelétricas

As Usinas Hidrelétricas ocupam a maior parcela da Matriz energética Brasileira com 64% do potencial instalado, sua energia está associada à vazão do rio, a quantidade de água disponível em um determinado período de tempo e à altura de sua queda. Quanto maiores são o volume, a velocidade da água e a altura de sua queda, maior é seu potencial de aproveitamento na geração de eletricidade, na usina hidrelétrica a água move as turbinas, que acionam os geradores de energia (CCEE,2018).

A potência instalada de uma usina é o que determina se ela é de grande ou médio porte. A Agência nacional de energia Elétrica (ANEEL) adota três Classificações:

- Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH, com até 1MW de potência instalada).

- Pequenas centrais Hidrelétricas (PCH, entre 1,1 MW e 30MW de potência instalada).
- Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW de potencia instalada).

O tamanho de uma usina determina as dimensões da rede de transmissão, quanto maior a usina, mais distante ela costuma estar dos grandes centros, exigindo a construção de extensas linhas de transmissão em alta tensão (CCEE,2018).

2.2 Termoelétrica

Em segundo lugar na matriz energética brasileira esta a geração de energia através de termoelétricas, responsável por 26% da geração, ela consiste em uma instalação industrial usada para geração de energia elétrica a partir da energia liberada em forma de calor, o movimento dos geradores se dá por meio da combustão de algum tipo de combustível renovável ou não renovável. Os combustíveis não renováveis são aqueles de origem fósseis, como o Petróleo e o gás natural entre outros.

Os combustíveis renováveis, também chamados de biomassa, são recursos oriundos de matéria orgânica de origem animal ou vegetal. Os combustíveis fósseis tem uma maior eficiência em relação à biomassa, todavia é possível aumentar a eficiência da geração de biomassa através de processos como a gaseificação e a pirólise - decomposição térmica de materiais contendo carbono, na ausência de oxigênio (CCEE, 2018).

Atualmente existem 3001 termoelétricas instaladas no Brasil, como mostrado na Tabela 1, sendo 65% provenientes de combustíveis fósseis e 35% de Biomassa, entretanto o percentual de combustíveis fósseis vem diminuindo com o crescimento da geração de biomassa, segundo a CCEE (2018) entre 2016 e 2017 houve um aumento de 9% na geração das Usinas térmicas movidas a biomassa (Canal Energia, 2017).

Tabela 1 – Geração de Energia nas Termoelétricas

Termelétricas	Usinas Instaladas	Potência (KW)	% de Potencia	
Petróleo	2250	9.794.072,00	23,27	65%
Carvão Mineral	24	3.717.830,00	8,83	
Gás natural	167	13.760.670,00	32,69	
Outros Fósseis	1	147.300,00	0,35	
Floresta	99	3.177.230,00	7,55	35%
Resíduos Sólidos Urbanos	22	138.379,00	0,33	
Resíduos animais	14	4.481,00	0,01	
Biocombustíveis líquidos	3	4.670,00	0,01	
Agroindustriais	421	11.349.976,00	26,96	
Total	3001	42.094.608,00	100,00	

Fonte: Adaptado de ANELL (2018)

2.3 Energia Eólica

A geração energia Eólica é energia contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água. Atualmente o potencial instalado é de 12.537.943KW equivalente a 8% de toda a energia gerada no país (CCEE, 2018).

O Brasil é favorecido em termos de ventos, que se caracterizam por uma presença duas vezes superior à média mundial e por uma volatilidade de apenas 5%, o que dá maior previsibilidade ao volume a ser produzido (CCEE, 2018).

Segundo a Eletrobrás estimativas apontam que o Brasil tem um potencial de geração de energia eólica de 143.500.000KW, volume próximo à potência total instalada no país (CCEE, 2018).

2.4 Energia Solar

A energia Solar é uma energia eletromagnética cuja fonte é o sol. O Brasil possui uma potência instalada de 1.349.373,00 KW, que representa 1% de matriz energética. Para a geração de energia elétrica são usados dois sistemas: o helio-térmico, em que a irradiação é convertida primeiramente em energia térmica e posteriormente em elétrica; e o fotovoltaico, em que a irradiação solar é convertida diretamente em energia elétrica. (ECYCLE, 2018). O Brasil é privilegiado em vários aspectos de geração renovável, a região nordeste se destaca entre as melhores regiões do mundo em termos de radiação solar, isto devido à proximidade com a linha do Equador (CCEE, 2018).

2.5 Energia Nuclear

Usinas nucleares são usinas térmicas que usam o calor produzido na fissão de átomos de Urânio para movimentar vapor de água, que, por sua vez, movimenta as turbinas e assim geram energia elétrica. No Brasil temos duas usinas nucleares em atividade e uma em construção, ambas localizadas na Praia de Itaorna, em Angra dos Reis (RJ). As três usinas conhecidas como Angra 1, Angra 2 e Angra 3, fazem parte da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, e atualmente geram um total de 1.990.000 kW (CCEE, 2018).

2.6 Potencial Energético Brasileiro

O Brasil é o país com a maior participação de energia renovável em sua matriz energética devido às condições favoráveis de clima e localização geográfica, colocando-o em posição de destaque no ranking mundial, segundo MME (2015) em 2014 a geração por fontes renováveis representou 73% da geração de energia elétrica do país.

Como visto anteriormente o Brasil dispõe de 7.143 empreendimentos em operação, que estão divididos nas diversas fontes de energia, esta divisão pode ser dada em níveis de energia, como pode ser visto no quadro 1.

Quadro 1- Potencial Energético por fonte de Nível 2

	Origem	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2	Nº de Usinas	(KW)	%
Termelétricas	Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	404	11.264.992	6,6879
			Biogás-AGR	3	7.951	0,0047
			Capim Elefante	2	31.700	0,0188
			Casca de Arroz	12	45.333	0,0269
		Biocombustíveis líquidos	Etanol	1	320	0,0002
			Óleos vegetais	2	4.350	0,0026
		Floresta	Carvão Vegetal	8	43.197	0,0256
			Gás de Alto Forno - Biomassa	12	127.705	0,0758
			Lenha	5	36.015	0,0214
			Licor Negro	18	2.542.616	1,5095
		Resíduos Florestais	56	427.697	0,2539	
		Resíduos animais	Biogás - RA	14	4.481	0,0027
		Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	20	133.129	0,079
			Carvão - RU	2	5.250	0,0031
		Fóssil	Carvão mineral	Calor de Processo - CM	2	28.400
	Carvão Mineral			14	3.323.740	1,9733
	Gás de Alto Forno - CM			8	365.690	0,2171
	Gás natural		Calor de Processo - GN	1	40.000	0,0237
			Gás Natural	166	12.647.659	7,6962
	Outros Fósseis		Calor de Processo - OF	1	147.300	0,0875
			Gás de Alto Forno - PE	1	1.200	0,0007
	Petróleo		Gás de Refinaria	6	315.120	0,1871
			Óleo Combustível	77	4.051.467	2,4053
			Óleo Diesel	2148	4.399.159	2,611
			Outros Energéticos de Petróleo	18	1.028.328	0,6105
	¹ Undi-Elétrica	Cinética da água	Cinética da água	1	50	0
Hídrica	Potencial hidráulico	Potencial hidráulico	1337	102.853.052	60,687	
Nuclear	Urânio	Urânio	2	1.990.000	1,1814	
Solar	Radiação solar	Radiação solar	2257	1.406.373	0,8011	
Eólica	Cinética do vento	Cinética do vento	545	13.400.343	7,938	
Importação	Paraguai			5.650.000	3,3543	
	Argentina			2.250.000	1,3358	
	Venezuela			200.000	0,1187	
	Uruguai			70.000	0,0415	
			Total	7143	168.842.617	100

Fonte: Adaptado de ANELL (2018).

Ao contemplarmos a diversidade de fontes de geração de energia percebe-se que o Brasil dispõe de um imenso potencial energético, todavia nem todas as formas de geração são exploradas em sua totalidade.

O presente trabalho tratará na geração de energia de Biomassa com foco no aproveitamento energético presente no biogás de aterro sanitário.

¹ A geração Undi-Elétrica no Brasil é a primeira usina de ondas na América Latina responsável pela geração de energia elétrica por meio do movimento das ondas do mar.

2.7 Geração de Energia de Biogás

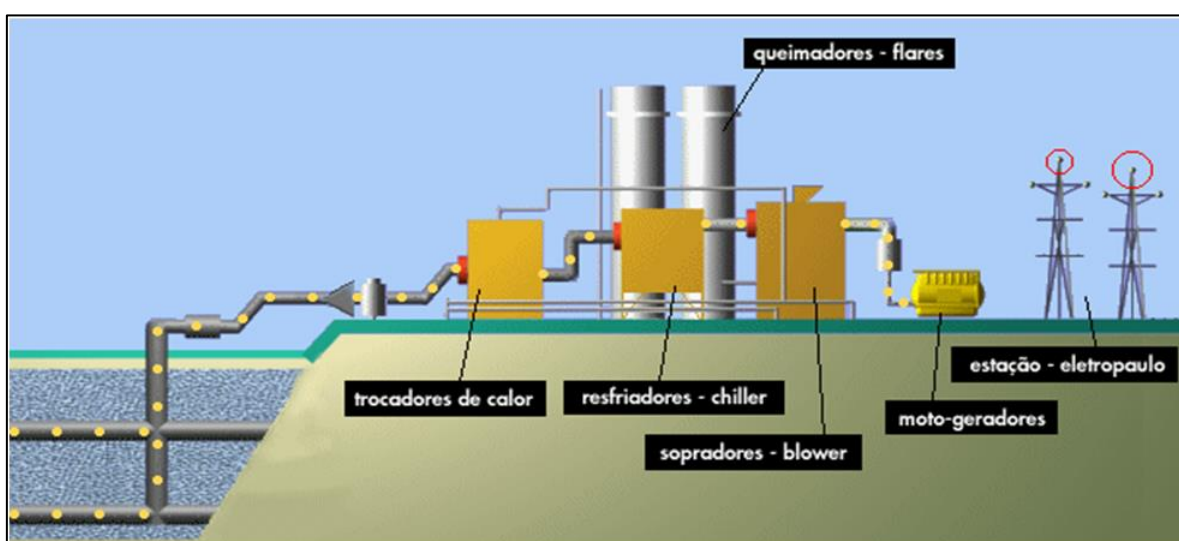
A Geração de energia de biogás vem ganhando seu espaço com a passar dos anos. Atualmente temos uma capacidade de geração de 133.129 KW/h o que corresponde a 0,0789% da matriz energética brasileira (ANEEL, 2018).

O biogás é o gás produzido a partir da decomposição da matéria orgânica num processo anaeróbico. Na geração de energia de biogás, ocorre a conversão de energia química do gás em energia mecânica por meio de um processo controlado de combustão. Essa energia mecânica ativa um gerador que produz energia elétrica.

Devido aos avanços tecnológicos existem diversas formas para a transformação de energia mecânica em energia elétrica, as mais utilizadas são: As microturbinas a gás e os motores de combustão interna de ciclo Otto (MIRANDA, 2017). Nos aterros sanitários com aproveitamento energético é mais usual a utilização de motores de combustão interna de ciclo Otto, pois esses motores são de fácil instalação e possuem um maior rendimento.

A figura 3 mostra o processo de geração de energia por meio do biogás, apresentando uma estrutura básica de uma usina termelétrica de aterro sanitário. O processo desta geração será detalhado nos capítulos posteriores.

Figura 3 – Estrutura básica de uma Usina de biogás



Fonte: Silva (2006)

3. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A preocupação com os resíduos vem sendo discutida há algumas décadas em todo o mundo, devido a aumento da conscientização em relação ao meio ambiente. Tem-se hoje o conceito de responsabilidade compartilhada, onde a sociedade como um todo – população, governos, setor privado e sociedade civil organizada – passou a ser responsável pela gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos (MMA, 2012).

Denominam-se resíduos sólidos urbanos os resíduos domiciliares, que são originados das atividades domésticas em residências urbanas incluindo os resíduos provenientes da limpeza pública de vias, praças, e demais locais de limpeza urbana. No Brasil, os principais materiais coletados são: metais, papel, papelão e embalagens longa vida, plástico, vidro e a matéria orgânica. (ABRELPE, 2016).

Após 20 anos de discussões no Congresso Nacional ocorreu em 2010 a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, com o intuito de solucionar problemas na gestão de resíduos sólidos e dar novos rumos à discussão sobre o tema. (MMA, 2018)

A busca por soluções na área de resíduos reflete a demanda da sociedade que pressiona por mudanças motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais. Se manejados adequadamente, os resíduos sólidos adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de novas matérias-primas ou novos insumos. A implantação de um Plano de Gestão trará reflexos positivos no âmbito social, ambiental e econômico, pois não só tende a diminuir o consumo dos recursos naturais, como proporciona a abertura de novos mercados, gera trabalho, emprego e renda, conduz à inclusão social e diminui os impactos ambientais provocados pela disposição inadequada dos resíduos. (MMA, 2018).

3.1 Métodos de Disposição de Resíduos

Consideram-se como destino final de resíduos sólidos urbanos as seguintes modalidades: aterro sanitário, aterro controlado, vazadouro a céu aberto (lixão), unidade de compostagem, unidades de incineração, unidade de triagem e reciclagem, vazadouro em áreas alagáveis (MMA, 2012). Todavia a disposição final do RSU no Brasil acontece preferencialmente de três formas: Aterro Sanitário, Aterro

Controlado e Lixão. Segundo dados da ABRELPE (2016), existem ao todo 5570 lugares de destinação dos resíduos sólidos urbanos nas cinco regiões do país, como se pode ver na Tabela 2, sendo em sua maioria Aterros Sanitários.

Tabela 2 - Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada

Disposição Final	Brasil 2015	2016 - Regiões e Brasil					
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Aterro Sanitário	2244	92	458	161	822	706	2239
Aterro Controlado	1774	112	500	148	644	368	1772
Lixão	1552	246	836	158	202	117	1559
Brasil	5570	450	1794	467	1668	1191	5570

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2016).

Abaixo, as definições e características das três disposições finais de resíduos:

3.1.1 Lixões

Os lixões são vazadouros a céu aberto, que não fornecem nenhum tratamento adequado para o lixo. Nos lixões os resíduos coletados nas residências, indústrias, hospitais, entre outros, são depositados a céu aberto. Visto que essa destinação não possui nenhum critério sanitário de proteção ao meio ambiente, o resultado é que todo esse lixo contamina a água, o ar, o solo, o lençol freático, atraindo vetores de doenças, como moscas, mosquitos, baratas e ratos (FOGAÇA, 2018).

3.1.2 Aterro controlado

É Instalação intermediária entre os lixões e os aterros sanitários. Normalmente, são áreas mais antigas de lixões que são remediadas para diminuir os impactos ambientais e receber mais resíduos. Os aterros controlados recebem

uma cobertura de argila e grama diariamente em cima do lixo, prática que diminui o impacto visual e o mau cheiro, além de evitar a proliferação de insetos e animais. Também é feita a captação do biogás, que ao invés de ser liberado sem tratamento, é queimado. O problema fica por conta do chorume, que por falta de impermeabilização da base, contamina o solo e os lençóis freáticos (PENSAMENTO VERDE, 2013).

3.1.3 Aterro sanitário

Segundo a norma da ABNT NBR 8.419/1992, aterro sanitário pode ser definido como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessários. (ABNT, 1992)

Os aterros sanitários são as instalações mais adequadas para a disposição dos resíduos sólidos urbanos. Um projeto de engenharia é desenvolvido antes de se iniciar a disposição do lixo e tudo é pensado de modo a causar o menor impacto socioambiental, desde a preparação do terreno até o final de sua vida útil.

A Norma Técnica NBR 8419 (ABNT, 1992) especifica o padrão e algumas limitações para a construção e instalação de aterros sanitários que estão relacionadas a baixo:

- O aterro não pode ser construído em áreas com probabilidade de inundação;
- Deve haver uma camada de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado entre a superfície interior do aterro e o mais alto nível do lençol freático;
- O nível do solo deve ser calculado durante a época de maior precipitação pluviométrica da região;
- O solo deve ser argiloso, ou seja, de baixa permeabilidade;

- A localização do aterro sanitário deve observar uma distância mínima de 200 metros de qualquer curso d'água; preferencialmente de fácil acesso;
- Deve-se observar a questão da arborização nas redondezas para evitar erosões, espalhamento da poeira e retenção dos odores;
- O projeto deve conter a construção de poços de monitoramento para avaliar a ocorrência de vazamentos e contaminação do lençol freático.
- Deve-se considerar o monitoramento do efluente da lagoa no mínimo de quatro vezes ao ano.

Segundo conceitos da NBR 8419/92 o projeto de um aterro sanitário deve obrigatoriamente conter as etapas de: memorial descritivo, memorial técnico, apresentação da estimativa de custos e do cronograma, plantas e desenho técnico, além da necessidade de licenças que são exigidas pelos órgãos ambientais, municipais, estaduais e federais.

Antes de receber o lixo, o solo é impermeabilizado com mantas de PVC e argila, deste modo o solo e os lençóis freáticos ficam protegidos da contaminação. O chorume é coletado e depositado em poços de tratamento. O biogás, resultante da decomposição do lixo, é captado para ser queimado ou é aproveitado como fonte de energia. Além disso, o aterro prevê a cobertura diária dos resíduos como prevenção contra pragas urbanas. (PENSAMENTO VERDE, 2013). A figura 4 ilustra as etapas do processo em Aterros Sanitários:

Figura 4 – Fases do processo de decomposição dos resíduos em aterros

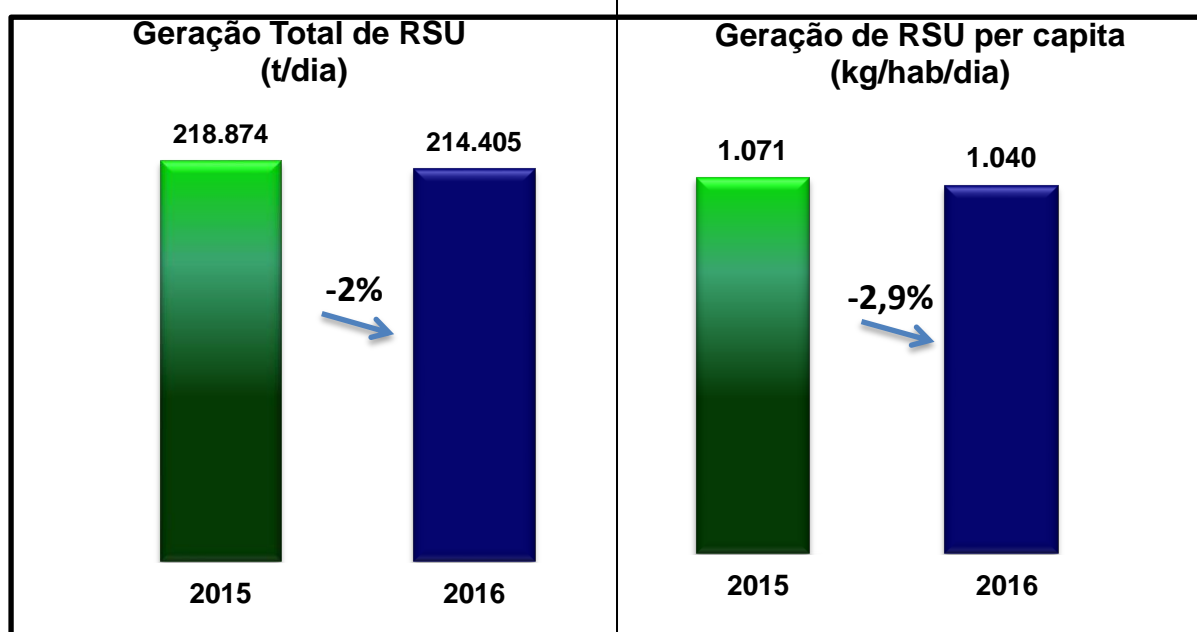


Fonte: LANGER (2012)

3.2 Geração e Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos

A quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados no país no ano de 2016 apresentou índices menores do que no ano anterior decorrentes do decréscimo na geração de RSU, tanto no total quanto no per capita, como pode ser visto no gráfico 2.

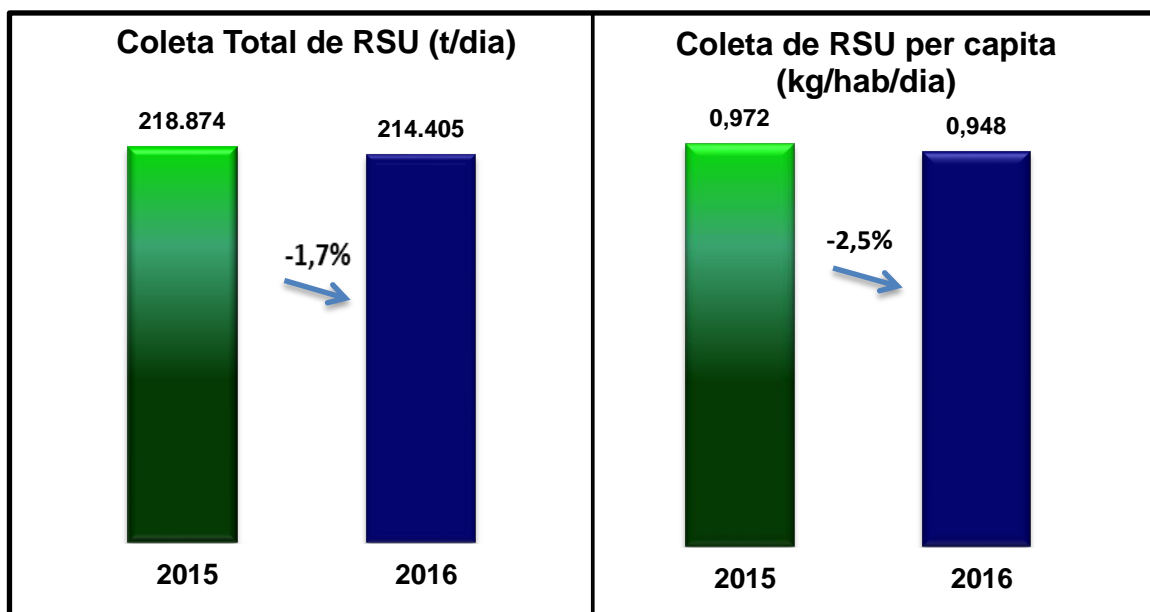
Gráfico 2 - Geração de RSU no Brasil



Fonte: Adaptado de Pesquisa ABRELPE e IBGE (2016)

A coleta de resíduos sólidos urbanos no Brasil teve uma redução de resíduos coletados, como pode ser visto no gráfico 5, redução esta condizentes com a diminuição na geração de RSU (gráfico 3), Os índices negativos ocorreram tanto no total quanto no per capita e na comparação com o ano anterior.

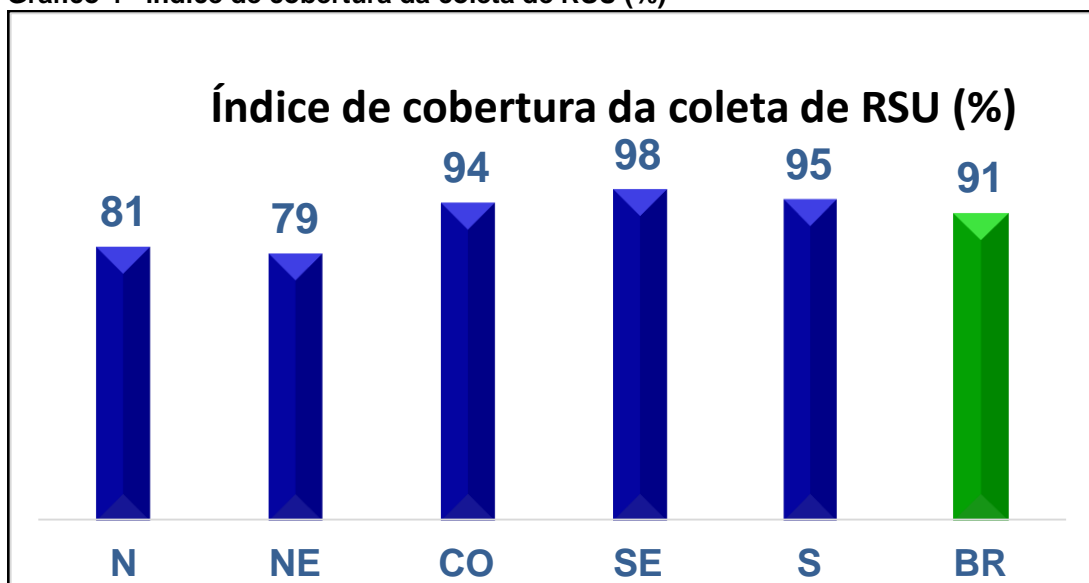
Gráfico 3 - Coleta de RSU no Brasil



Fonte: Pesquisa ABRELPE e IBGE (2016)

A cobertura de coleta nas regiões e no Brasil apresentou ligeiro avanço, 91% dos RSU no Brasil foram coletados (Gráfico 4). A região Sudeste continua apresentando o maior percentual de cobertura do país onde 98% dos RSU gerados são coletados e depositados na sua maioria em aterros sanitários.

Gráfico 4 - Índice de cobertura da coleta de RSU (%)



Fonte: ABRELPE (2016)

A Tabela 3 mostra a quantidade de resíduos coletados no Brasil e sua distribuição o nas cinco regiões.

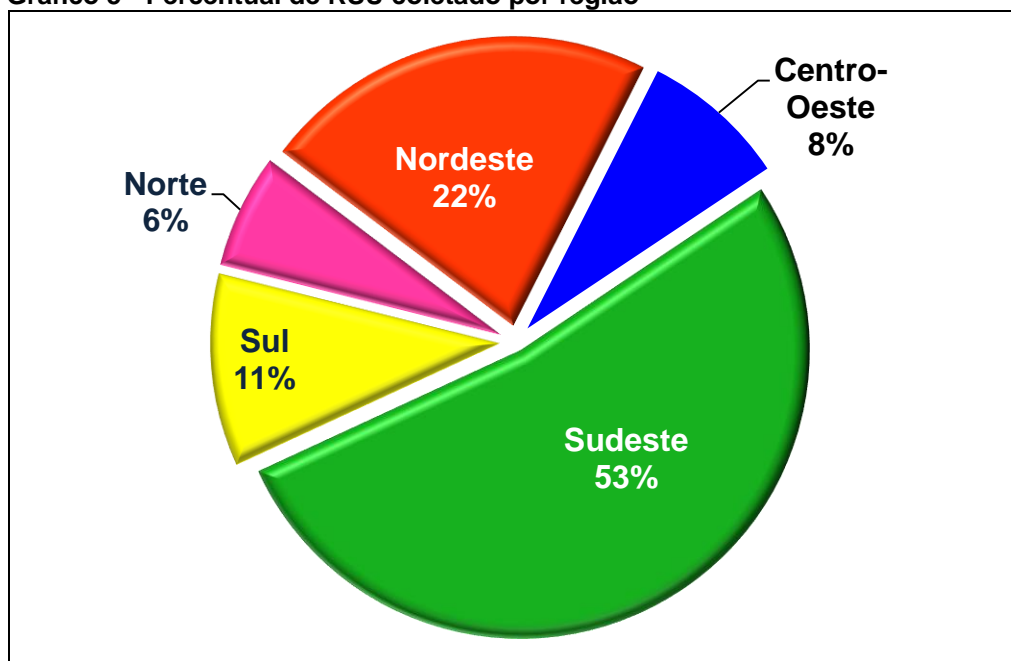
Tabela 3 – Quantidade de RSU coletado no Brasil e Regiões

Região	2015	2016	
	RSU Total (t/dia)	Equação*	RSU Total (t/dia)
Norte	12.692	$RSU = 0,000174 (\text{pop total}/1000) + 0,551960$	12.500
Nordeste	43.894	$RSU = 0,000140 (\text{pop total}/1000) + 0,761320$	43.355
Centro-Oeste	16.217	$RSU = 0,000200 (\text{pop total}/1000) + 0,790890$	15.990
Sudeste	104.631	$RSU = 0,000139 (\text{pop total}/1000) + 0,855740$	102.620
Sul	21.316	$RSU = 0,000037 (\text{pop total}/1000) + 0,681342$	20.987
Brasil	198.750		195.452

Fonte: Adaptado de ABRELPE, 2016

A região Sudeste é a região que mais gera resíduos sólidos urbanos, 53% dos resíduos coletados no país encontram-se na região, pois além da região possuir maior população, é também a que mais gera resíduos (1,188 kg/hab/dia), números maiores que a média nacional que foi de 0,948 kg/hab/dia (ABRELPE, 2016)

Gráfico 5 - Percentual de RSU coletado por região

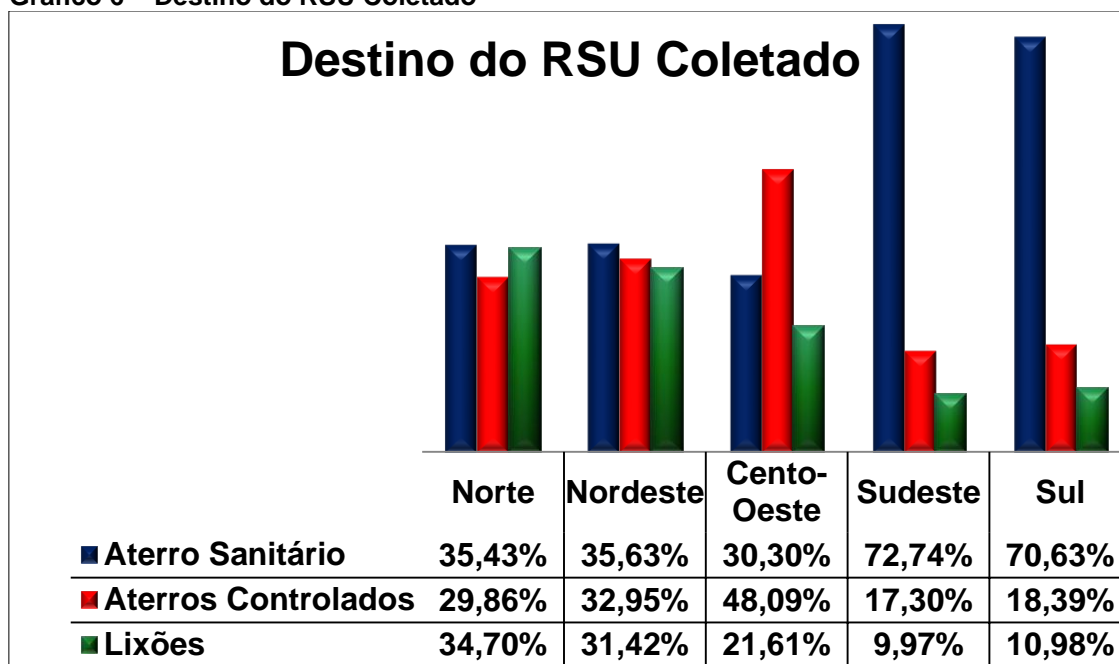


Fonte: Adaptado de ABRELPE (2016)

3.3 Destinação Final de RSU

O destino dos RSU coletados demonstram uma grande desigualdade entre as regiões, como pode ser visto no gráfico 6, cerca de 65% dos resíduos da região Norte e Nordeste são depositados em lugares inadequados (lixões e aterros controlados), a região centro oeste é ainda pior, somente 30,3% dos resíduos são depositados em aterros sanitários, estrutura adequada para o armazenamento de RSU. As regiões sul e sudeste são as regiões com melhor disposição final de resíduos com mais de 70% de RSU depositados em aterros sanitários.

Gráfico 6 – Destino do RSU Coletado



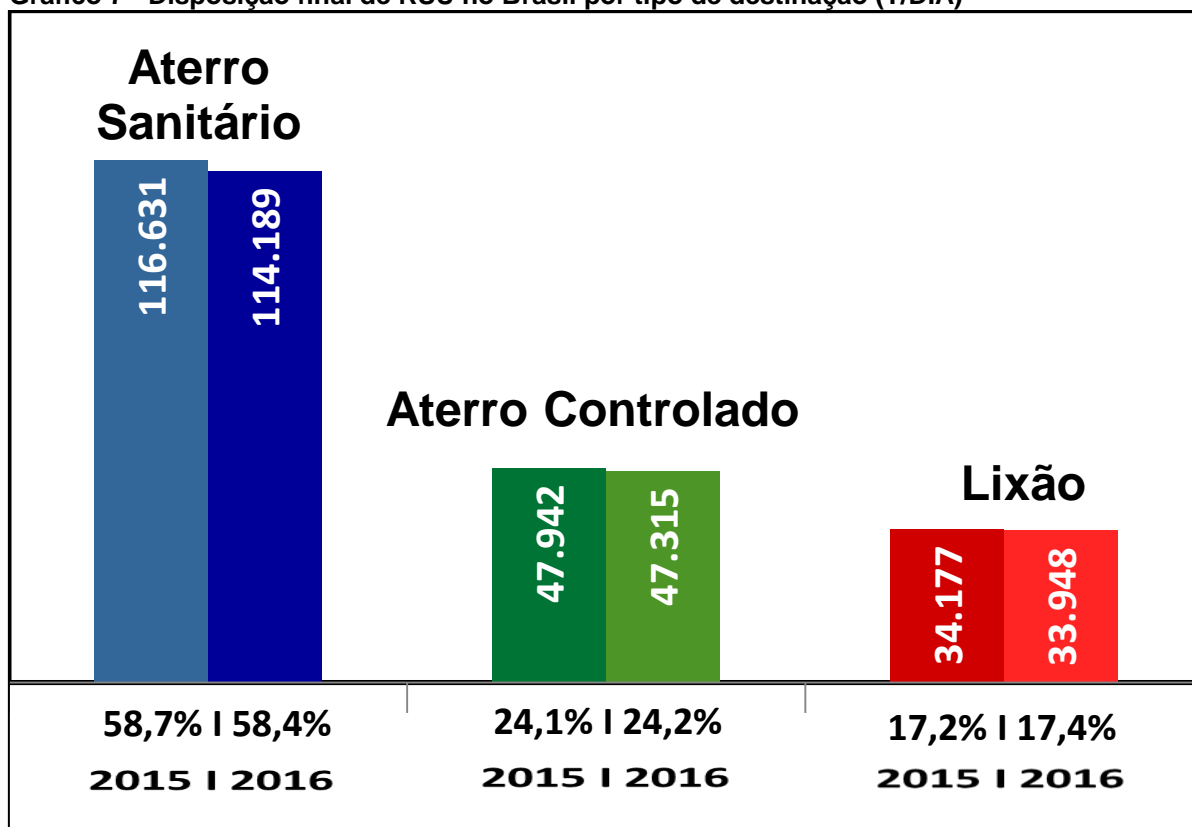
Fonte: Adaptado de ABRELPE (2016)

O Sudeste é a região que mais investe na coleta de RSU (R\$ 12,69 por pessoa) e é o que possui maior abrangência do serviço (98%), entretanto não se pode dizer que os investimentos são proporcionais a melhora na qualidade dos RSU coletados, pois os dados mostram que a região Norte (R\$ 8,04 por pessoa) e Nordeste (R\$ 8,35 por pessoa) possuem um gasto maior que a região Sul (R\$ 7,84), porém possuem um índice de cobertura menor (ABRELPE, 2016).

Os índices de disposição final de RSU apresentaram retrocesso no encaminhamento ambientalmente adequado dos RSU coletados, passando de

58,7% para 58,4% do montante anual disposto em aterros sanitários como pode ser visto no gráfico 7. As unidades inadequadas como lixões e aterros controlados ainda estão presentes em todas as regiões do país e receberam mais de 81 mil toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos na saúde (ABRELPE, 2016).

Gráfico 7 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (T/DIA)



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2016)

4. FORMAS DE APROVEITAMENTOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.

Para que se tenha o aproveitamento dos RSU se faz necessário um empenho do poder público e da sociedade em geral para que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) seja praticada por todos para assim alcançar os resultados esperados. Para o alcance dos objetivos da PNRS foram estabelecidas diretrizes e estratégias, tais como: implementação de coleta seletiva, tratamento dos resíduos sólidos, inserção social dos catadores e materiais reutilizáveis e recicláveis de maneira a se obter melhorias na gestão e do gerenciamento dos resíduos sólidos como um todo (MMA, 2012).

Neste capítulo será abordado algumas diretrizes relacionadas a um melhor aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos, as quais estão relacionadas à reciclagem, compostagem e incineração.

4.1 Reciclagem

Uma das diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos é a redução de 70% dos resíduos recicláveis dispostos em aterros sanitários (MMA, 2011). Para que isso seja possível é necessário criar estratégias, como promover o fortalecimento das cooperativas e associações de catadores e implantação de coleta seletiva em todos os municípios brasileiros.

Os benefícios da reciclagem estão além de questões sustentáveis, estão diretamente ligadas à economia e conservação de energia, que poderia ser destinada ao consumo da população. Um ótimo exemplo de economia de energia através da reciclagem está no papel, que ao ser reciclado obtém uma economia de mais de 714%, no caso do caso do vidro, a economia é de 13% de energia (BURANI, 2018).

4.2 Compostagem dos resíduos

A diretriz para a Redução de Resíduos Sólidos Urbanos Úmidos dispostos em aterros sanitários, tratamento e Recuperação de Gases em aterros sanitários consiste em:

Induzir a compostagem, o aproveitamento energético do biogás gerado ou em biodigestores ou em aterros sanitários, e o desenvolvimento de outras tecnologias visando à geração de energia a partir da parcela úmida de RSU coletados, com a elaboração de estudos prévios de avaliação técnico-econômica e ambiental, observada primeiramente a ordem de prioridade estabelecida no caput do artigo 9º, da Lei 12.305/2010, e, para a produção de composto orgânico com fins agricultáveis, a aprovação pelos órgãos competentes. (MMA, 2012)

A definição de Compostagem consiste em processo aeróbio no qual a maior parte do carbono orgânico degradável do resíduo é convertida em CO₂. O metano que é formado nas seções anaeróbias de seu composto é oxidado nas seções aeróbias. Esse processo é afetado por fatores externos como: umidade, oxigênio, temperatura, concentração de nutrientes e tamanhos das partículas e é composto por duas fases distintas: degradação ativa (a temperatura deve ser controlada de 45°C a 65°C) e maturação ou cura (é caracterizada pelo desenvolvimento de temperaturas entre 30 °C a 45 °C), ocorrendo assim a humificação da matéria orgânica estabilizada na primeira fase (PEREIRA NETO, 1996).

De acordo com Burani (2018), a compostagem também pode ser entendida de maneira geral como uma reciclagem dos materiais orgânicos na qual é feita a transformação desses materiais diversos como: restos de alimentos, papéis, folhas, vegetais, madeiras, etc., em adubo orgânico. Ela pode ser praticada de duas formas:

✓ Pontualmente: Ocorrendo todas as vezes que o próprio consumidor faz a compostagem de seus resíduos gerados, podendo ser comercializado ou utilizado em seu dia-a-dia, na rotina de suas atividades.

✓ Descentralizadamente: Ocorrendo em centros de triagem de lixo, nos quais a parcela orgânica recebe um tratamento específico, transformando-se em adubo. No processo de orgânico da compostagem, é liberado o biogás que ao ser coletado, se transforma em fonte de energia.

4.3 Incineração dos resíduos

Uma das maneiras mais tradicionais de transformação e recuperação direta de energia através encontra-se na incineração. A incineração consiste no processo de combustão controlada, através da reação do oxigênio com

componentes combustíveis presentes no resíduo como, por exemplo, o carbono, hidrogênio e enxofre em temperatura maior ou igual a 800°C, resultando em calor gerado através de sua energia química. Alguns dos resíduos líquidos geralmente são utilizados como complementos a combustíveis convencionais.

O processo de incineração feito pelas usinas utiliza fornalhas para queima de resíduos e para a vaporização da água, o que faz com que ele seja aproveitado em outros processos. A quantidade e velocidade que as usinas operam podem variar de escala de acordo com a capacidade de cada uma. Há usinas que queimam de 500 a 1000 toneladas por dia, e usinas de escala menores que queimam de 50 a 100 toneladas por dia (BURANI, 2018).

Dentre essas usinas, as de grande escala são as que apresentam maiores vantagens econômicas e energéticas, pois se utilizam de maiores turbinas a vapor que oferecem uma maior eficiência em sua produção. Já as usinas de menor escala são mais aproveitadas em uma região com população em torno de 30 a 200 mil habitantes, conseguindo produzir entre 50 e 200 t/dia de RSU (BURANI, 2018).

Ao comparar o aproveitamento energético da biomassa de resíduos sólidos urbanos, dentre as variáveis ambientais e as alternativas de produção de energia, o processo de incineração apresenta-se como mais viável, pois diminuiria o volume de resíduos enviados a aterros sanitários chegando ao ponto de eliminá-los em longo prazo. Apesar de este sistema ser capaz de aumentar o potencial energético, ela é considerada economicamente inviável devido ao seu alto custo de implantação (MIRANDA, 2017).

5. O BIOGÁS DE ATERRO E SEU APROVEITAMENTO

5.1 Formação do gás de aterro

O gás produzido pela decomposição dos resíduos depositados nos aterros é chamado de biogás ou gás de aterro, ele é composto de um conjunto de gases característicos desta decomposição, entre eles está o metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), que juntos, constituem aproximadamente 99% de seu total. Os outros componentes, como monóxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio, ácido sulfídrico e amônia, estão presentes em pequenas quantidades (MDL, 2007). Na Tabela 4 apresentam-se as distribuições percentuais típicas dos gases encontrados em um aterro sanitário:

Tabelas 4 - Constituinte típico encontrado no biogás do aterro RSU

Componente	Porcentagem ^b (%)
Metano	45 - 60
Dióxido de Carbono	40 - 60
Nitrogênio	2 - 5
Oxigênio	0,1 - 1,0
Enxofre, mercaptanas	0 - 1,0
Amônia	0,1 - 1,0
Hidrogênio	0 - 0,2
Monóxido de Carbono	0 - 0,2
Gases em menor concentração	0,01 – 0,6

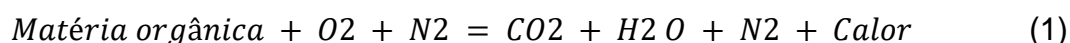
^b A distribuição percentual exata variará segundo o tempo de uso do aterro

Fonte: Adaptado de MLD (2007).

A transformação dos resíduos de um aterro sanitário em biogás não é um processo simples, principalmente por conta da diversidade de materiais que o compõem e pelas interações físico-químicas e biológicas que ocorrem com o passar do tempo. As atividades microbiológicas têm grande influência na produção de biogás em aterros sanitários. Existem também outros mecanismos, com a volatilização e as reações químicas que possuem um papel importante no processo de formação do biogás (MDL, 2007).

Todo esse processo faz com que os aterros sanitários sejam considerados heterogêneos, pois devido às diferenças de comunidades microbianas, cada aterro possuem diferentes características..

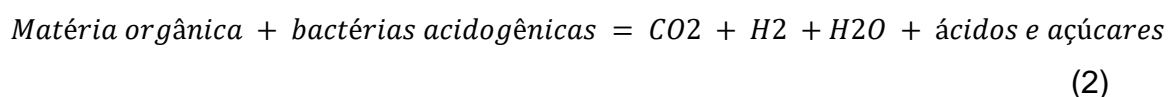
No processo de decomposição dos resíduos ocorrem dois tipos de metabolismo, o aeróbio e o anaeróbio, sendo que o aeróbio ocorre na fase inicial de deposição dos resíduos, quando ainda temos presente o oxigênio que junto com a umidade, acelera o processo de decomposição aeróbia, gerando dióxido de carbono, água e calor (MDL 2007). Nesta etapa do processo há a formação de CO₂, como se pode observar na equação abaixo:



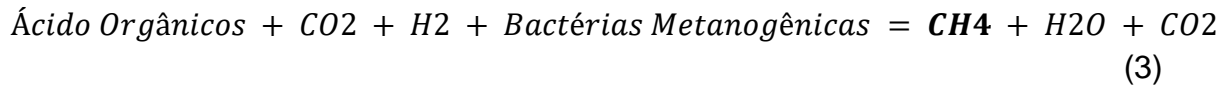
O processo visto na equação 1 ocorre num curto período de tempo, logo após o recobrimento dos resíduos o ambiente fica favorável à presença de bactérias anaeróbias, que são responsáveis pela formação do metano, gás de maior interesse para qualquer projeto de aproveitamento do biogás, esse processo de degradação é muito lento, podendo produzir gases por mais de 30 anos.

Segundo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL, 2007) o processo anaeróbio passa por uma serie de processos consecutivos até chegar à formação do biogás. Pode-se dividir esse processo em 4 fases:

- Fase Acidogênica: é a fase inicial, ela é formada por compostos simples, como ácidos graxos, aminoácidos e açúcares, esta fase pode ser representada pela equação química 2 :



- Fase Metanogênica Instável: é a segunda fase do processo, é a fase onde temos a formação do Metano que acontece através da interação entre as bactérias com os ácidos Orgânicos e o dióxido de carbono. Pode-se expressar essa fase através da equação 3:



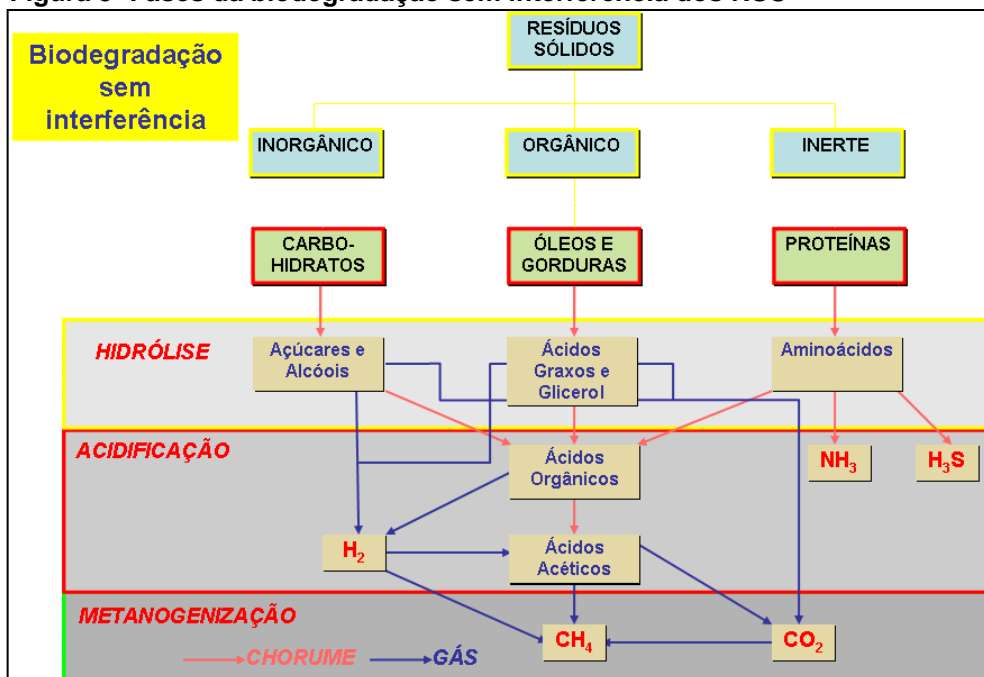
- Fase Metanogênica Estável: é a Fase mais longa, é nesta fase que o Biogás é aproveitado para gerar energia nos aterros sanitários, a composição básica nesta etapa é de cerca de 60% de metano (CH_4), 40% de dióxido de carbono (CO_2), e pequenas frações de outros gases (MDL, 2007).

- Fase Final: é a fase aonde a porcentagem de metano na composição do biogás chega a um valor desprezível.

Tais fases não são bem definidas no tempo, pois esse processo depende de vários fatores, como a distribuição dos componentes orgânicos no aterro, a disponibilidade de nutrientes, a umidade dos resíduos, o grau de compactação e os microambientes gerados dentro do aterro (MDL, 2007).

A figura 5 mostra as fases de uma biodegradação sem interferência de resíduos sólidos que a matéria orgânica passa até a geração do gás metano e a formação do percolato (chorume).

Figura 5- Fases da biodegradação sem interferência dos RSU



Fonte: MDL (2007).

5.2 O metano

O metano, um dos principais gases causadores do efeito estufa, é o principal elemento presente no biogás, com representatividade de aproximadamente 50% de sua composição, que é produzido a partir da decomposição de matéria orgânica (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

O componente químico metano (CH_4) possui um elevado potencial energético (energia química) devido às ligações entre os átomos de Hidrogênio e Carbono. Quando o gás reage com o oxigênio é liberado uma grande quantidade de calor (energia térmica). Em aterros de médio e grande porte, devido o grande volume de biogás produzido, é biogás é utilizado como combustível para a geração de energia (ICLEI, 2009).

5.3 Créditos de Carbono

O mercado de créditos de carbono começou a partir do acordo internacional conhecido como Protocolo de Quioto, criado em 1997, que entrou em vigor em fevereiro de 2005. O acordo consiste na redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para os países desenvolvidos.

O protocolo de Quioto criou o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que prevê a redução Certificada de Emissões Reduzidas (CER), de maneira que cada tonelada de CO_2 não emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento equivale a 1 crédito de carbono. Os países que reduzirem as emissões de gases poluentes podem certifica-los e assim terem o direito de comercializa-los no mercado mundial.

O mercado de créditos de carbono é bem atrativo para os aterros sanitários de grande porte que possuem um sistema ativo de queima do biogás, pois o metano, principal componente do biogás, tem um potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o CO_2 .

5.4 Formas de queima do Metano

A decomposição anaeróbica dos materiais orgânicos depositados nos aterros sanitários produz o biogás. Por ser altamente combustível, o biogás necessita ser continuamente drenado para evitar explosões nesses locais, para isso existem dois tipos sistemas de coleta, a saber: Sistema passivo e Sistema ativo (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

5.4.1 Sistema passivo

O sistema passivo tem o propósito de evitar que os gases se dissipem na atmosfera (MONTAGNA, 2013), para isso utiliza drenos abertos onde é mantida acesa uma chama para queima imediata do biogás que vai sendo naturalmente drenado. O sistema apresenta uma baixa eficiência, estima-se que apenas 20% do metano drenado sejam efetivamente destruídos pela queima, o restante é emitido diretamente para a atmosfera, contribuindo para o aumento do efeito estufa (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

Figura 6 – Dreno Vertical do Aterro Bandeirantes-SP



Fonte: autoria própria (2018)

5.4.2 Sistema Ativo

O biogás produzido no aterro é queimado em flares ou nos motogeradores, obtendo uma destruição quase que completa (99,98%). Para que isso aconteça é necessário fazer uma adaptação nos drenos. A primeira etapa consiste na transformação dos drenos verticais existentes no aterro, em cabeçotes ou poços de biogás. Os poços são conectados por meio de tubulações até os coletores que encaminharão o biogás até a entrada da usina ou dos queimadores flares (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

6. ATERRO SANITÁRIO E USINA DE BENEFICIAMENTO DO BIOGÁS

O Aterro que possui um sistema ativo de captação do biogás, além de contribuir para redução de gases de efeito estufa (queima do metano por meio dos queimadores flare) pode fazer uso do biogás para a geração de energia elétrica, com a implantação de uma Usina de Biogás.

O processo rotineiro de geração de energia começa na chegada do lixo no aterro, onde passa por um processo de compactação através de máquinas. Logo em seguida o lixo recebe uma camada superficial de terra como cobertura, o que desencadeará a decomposição da matéria orgânica no interior do maciço.

Após a decomposição da matéria orgânica formam-se dois produtos: o biogás e o percolado (chorume). O chorume desce por gravidade pela manta de PEAD (polietileno de alta densidade) em direção às estações elevatórias, onde, em seguida, é bombeado para a lagoa principal. A coleta do chorume na lagoa é feita por caminhões tanque e direcionado a uma estação de tratamento (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

Já o biogás percorre a estrutura do aterro em direção aos drenos horizontais e transversais que estão ligados aos drenos verticais (figura 6), espalhados por toda a área do aterro, acoplados nos coletores (Figura 7) ligados às linhas principais, onde existe um vácuo exercido pelos sopradores, trazendo o biogás até a usina a uma temperatura de aproximadamente 30 °C (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

Figura 7 - Coletores



Fonte: Biogás Ambiental (2018)

A Usina de Biogás é constituída por condensadores, resfriadores (*chiller*), sopradores (*blower*) e queimadores (*flares*) que serão descritos a seguir.

- Condensadores

O biogás chega à usina por meio dos coletores a uma temperatura de aproximadamente 30°C e uma pressão negativa em 75 mbar. Por possuir um grande teor de umidade o primeiro processo quando o biogás entra na usina é passar por um separador para retirada do excesso de condensado do biogás de aterro (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

Quando o biogás passa pela tubulação do condensador ele resfria-se condensando a umidade do gás, essa se torna pequenas gotículas que são coletadas em um filtro coletor (demister) localizado no interior do tanque de coleta.

Cada m³ de biogás contém aproximadamente 60 a 100 ml de condensado, devido que o gás extraído do aterro é 100% saturado (MONTAGNA, 2013).

Este condensado é levado por meio de uma tubulação ao poço de coleta situado geralmente no piso inferior da Usina (figura 8).

Figura 8– Condensador do biogás de aterro



Fonte: Biogás Ambiental (2018)

- Resfriador (*chiller*)

Este equipamento é responsável pelo resfriamento do biogás, a secagem forçada do gás é obtida através do resfriamento de gás para uma temperatura abaixo do ponto de orvalho.

O gás é resfriado a temperatura próxima de 8°C através dos trocadores de calor (resfriadores ou *chiller*), onde há a circulação de uma solução água mais etileno-glicol líquido que realiza sua secagem e resfriamento até o ponto de condensação, quando o vapor se liquefaz .(Figura 9).

Figura 9 – Resfriador (*chiller*)



Fonte: Biogás Ambiental (2018)

- Sopradores (*blowers*)

Os sopradores exercem duas funções, a primeira é a sucção forçada do gás, exercendo uma pressão negativa nos poços de captação do aterro, desta forma o gás pode chegar até a usina e passar pelo trocador de calor. O biogás sai do trocador de calor com uma temperatura de aproximadamente 8°C e quando entra no Soprador ocorre uma inversão de pressão de maneira que o biogás sai do soprador, com uma pressão positiva de aproximadamente 200mbar e uma temperatura em torno de 48°C, para o queimador (Flare) ou para a geração de energia (Figura 10) (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

Figura 10 - Soprador (*blower*)



Fonte: Biogás Ambiental (2018)

- Motor de combustão interna – ciclo Otto

As usinas com aproveitamento energético do Biogás utilizam os motores de combustão interna do tipo ciclo Otto devido ao maior rendimento elétrico e menor custo em comparação a outras tecnologias. O motor ciclo Otto caracteriza-se por sua ignição por faísca, para promover a queima de biogás em motores neste tipo é necessário fazer pequenas modificações nos sistemas de alimentação, ignição e taxa de compressão.

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas onde a energia química do combustível se transforma em energia mecânica, por meio da combustão da mistura de ar e combustível (biogás). Os motores a biogás de grande porte costumam ser importados, pois o motor de maior potência no Brasil é de cerca de 230KW. O rendimento destes motores é de aproximadamente 28 % e a geração de energia elétrica é realizada pelo grupo gerador, acoplado diretamente ao motor (ICLEI,2009).

Figura 11 – Motor de combustão Ciclo Otto



Fonte: Biogás Ambiental (2018)

- Queimadores (*flares*)

A produção excedente à demanda em projetos com geração de energia é queimada queimadores (*flares*), onde a capacidade varia de acordo com o projeto e pode variar de 1.000 m³/h a 6.000 m³/h.

Os flares enclausurados garantem uma boa qualidade de queima, pois possuem a entrada de ar e a temperatura de queima controlado por sensores via controlador lógico programável (CLP)

A temperatura de combustão no queimador pode variar entre 600°C a 1200°C dependendo das características do equipamento. Queimadores que trabalham com temperaturas mais elevadas normalmente são menores em altura,

pois o tempo de residência do gás na câmara de combustão é menor, mas é compensado pela alta temperatura não comprometendo assim a eficiência de queima do queimador (Figura 12).

Figura 12 – Queimadores (flares)



Fonte – Biogás Ambiental (2018)

7. USINA SÃO JOÃO

Para exemplificar o processo de geração de energia de biogás foi realizado um estudo em uma usina de aproveitamento do biogás localizada no aterro Sítio São João. Para isso foram feitas visitas técnicas ao local de maneira a obter informações para um maior entendimento do processo.

O Aterro Sanitário Sítio São João fica localizado no município de São Paulo, na estrada do Sapopemba, km 33, zona leste da cidade. O aterro entrou em funcionamento no ano de 1992, e desde então recebeu uma média de 6.000 toneladas de resíduos por dia, tendo armazenado até o seu encerramento, ocorrido em outubro de 2009, um montante de 29 milhões de toneladas de resíduos sólidos. (ECOURBIS AMBIENTAL, 2018)

O Aterro possui uma área de 80 hectares, e uma altura de 150 metros. 50 hectares deste terreno foram destinados ao depósito de resíduos sólidos urbanos, no restante da área, foram implantadas as unidades de infraestrutura, como balanças, prédios administrativos, lagoas de chorume, usina da combustão centralizada de biogás, faixa de proteção ambiental e unidades de apoio operacionais (Frimaio, 2011).

Um dos conceitos do projeto do aterro foi à utilização de células de resíduos compactados com 5 metros de espessura, seladas com uma camada de argila de 0,5 metros (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

O Aterro conta com todos os sistemas de controle ambiental para um aterro sanitário, essencial para um sistema de coleta de biogás eficiente: sistema de impermeabilização inferior, sistema de drenagem superficial, sistema de drenagem de gases e sistema de drenagem e remoção de percolados. O percolado (chorume) é levado para ser tratado na SABESP (Companhia de Abastecimento de Água e Coleta de Esgotos do Estado de São Paulo) e o lodo volta de novo para o aterro (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

A usina termelétrica São João foi implantada pelo consórcio Biogás Energia Ambiental, formado pela empresa Arcadis Logos Engenharia, da área de projetos energéticos do Grupo Logos Engenharia, pela Heleno & Fonseca

Construtécnica S. A., construtora e operadora do aterro São João e pela holandesa Van Der Wiel, especializada em projetos de desgaseificação.

A Usina São João Biogás entrou em operação no dia 25 de Janeiro de dois mil e oito, data comemorativa, em que a cidade de São Paulo completava 454 anos de sua fundação.

A realização de um projeto deste porte é um orgulho para todos nós e cria uma grande expectativa de reprodução desta iniciativa em outros municípios brasileiros, pois comprova a eficácia de nossa tecnologia e nossa competência nesta atividade de tamanha importância para a humanidade (SOBRINHO, 2007).

O projeto de captação do gás tem capacidade instalada para captar 20 mil metros cúbicos por hora de biogás. Atualmente 12 mil metros cúbicos por hora são consumidos na usina para gerar energia, uma potência de aproximadamente 20 MW/h que abastece a cidade de São Paulo. O sistema de desgaseificação e limpeza instalados para a captação do biogás para a usina possui 126 poços conectados e uma extensão de gasoduto de 30 km de tubos de PEAD com diâmetros de 110 mm a 300 mm, responsáveis para levar o gás até a entrada da usina de biogás por meio dos coletores principais.

Central Termelétrica na usina São João Biogás é composta por dezesseis motores da marca Caterpillar, modelo G3520, com potência unitária nominal de 1600 KW cada, todavia devido à altitude do lugar onde os motores estão instalados o mesmo opera com potência de 1540 KW cada. A eficiência energética dos motores é em torno de 32%. Os motores geram a energia com uma tensão de saída de 4,16KV, que são transmitidas por meio de duas linhas que juntas somam uma extensão de 27 km que vai até a ETD Nações da Eletropaulo.

A usina possui dois transformadores de 12/15MVA, um para cada linha, que eleva a tensão de 4,16 KV para 34,5 KV. A energia chega à ETD Nações com tensão de 34,5 KV e é elevada novamente a tensão de 34,5KV para 88 KV para assim ser entregue a Eletropaulo. Cada linha possui uma capacidade de 30MVA de forma que o sistema pode operar maneira redundante, garantindo uma transmissão constante mesmo em meio a falhas ou manutenção em uma das linhas.

O “Pay Back” do investimento foi de 05 anos, 24.640,00 KW de potência elétrica instalada, 16 grupos de geradores operando em plena carga e produzindo 200 mil MW/hora/ano, energia suficiente para abastecer uma cidade de 400 mil habitantes durante os 10 primeiros anos de operação. Além disso, o projeto evitará emissões de aproximadamente 5 milhões de toneladas de carbono, referente ao primeiro período de créditos – 2006 à 2012 (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018).

Atualmente, o projeto contempla uma ampliação de 10 MW/h, já licenciado junto os órgãos ambientais, onde será instalada uma GD (Geração Distribuída), em função do melhor preço de venda da energia nessa modalidade.

8. POTENCIAL ENERGÉTICO NOS ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS

Dados da Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL (2018) mostram que Brasil possui vinte usinas termelétricas de Aterros sanitários em operação que produzem energia elétrica através do biogás (tabela 5), juntas essas usinas somam um potencial de 133.129 KW de potencia fiscalizada.

Tabela 5 - Usinas de Aterros instaladas no Brasil

Usina	Potência Fiscalizada (kW)	Potência Outorgada (KW)	Destino da Energia	Município
Salvador	19.730	19.730	PIE	Salvador - BA
Asja BH	1.425,60	1.425,60	REG	Belo Horizonte - MG
Arrudas	2.400	2.400	REG	Belo Horizonte - MG
Uberlândia	2.852	2.852	REG	Uberlândia - MG
CTR Juiz de Fora	4.278	4.278	REG	Juiz de Fora - MG
Asja Sabará	5.704	7.130	PIE	Sabará - MG
Curitiba Energia	8.556	8.556	PIE	Fazenda Rio Grande - PR
Novagerar	4.000	4.000	REG	Nova Iguaçu - RJ
C.T. Usinaverde	440	440	REG	Rio de Janeiro - RJ
Biotérmica Recreio	8.556	8.556	PIE	Minas do Leão - RS
Itajaí Biogás	1.065	1.065	REG	Itajaí - SC
PCT Barueri Biogás	2.601	2.601	REG	Carapicuíba - SP
São João Biogás	21.560	24.640	PIE	São Paulo - SP
Energ-Biog	30	30	REG	Barueri - SP
Ambient	1.500	1.500	REG	Ribeirão Preto - SP
Termoverde Caieiras	29.547	29.547	PIE	Caieiras - SP
Guatapará	5.704	5.704	PIE	Guatapará - SP
Bandeirantes	4.624	4.624	REG	São Paulo - SP
Tecipar	4.278	4.278	REG	Santana de Parnaíba - SP
Tremembé	4.278	4.278	REG	Tremembé - SP
Total	133.129	137.635		

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2018

Legenda: PIE: Produção Independente de Energia; REG: Registro

O Brasil ainda conta com quatro empreendimentos de usinas com aproveitamento de biogás que estão no processo de construção não iniciada, que estão descritas na tabela 6, que contribuirão para um maior desenvolvimento de projetos de aproveitamento do biogás para a geração de energia limpa.

Tabela 6 - Usinas de Aterros instaladas no Brasil

Usina	Potência Outorgada (KW)	Destino da Energia	Município
Barueri	20.000	PIE	Barueri-SP
Paulinia Energia	25.668	PIE	Paulínia-SP
Nova Iguaçu	9.786	PIE	Nova Iguaçu-RJ
Asja Jaboatão	11.408	PIE	Jaboatão dos Guararapes-PE
Total	66.862		

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2018

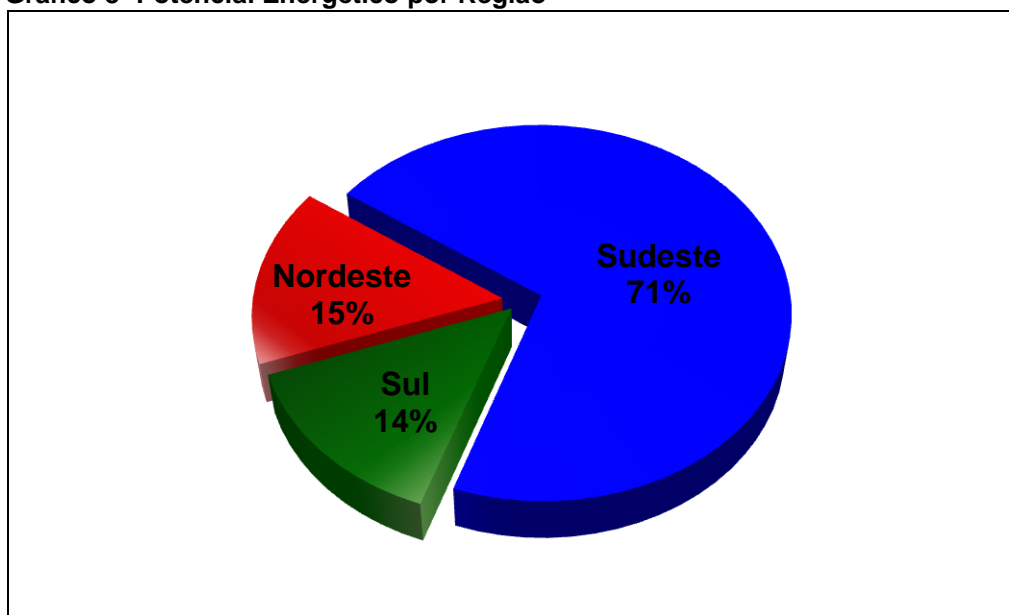
8.1 Potencial Energético do biogás de Aterro por Região

Segundo dados a ANEEL, 2018 das vinte usinas instaladas no Brasil, apenas uma fica localizada na região nordeste, mas que representa 15% da potência total gerada no país através do Biogás, a usina fica localizada na cidade de Salvador - BA e tem uma capacidade de geração de 19.730 KW.

A região Sul conta com três usinas que geram 18.177KW, o que representa 14% do potencial total de energia de biogás, como pode se observar gráfico 8, elas estão localizadas nas cidades de Itajaí-SC, Minas do Leão-RS e Curitiba-PR. Enquanto as regiões Norte e Centro-Oeste ainda não possuem usina de aproveitamento de biogás, o que pode ser um reflexo da má destinação dos RSU.

A região Sudeste tem a maior geração, somando 71% do potencial total de geração através do Biogás, a região conta com dezesseis usinas em operação, gerando 74.122 KW. Distribuídas pelos estados de Minas Gerais, que possui cinco usinas e capacidade de geração de 16.659,60 KW, Rio de Janeiro, com duas usinas e um total de geração de 4.440KW e São Paulo, com nove usinas e uma capacidade de geração de 74.122,00KW. Sendo o estado do Espírito Santo e único estado da região que não possui uma usina instalada em um aterro sanitário (ANEEL, 2018)

Gráfico 8- Potencial Energético por Região

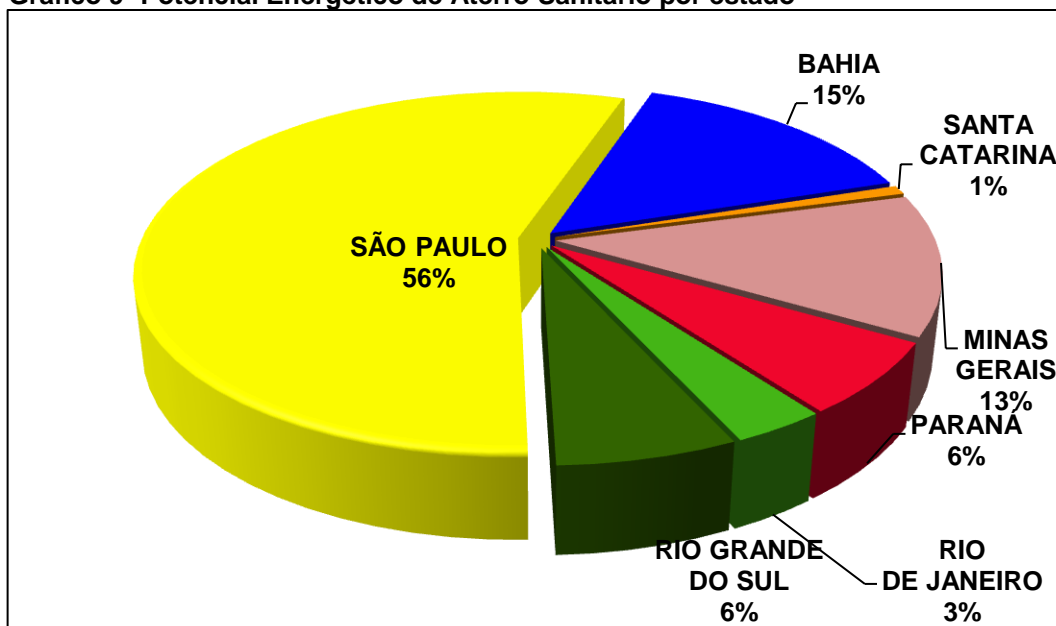


Fonte: Adaptado de ANEEL (2018)

8.2 Potencial Energético de Aterro Sanitário por estado

Pode se observar no gráfico 9 que a maior produção de energia de biogás acontece no estado de São Paulo, isto deve-se ao fato de que 72,7% dos resíduos sólidos urbanos deste estado, são coletados e depositados em aterros sanitários (ABRELPE,2016).

Gráfico 9- Potencial Energético de Aterro Sanitário por estado



Fonte: Adaptado de ANELL (2018)

Na cidade de São Paulo houve um incentivo da prefeitura para que houvesse um aproveitamento energético do biogás extraído dos aterros, e conseqüentemente a diminuição de Gases de Efeito Estufa (GEE) emitidos na atmosfera.

Essa iniciativa teve início quando a prefeitura de São Paulo assinou um contrato de concessão com a *Biogás Energia Ambiental S/A* para exploração de gás do Aterro Bandeirantes no ano de 2004 (BIOGÁS AMBIENTAL, 2018), quatro anos mais tarde foi inaugurada outra usina sob a concessão da mesma empresa, tornando assim a cidade de São Paulo um modelo a ser seguido.

A prefeitura de São Paulo obteve retorno significativo, pois os gases de efeito estufa que deixaram de ser emitidos para a atmosfera pelo aterro Bandeirante e São João foram certificados pela ONU como Créditos de Carbono, sendo metade desses créditos pertencentes à Prefeitura e a outra metade a empresa Biogás Ambiental, o que rendeu para a prefeitura cerca R\$ 34 milhões no primeiro leilão de Créditos de Carbono, que aconteceu em dezembro de 2006 e mais R\$ 37 milhões em ganhos no segundo leilão que aconteceu em setembro de 2008.

Esse dinheiro foi depositado no Fundo Municipal de Meio Ambiente, e destinado a projetos de saneamento, combate a enchente, de urbanização de favelas, ampliação de áreas verdes e melhorias para a população da região. (Prefeitura de São Paulo, 2018).

Além das duas usinas municipais mencionadas acima, a cidade de São Paulo conta ainda com mais quatro empresas privadas, são elas: Termoverde, em Caieiras com uma potência fiscalizada de 29.547 KW, a Tecipar em Santana do Parnaíba com uma capacidade de geração de 4.278 KW, PCT Barueri em Carapicuíba, com uma potência de 2.601KW e a Energ-Biog em Barueri com 30 KW de potência instalada (ANEEL, 2018).

O interior do estado de São Paulo possui três usinas instaladas, uma localizada na cidade de Ribeirão Preto com capacidade de 1.500 KW, outra na cidade de Guatapar - SP com capacidade de 5.704KW e a última inaugurada no dia 15 de maio de 2018 na cidade de Tremembé com um potencial de 4.278 KW.

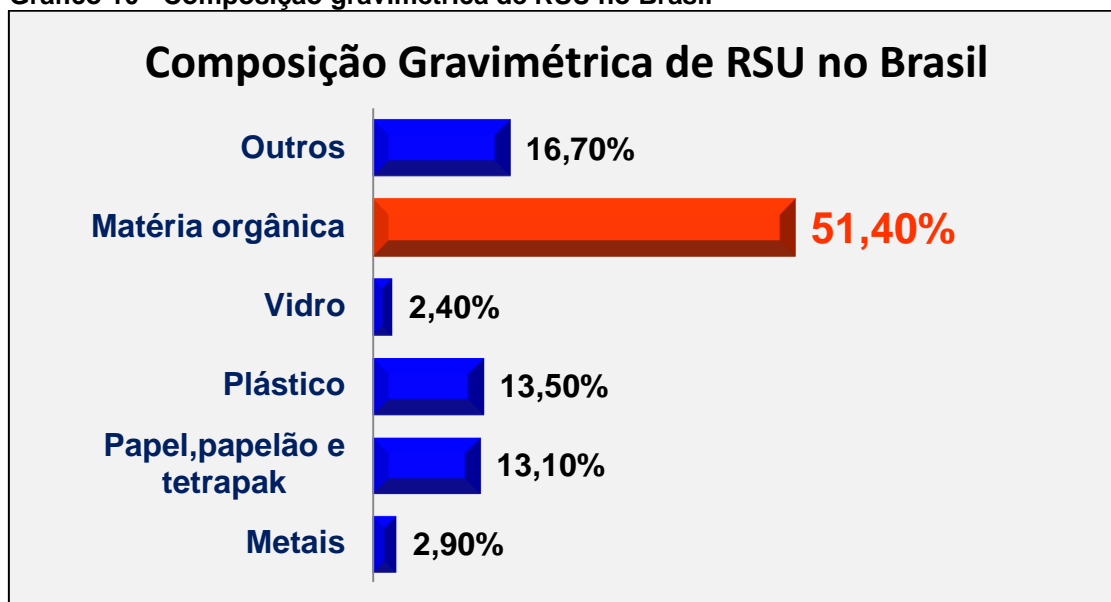
O estado de São Paulo conta com uma potência instalada de 74,1 megawatts a partir de biogás de aterros sanitários, o que corresponde a 56% da geração de energia por meio do biogás no Brasil, sendo que esse potencial aumentará com a implantação das duas novas usinas no estado (Paulínia e Barueri).

8.3 Cálculo de emissões do Metano

Para obter a estimativa da emissão do metano, que é obtido por meio de um processo anaeróbio dos resíduos sólidos urbanos depositados em aterros sanitários foi utilizado um inventário desenvolvido pelo IPCC em 1996 que consiste numa estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável que está presente nos resíduos, posteriormente é calculada a quantidade de metano que pode ser emitido através do mesmo (NECKER e ROSA, 2013).

Considerando a composição gravimétrica de RSU no Brasil, temos uma média de 51,4% de matéria orgânica como pode se ver no gráfico 10. É por meio da Matéria orgânica que é formado o Metano, principal componente do Biogás.

Gráfico 10 - Composição gravimétrica de RSU no Brasil



Fonte: Adaptado de IPEA (2012)

Para obter a estimativa da emissão do metano, que é obtido por meio de um processo anaeróbio dos resíduos sólidos urbanos depositados em aterros sanitários foi utilizado um inventário desenvolvido pelo IPCC em 1996 que consiste

numa estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável que este presente nos resíduos e posteriormente é calculada a quantidade de metano que pode ser produtiva por meio deste mesmo resíduo (NECKER e ROSA, 2013).

Para a quantificação do metano gerado o método utiliza dados da composição gravimétrica dos RSU (Gráfico 10) para o cálculo da Fração de carbono orgânico no lixo (COD). Segue abaixo a tabela 6 com a porcentagem de carbono degradável para cada componente do lixo.

Tabela 7 - Teor de Carbono orgânico degradável para cada componente do lixo.

Componente	% COD (em massa)
A) Papel	40
B) Restos de Alimentos	15
C) Resíduos de parques e jardins	17
D) Tecidos	40
E) Madeiras	30

Fonte: Britto (2006).

Para o cálculo da fração de carbono orgânico degradável no lixo é feito a somatória da porcentagem do teor de Carbono orgânico degradável (tabela 7) multiplicado pela fração de cada componente do lixo presente na composição gravimétrica (gráfico 10)

$$COD = \sum_A^E (COD_i * W_i) \quad (4)$$

$$COD = (0,4 * A) + (0,17B) + (0,15 * C) + (0,30 * D) \quad (5)$$

Sendo:

A - fração de papel e papelão dos resíduos;

B - fração de detritos de parques e jardins dos resíduos;

C - fração de restos de alimentos dos resíduos;

D - fração de tecidos dos resíduos;

E - fração de madeira dos resíduos.

Como a madeira (E) não faz parte da composição gravimétrica dos RSU e as frações de tecidos (D) e detritos de parques e jardins (B) possui contribuição irrelevante, eles não serão utilizados no cálculo.

$$COD = (0,4 * A) + (0,15 * C) \quad (6)$$

$$COD = (0,4 * 0,131) + (0,15 * 0,514) \quad (7)$$

$$COD = 0,1295 \quad (8)$$

Tem-se ainda a fração $CODf$ representa a fração do $CODf$ que pode se decompor e pode ser expressado assim:

$$CODf = (0,014 * T) + 0,28 \quad (9)$$

Onde:

T = Temperatura na zona anaeróbia dos resíduos, estimada em 35°C.

$$CODf = (0,014 * 35) + 0,28 \quad (10)$$

$$CODf = 0,77 \quad (11)$$

Tendo encontrado os valores de COD e de $CODf$ já é possível estimar o potencial de geração de metano do resíduo (L_0), que é expresso conforme a equação 12.

$$L_0 = MCF * COD * CODf * \frac{16}{12} \quad (12)$$

Onde:

L_0 = Potencial de geração de metano do resíduo (m³ biogás/ (ton. RSD)).

MCF = Fator de correção de metano = 1 (aterro bem gerenciado).

COD = Fração de carbono orgânico degradável no lixo.

$CODf$ = Fração do COD que pode se decompor

RSD = Resíduo Sólido decomposto

16/12 = Relação de massas atômicas na conversão de carbono (C) para metano (CH₄).

$$L_0 = MCF * COD * CODf * \frac{16}{12} \quad (13)$$

$$L_0 = 1 * 0,1295 * 0,77 * \frac{4}{3} \quad (14)$$

$$L_0 = 0,1330 \quad (15)$$

Substituindo os valores de *COD* e de *CODf* é obtido um valor para *L₀* (equação 15). Sendo este valor adimensional é necessário transforma-lo para a unidade de m³/por toneladas.

Sabendo que,

$$V = \frac{M \left[\frac{\text{ton RSD}}{\text{m}^3} \right]}{\rho \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]} \quad [\text{m}^3] \quad (16)$$

A densidade (ρ) do metano é 0,74 $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$, sendo assim $\rho = 0,74 * 10^{-3} \left[\frac{\text{ton RSD}}{\text{m}^3} \right]$,

Quando se divide um valor adimensional pela densidade (ρ) é obtido um valor cuja unidade é m³ por unidade de massa (equação 16), que neste caso será toneladas.

$$L_0 = \frac{0,1330}{0,74 * 10^{-3}} \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ton RSD}} \right] \quad (17)$$

$$L_0(\text{biogás}) = 179,6667 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ton RSD}} \right] \quad (18)$$

Tendo encontrado o um valor médio para o potencial de geração do biogás dos resíduos no Brasil é possível fazer se o cálculo de emissões de metano (*E_{CH₄}*) através da equação 19:

$$E_{CH_4} = F * M_R * L_0 * (1 - e^{(-k*t)}) \left[\frac{\text{m}^3}{t} \right] \quad (19)$$

Onde:

E_{CH_4} = Emissão de metano

F = Fração de CH_4 no biogás

k = Constante de decaimento.

M_R = montante resíduo no tempo $[\frac{tonRSD}{t}]$.

L_0 = Potencial de geração de metano do resíduo (m^3 biogás/(ton RSD)).

t = Tempo decorrido desde a abertura do aterro.

c = Tempo decorrido desde o fechamento do aterro (anos). t = Tempo decorrido desde a abertura do aterro.

A fim de simplificarmos os cálculos será considerada a taxa de oxidação do metano ($e^{(-k*t)}$) como sendo zero, que representa que todo resíduo depositado foi degradado.

Sendo assim temos:

$$E_{CH_4} = F * M_R * L_0 \left[\frac{m^3}{t} \right] \quad (20)$$

Considerando que a quantidade de CH_4 presente no biogás de aterro sanitário é de 50%, temos $F = 0,5$.

$$E_{CH_4} = 0,5 * M_R * 179,6667 \left[\frac{m^3}{t} \right] \quad (21)$$

Conseqüentemente o Potencial de geração do Metano é de $89,93 \left[\frac{m^3}{t} \right]$

A equação que define a quantidade de Emissões de metano a partir do montante de resíduos coletados em determinado período de tempo é definida por:

$$E_{CH_4} = 89,8334 * M_R \left[\frac{m^3}{t} \right] \quad (22)$$

8.4 Cálculo do potencial Energético presente nos RSU do Brasil

A partir da quantidade de emissões de metano obtida por meio da decomposição dos resíduos é possível calcular o potencial energético proveniente do gás de aterro.

Segundo o Manual para aproveitamento do Biogás (ICLEI, 2010) o cálculo do potencial energético pode ser expresso da seguinte forma:

$$Pot = \frac{(E_{CH_4} * PCI * n) \left[\frac{m^3}{t} \right] * \left[\frac{kcal}{m^3} \right]}{860} \frac{[kcal]}{\left[\frac{kW}{h} \right]} \quad (23)$$

Sendo que:

t = tempo dado em horas [h]

Pot = Potência gerada;

E_{CH_4} = Vazão de biogás em m^3/h ;

PCI = Poder calorífero do biogás

n = Eficiência elétrica do motor;

860 = Conversão kcal para kW/h

Considerando que o Poder calorífero do biogás (PCI) = 4.613 kcal/ m^3 (NECKER e ROSA, 2013) e a eficiência do motor (n) = 28% (ICLEI, 2010) temos que:

$$Pot = \frac{(E_{CH_4} * 4.613 * 0,28) \left[\frac{m^3}{h} \right] * \left[\frac{Kcal}{m^3} \right]}{860} \frac{[kcal]}{\left[\frac{kW}{h} \right]} \quad (24)$$

$$Pot = \frac{(89,8334 * M_R * 4.613 * 0,28) \left[\frac{m^3}{h} \right] * \left[\frac{kcal}{m^3} \right]}{860} \frac{[kcal]}{\left[\frac{kW}{h} \right]} \quad (25)$$

$$Pot = 134,9214 * M_R [kW] \quad (26)$$

Com a equação 26 podemos mensurar o potencial energético Brasileiro gerado por meio da decomposição dos resíduos sólidos coletados no Brasil.

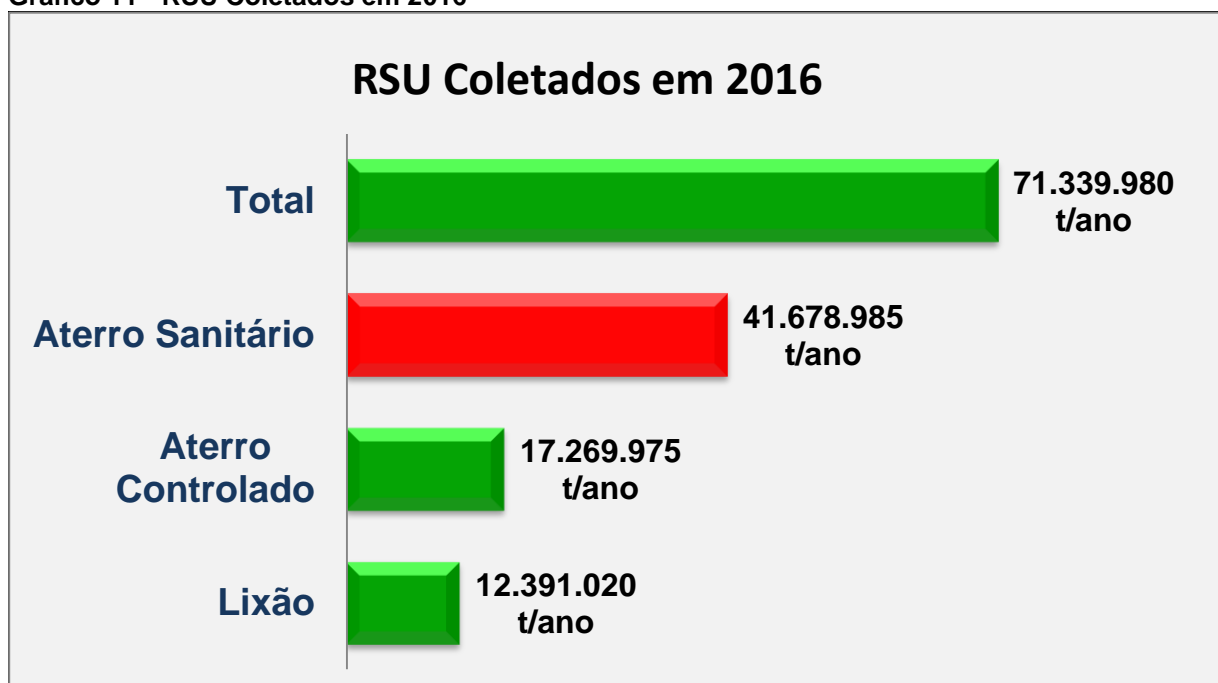
Deve se observar que para chegar às equações 22 e 26 foram utilizados dados como: composição gravimétrica (gráfico 10), fração de metano presente no biogás, temperatura na zona anaeróbia do resíduo (estimada em 35°C), eficiência do motor (estimado em 28%), PCI. Os mesmos podem sofrer mudanças conforme as variáveis de: localização, condições climáticas, fatores socioambientais e socioculturais e estruturas tecnológicas.

8.5 Resultados obtidos

Para o cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir do aproveitamento do biogás gerado é necessário fazer um levantamento dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil, como pôde ser visto no capítulo 4.

Segundo ABRELPE, (2016) o Brasil coletou 71.339.980 toneladas de resíduos no ano de 2016 dos quais 41.678.985 toneladas foram depositadas em Aterros Sanitários (gráfico 11).

Gráfico 11 - RSU Coletados em 2016



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2016)

A partir da quantidade de RSU coletados no ano de 2016 e das equações obtidas nos capítulos 8.4 e 8.5 é possível estimar valores de emissões de metano e de potencial energético por meio do biogás.

8.5.1 Emissões de metano e Potencial Energético - Aterros Sanitários do Brasil.

No ano de 2016 os aterros sanitários receberam 41.678.985 toneladas de resíduos, o que representou 66,8% dos resíduos coletados no país. Através deste montante é possível calcular as emissões de metano a partir da equação 22.

$$E_{CH_4} = 89,8334 * M_R \left[\frac{m^3}{t} \right] \quad (22)$$

$$E_{CH_4} = 89,8334 * 41.678.985 \left[\frac{m^3}{ano} \right] \quad (27)$$

$$E_{CH_4} = 3.744.165.931 \left[\frac{m^3}{ano} \right] \quad (28)$$

O resultado obtido pela equação 28, temos que a quantidade de emissões de metano em aterros sanitários é de $3.744.165.931 \left[\frac{m^3}{ano} \right]$, por meio deste resultado é possível estimar o potencial energético presente nos aterros sanitários do Brasil, através da equação 26.

$$Pot = 134,9214 * M_R \text{ [kW]} \quad (26)$$

$$Pot = 134,9214 * \frac{41.678.985}{365 * 24} \text{ [kW]} \quad (29)$$

$$Pot = 641.939,16 \text{ [kW]} \quad (30)$$

O resultado obtido na equação 30 mostra que se todos os RSU depositados em aterros sanitários fossem transformados em energia teríamos um

potencial de $641.939,16 \left[\frac{kW}{h} \right]$, o que representa um potencial de $5.623.387.007 \left[\frac{kW}{ano} \right]$.

Atualmente o potencial de aterro sanitário é de 133.129 kW, representando 20,7% do potencial depositado nos aterros (641.939,16 kW).

8.5.2 Estimativa de Emissões de metano e do Potencial Energético de biogás no Brasil.

O Brasil coletou 71.339.980 toneladas de resíduos no ano de 2016, de maneira que utilizando a equação 22 é possível quantificar o total de emissões de metano na hipótese de que todo o resíduo sólido urbano coletado no país foi aterrado.

$$E_{CH_4} = 89,8334 * M_R \left[\frac{m^3}{t} \right] \quad (22)$$

$$E_{CH_4} = 89,8334 * 71.339.980 \left[\frac{m^3}{ano} \right] \quad (31)$$

$$E_{CH_4} = 6.408.712.959 \left[\frac{m^3}{ano} \right] \quad (32)$$

Foi obtido um montante de 6,41 bilhões de m^3 de metano a partir deste valor será feita uma estimativa do Potencial Energético Brasileiro por meio do aproveitamento do biogás de aterro sanitário. Nota-se que esta é uma estimativa hipotética, pois estamos presumindo que todos os RSU coletados foram depositados em aterros sanitários e que todos os aterros sanitários fazem uso do biogás para a geração de energia.

$$Pot = \frac{(E_{CH_4} * 4.613 * 0,28) \left[\frac{m^3}{h} \right] * \left[\frac{kcal}{m^3} \right]}{860} \left[\frac{kcal}{kW/h} \right] \quad (24)$$

$$Pot = \frac{(E_{CH_4} * 4.613 * 0,28)}{860} [kW] \quad (33)$$

$$Pot = 1.098.777 [kW] \quad (34)$$

$$Pot = 9.625.290.705 \left[\frac{kW}{ano} \right] \quad (35)$$

Analisando esse cenário verifica-se que o potencial energético brasileiro a partir do biogás de aterros sanitários chegaria a uma geração de $9.625.290.706 \left[\frac{kW}{ano} \right]$ e de $1.098.777 \left[\frac{kW}{h} \right]$ o que possibilitaria o abastecimento de 2.673.632 residências.

Considerando que a potência fiscalizada na matriz energética brasileira é hoje de 160.672.617,00 KW a participação da geração de energia por meio de resíduos sólidos urbanos passaria de 0,083% para 0,684%. Isso significa que apenas 12% do potencial de resíduos estão sendo aproveitados para gerar energia.

9. ANÁLISE PRÉVIA DE VIABILIDADE NA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA

Para viabilidade da construção de aterros sanitários deve considerar a princípio o tamanho de cada aterro. Considera-se aterro de grande porte, aqueles com capacidade de 2.000 toneladas recebidas diariamente, os de médio porte com capacidade de recebimento de 800 toneladas de RSU por dia e os de pequeno porte com capacidade de recebimento de 100 toneladas diárias de RSU (ABETRE, 2007).

Segundo Miranda, 2017, são necessários estudos preliminares para obter a rentabilidade do biogás através da criação de novos aterros, observando os seguintes aspectos:

- ✓ O período de funcionamento do Aterro: o prazo de concessão do município para a utilização do aterro é de longo prazo (mais de 10 anos), por isso a análise de viabilidade de investimento em usinas de biogás deve considerar este período de funcionamento bem como a depreciação das máquinas;

- ✓ A comercialização de créditos de carbono: deve ser considerada durante todas as etapas e estudo de viabilidade dos empreendimentos, desde os custos operacionais até as previsões de receitas obtidas com a venda do mesmo, pois os custos de produção de energia elétrica embutem os custos de produção dos créditos de carbono sendo complementares na geração de receita.

Os custos de implantação de um aterro sanitário podem ser divididos em cinco etapas: pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-encerramento. Verifica-se que a etapa com maiores custos é a “operação” chegando a ter 87% dos custos totais (ABETRE, 2007). Ao realizar as análises de valores de implantação de usinas de cogeração, verifica-se que o lucro alcançado com a venda de energia durante todo o período de funcionamento possibilita uma taxa de retorno prevista entre 5 a 10 anos, podendo antecipar o pagamento dos financiamentos realizados para a implantação do projeto.

Considerando a quantidade de resíduos sólidos gerados nas cidades e a quantidade de energia consumida, pode-se concluir que a viabilidade econômica para implantação de usinas de biogás é atrativa apenas em municípios com população acima de 200 mil habitantes, devido aos altos custos de investimentos e alta tecnologia de extração de biogás com uso de motores e máquinas importadas é necessária uma demanda maior de produção de energia para viabilizar os empreendimentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de energia elétrica utilizando o biogás como combustível é uma forma de otimização dos recursos naturais, pois além de aproveitar de forma sustentável o subproduto da disposição dos resíduos, a geração de energia por meio de biogás é também uma solução para reduzir a emissão de gases de efeito estufa e diminuir a poluição atmosférica durante todo o ciclo de geração e utilização do metano para a produção do gás.

Considerando a quantidade de energia gerada atualmente pelas usinas de biogás, pode-se observar que ainda a muito que se explorar dessa geração e que o número de usinas de biogás existentes no Brasil poderia ser bem maior se considerarmos a quantidade de resíduos sólidos coletados no país que não são transformados em energia.

Observa-se ainda que a quantidade média diária de resíduos sólidos produzidos pelo brasileiro é de aproximadamente 1 quilo por habitante, e que as projeções de aumento da população brasileira para os próximos anos, ocasionará um aumento na quantidade de resíduos produzidos no país, contribuindo para um aumento no potencial de geração de biogás.

Os cálculos realizados demonstraram que o metano gerado em aterros sanitários na hipótese de que todo o lixo gerado atualmente no Brasil fosse coletado e aterrado, a geração de energia por meio do biogás seria suficiente para suprir a necessidade energética de 2.673.632 residências.

Já quanto à viabilidade econômica de implantação de usinas de biogás é possível concluir que o projeto torna-se viável apenas quando está relacionado com aterros de grande porte que recebem uma demanda diária maior de resíduos sólidos e que estão instalados em cidades com mais de duzentos mil habitantes.

Ressalta-se que os valores apresentados no presente trabalho são estimados a partir de dados coletados em fontes pesquisadas na literatura e da utilização do método IPCC, sendo assim, os resultados são apenas uma estimativa geral do potencial de geração de energia através do biogás, podendo ser realizada também através de outros métodos e softwares que existem atualmente e que podem apresentar diferentes resultados de acordo com os dados utilizados.

Conclui-se que a geração de energia por meio do biogás não produz volumes suficientes para atender a demanda energética do país, contudo trata-se de uma fonte alternativa para suprir parte desta demanda de forma sustentável e renovável.

Como possíveis trabalhos futuros, é possível apontar as seguintes sugestões:

- Estudo mais aprofundado sobre viabilidade na implantação de uma Usina de Aterro Sanitário.
- Estudo sobre as diretrizes e estratégias abordadas no Plano Nacional dos Resíduos Sólidos.
- Estudo sobre as formas de aproveitamento energético a partir dos Resíduos Sólidos Urbanos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Capacidade de Geração do Brasil**, 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 29 de abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA. PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE) **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2016. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br>. Acesso em: 17 de mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS (ABETRE) **Estudo sobre os Aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros Sanitários – FGV** Disponível em: <http://www.abetre.org.br/estudos-e-publicacoes>. Acesso em: 21 de out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - NBR 8419**. Rio de Janeiro, 1992.

BIOGÁS AMBIENTAL, 2018 – Informações cedidas por engenheiros e funcionários da Biogás Energia Ambiental S/A.

BRITTO, M. L. C. P. S. **Taxa de Emissão de Biogás e Parâmetros de Biodegradação de Resíduos Sólidos Urbanos no Aterro Metropolitano Centro**. Tese de Mestrado, Salvador, Bahia, 2006.

BURANI, Geraldo F. **Cogeração Através de Aproveitamentos Energéticos a Partir de Resíduos Urbanos**. Disponível em: http://seeds.usp.br/pir/arquivos/CLAGTEE2003_GeraldoBurani3.pdf. Acesso em: 15 de out. 2018.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **Fontes**, 2018. Disponível em: <<http://www.ccee.gov.br>>. Acesso em: 17 de abr. 2018.

CANAL ENERGIA. **Geração de energia de biomassa cresceu 9% em 2017, afirma CCEE**. 2017. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53042272/geracao-de-energia-de-biomassa-cresceu-9-em-2017-afirma-ccee>. Acesso em: 18 de set. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos 2016**, São Paulo, 2017.

ECOURBIS AMBIENTAL S/A. **Aterro Sanitário Sítio São João**. 2018. Disponível em: <http://www.ecourbis.com.br/aterros-desativados.aspx?content=sitio-sao-joao>> Acesso em: 10 de out. de 2018.

ECYCLE. **O que é energia solar, vantagens e desvantagens**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2890-energia-solar>>. Acesso em: 12 de out. 2018.

FOGAÇA, Jennifer R. V. **Diferença entre lixão, aterro controlado e aterro sanitário**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/diferenca-entre-lixao-aterro-controlado-aterro-sanitario.htm>> Acesso em: 18 de out. 2018.

FRIMAIO, Geslaine. **Aterro sanitário São João: estudo dos indicadores ambientais em emergência**. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/papers/dissertations/silva_gf.pdf>. Acesso em: 12 de jun. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos – Relatório de Pesquisa**. Brasília, 2012.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES (ICLEI). **Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários**. Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha12/manual_iclei_brazil.pdf>. Acesso em: 02 de jun. 2018.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES (ICLEI). **Manual para aproveitamento do biogás: volume dois, efluentes urbanos**. Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2018/10/Manual_para_aproveitamento_de_biog%C3%A1s.pdf>. Acesso em: 02 de out. 2018.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual (Vol.3)**. 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6>>. Acesso em: 15 de out. 2018.

JORNAL DO COMÉRCIO. **Brasil usa mais energia para produzir US\$ 1 no PIB**. 2017. Disponível em: <http://jcrs.uol.com.br/_conteudo/2017/11/cadernos/jc_logistica/596529-brasil-usa-mais-energia-para-produzir-us-1-no-pib.html>. Acesso em: 29 abr. 2018.

MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL). **Redução de emissões na disposição final**, 2007. Disponível em: <http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/03-aterro_mdl_1.pdf> Acesso em: 20 de set. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Matriz elétrica brasileira é a mais renovável entre os BRICS, 2015**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 11 de out. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. 2018. 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: 28 de abr. 2018.

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 = Produto 6 – Resumo Executivo. São Paulo, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano nacional de resíduos sólidos,** 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>. Acesso em: 22 de out. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano nacional de resíduos sólidos,** 2012. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf. Acesso em: 20 de out. 2018.

MIRANDA, Yara C., MARTINS NETO, Francisco F. **Viabilidade do Uso de Biogás Como Fonte de Energia Renovável em Aterros Sanitários.** V 05, n12, 2017.

MONTAGNA, Tainara B. **Biogás produzido em aterro sanitário como fonte de energia – uma revisão bibliográfica.** Dois Vizinhos-PR, 2013. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/biogas_produzido_em_aterro_sanitario_como_fonte_de_energia.pdf>. Acesso em: 13 de set. 2018.

NECKER, Helder S; ROSA, Ana Lúcia D. **Estimativa teórica da geração de biogás do futuro aterro sanitário de Ji-Paraná – RO.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET e-ISSN 2236 1170 - v. 17 n. 17 Dez. 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5902/2236117010969>>. Acesso em: 12 de jun. 2018.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissão por resíduos tem recorde em 2014.** 2016. Disponível em: <<http://www.observatoriodoclima.eco.br/emissao-de-gee-do-setor-de-residuos-atinge-seu-maior-nivel-em-2014-e-consolida-trajetoria-de-crescimento/>>. Acesso em: 30 de abr. 2018.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), **Balanco de energia,** 2018. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/energia-agora/balanco-de-energia>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

PENSAMENTO VERDE. **As diferenças entre o aterro controlado, o sanitário e o lixão.** Disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/diferencas-aterro-controlado-sanitario-lixao/>> . Acesso em: 08 de out. 2018.

PEREIRA NETO, João Tinoco. **Manual de compostagem processo de baixo custo.** Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Usina termelétrica aproveitará gás do aterro São João,** 2008. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/comunicacao/noticias/?p=124137> Acesso em: 20 de abr.2018.

SILVA, N.T. **Diagnóstico da Produção de Biogás em um Aterro Sanitário: Estudo de Caso no Aterro Bandeirantes.** 2006. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Vale do Itajaí “Univali”, Itajaí.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Emissões de GEE do setor de energia, processos industriais e uso de produtos**, 2016. Disponível em: http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/FINAL-16-09-23-RelatoriosSEEG-PIUP_.pdf. Acesso em: 10 de out. 2018.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Análise das emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o acordo de Paris**, 2016. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/WIP-16-09-02-RelatoriosSEEG-Sintese.pdf>. Acesso em: 10 de out. 2018.

SOBRINHO, Eduardo J. M. **Início da operação da termelétrica a gás do Aterro São João**. 2007, folder.