



FACULDADE ARI DE SÁ CURSO DE ENGENHARIA
CIVIL

AMANDA JOYCE DE SÁ LIMA

ANÁLISE DE CAPACIDADE ENERGÉTICA DE ATERRO SANITARIO DE PEQUENO
PORTE-ESTUDO DE CASO

FORTALEZA

2021

AMANDA JOYCE DE SÁ LIMA

ANÁLISE DE CAPACIDADE ENERGÉTICA DE ATERRO SANITARIO DE PEQUENO
PORTE –ESTUDO DE CASO

Projeto de Pesquisa apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá, como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I.

Orientador (a): Prof. Dra. Glacianne Gonçalves de Oliveira Maia.

FORTALEZA2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Faculdade Ari de Sá

Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos
pelo(a) autor(a)L732a Lima, Amanda .

ANÁLISE DE VIABILIDADE ENERGÉTICA DE ATERRO SANITARIO DE
PEQUENO PORTE: estudo de caso / Amanda Lima. – 2020.61 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Ari de Sá, Curso de Engenharia
Civil, Fortaleza, 2020. Orientação: Profa. Dra. Prof. Glacianne Gonçalves de Oliveira.

1. Aterro Sanitario. 2. Biogás. 3. Graduação. I. Título.

CDD 620

**Dedico este trabalho a minha família que foi meu suporte
no decorrer desse curso.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter proporcionado saúde e ter dado força no decorrer dessa jornada de graduação. Aos meus pais Angela e Gecildo por sempre me dar suporte e auxílio na minha graduação, a minha filha Maria Luna por ser meu incentivo diário de todos os dias e ao meu esposo José por sempre me apoiar e auxiliar no decorrer dessa jornada e último semestre.

Agradeço a Faculdade Ari de Sá, meus professores, o coordenador Leonardo que proporcionou todo o suporte após minha transferência e no período da pandemia com o sistema remoto.

A minha orientadora Dra. Glacianne Gonçalves de Oliveira Maia, pela orientação onde foi possível a elaboração e conclusão desse trabalho e incentivo. E também a Profa. Dra. Lamarka Lopes Pereira por ter dado o suporte no decorrer do meu trabalho.

Aos meus gestores Gleydson Amorim e Aguiar Lopes, que contribuíram no cotidiano do estágio e suporte para a realização deste trabalho e também a equipe da operação aterro.

E por todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente na minha formação.

*‘Não é a força mas a constância dos
bons resultados que conduz os homens à
felicidade.’ Friedrich Nietzsche*

RESUMO

Mudanças climáticas, secas prolongadas e barramentos de rios, tem comprometido a principal matriz energética do país, tudo isso atrelado com a geração de resíduos sólidos sendo descartados inadequadamente. Um dos meios de disposição dos resíduos é o aterro sanitário, que utiliza métodos de engenharia para minimizar os impactos gerados nos aterros.

Estudos mostram que é viável a utilização do biogás para geração de energia e traz a possibilidade de utilizar o biogás gerado em aterro.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade energética de um aterro sanitário na situação no município de Aquiraz, Estado do Ceará. O estudo utilizou o método de cálculo da USEPA que estima a capacidade de geração do biogás através da metragem disposta no aterro no decorrer de sua operação, após dimensionamento e cálculos, o estudo concluiu que o aterro gera ao ano 3,59 kw de energia, esse percentual é insuficiente para implantação e utilização do gás para fins energético.

Palavras Chaves: Biogás, Aterro Sanitário, Energia.

ABSTRACT

Climate changes, prolonged droughts and river dams, have compromised the country's main energy matrix, and have worried everyone, all linked to the large generation of solid waste being improperly disposed of. One of the means of disposal of waste is the landfill, which uses engineering methods to minimize the impacts generated in the landfills.

Studies show that the use of biogas for energy generation is viable and brings the possibility of using biogas generated in landfills.

This work aimed to evaluate the energy capacity of a landfill in the municipality of Aquiraz, State of Ceará. The study used the USEPA calculation method that estimates the biogas generation capacity through the footage disposed in the landfill during its operation, after sizing and calculations, the study concludes that the landfill generates 3.59 kW of energy per year, this percentage is insufficient to implement the use of gas for energy purposes.

Keywords: Biogas, Landfill, Energy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de Classifica de Resíduos Sólidos	25
Figura 2 - Mapas que possui aterros.....	34
Figura 3 - Oferta interna de energia elétrica.....	37
Figura 4 - Variação do consumo setorial.....	38
Figura 5 -Esquema de geração de Energia	44
Figura 6 -Geração de energia microturbinas	45
Figura 7 - Localização Aterro de Aquiraz.....	47
Figura 8 - Aterro de Aquiraz vista área.....	48
Figura 9 - Projeto Aterro de Aquiraz.....	49
Figura 10 - Quantidade de resíduos aterro de Aquiraz.....	54
Figura 11 - Versão landGem	55
Figura 12 - Preenchimento landgem item 1	55
Figura 13 - Preenchimento item 2	56
Figura 14 - Preenchimento Item 3.....	57
Figura 15 - Preenchimento Item 4.....	57
Figura 16- Emissão de Gases Poluentes.....	58
Figura 17 - Emissão de Metano.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Setores que mais emite gases	29
Tabela 2 - Países do Anexo I.....	29
Tabela 3- Perca de Bacia Hidrográfica.....	39
Tabela 4 - Composição do Biogás.....	40
Tabela 5- Quantidade de plantas e produção de biogás	41
Tabela 6 - Resíduos aterro de Aquiraz	53

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos
Especiais)

BEN Avaliação do Impacto Ambiental

CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico

CI Combustão Interna

CQNUMC Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

ETE Estação de Tratamento de Efluente

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

IPECE Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

IPT Instituto de Pesquisa Tecnológico

LFG Landfill gas

MMA Ministério do Meio Ambiente

NBR Norma Brasileira

OMS Organização Mundial da Saúde

OCDE Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSD Resíduos Sólidos Domiciliar

USEPA United States Environmental Protection Agency

LISTA DE SIGLAS

ABL-	Academia Brasileira de Letras
CH4 -	Metano
CO2-	Dióxido de Carbono
GWH-	Gigawatts
H2-	Hidrogênio
H2O-	Água
H2S-	Gás Sulfídrico
HP-	Horse Power
KM-	Kilometros
KW-	Kilowatts
M2-	Metro Quadrado
MM-	Milímetros
MW-	Megawatts
N2-	Nitrogênio
NH3-	Amônia Oxigênio
O2-	Oxigênio
PSIG-	Pounds
T-	Toneladas
TWh-	Toneladawatts

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	20
2.2 Objetivos Específicos	20
3 JUSTIFICATIVA	21
4.1 Classificações dos Resíduos Sólidos	23
4.2 Destinação	26
4.3 Impactos Ambientais	28
2.1 Mecanismo Desenvolvimento Limpo	28
2.2 Aterro	31
2.3 Tipos de Aterros	32
4.6.1 Aterros Industriais	32
4.6.2 Aterro Sanitário	32
4.6.3 Aterro Controlado	33
2.4 Classificação de Aterro Conforme Geração de Resíduos	36
2.5 Cenário Energético Do Brasil	36
2.6 Crise Hídrica Do Brasil	39
2.7 Biogás	40
4.10.1 Paronama do Biogás no Brasil	41
4.10.2 Biogás de Aterros Sanitarios	42
4.12 Conversões do Biogás em Energia	42
4.11.1 Motores de Combustão Interna	42
4.12.3 Turbinas a Gás	43
4.12.3 Microturbinas	44
5. METODOLOGIA	47
5.1 Aterro Sanitario de Aquiraz	47

5.2	Descrição e Caracterização do Aterro.....	48
5.3	Cálculo de Quantidade de Resíduos	49
5.4	Cálculo de Potência Energética.....	50
5.5	Cálculo de Geração de Metano	51
6.	RESULTADOS.....	53
6.1	Considerações a Respeito dos Parâmetros Utilizados.....	53
6.2	Resultados da LandGEM	55
6.2.1	Preenchimento Item 1	55
6.2.2	Preenchimento Item 2	56
6.2.3	Preenchimento Item 3	56
6.2.4	Preenchimento Item 4	57
6.2.5	Resultados de Geração de Gases Poluente LandGEM.....	58
6.3	Resultados de Geração de Metano LandGEM	59
7	CONCLUSÕES	60
8	REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

A crise hídrica no Brasil vem ganhando grande importância na atualidade, devido 60% da energia do país ser gerada através de hidroelétricas (BEN,2021), por esse motivo a busca pela geração de energia alternativas ,se tornou um tópico bastante comentado. Alguns tipos de energia limpa são: energia eólica, energia solar e energia gerada através de dejetos com a geração do metano (CH₄) energia do biogás. Este último método pode ser indicado sua implantação em aterros sanitários, onde se usa princípios de engenharia para converter o gás na captação em energia elétrica.

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiram 621,2 TWh em 2020, resultado 0,8% inferior ao de 2019 (EPE, 2020). A autoprodução (APE) em 2020 participou com 17,1% do total produzido, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas, atingindo um montante de 106,5 TWh. Desse total, 60,7 TWh não foram injetados na rede, ou seja, produzidos e consumidos pela própria instalação geradora, usualmente denominada como APE clássica.

Muitas vezes, o biogás já é produzido naturalmente no tratamento de efluentes ou em aterrossanitários e emitido para a atmosfera sem ter sido queimado (em queimadores ou em motogeradores). Essas emissões são também relacionadas ao aquecimento global, já que o metano contido no biogás é outro gás causador do efeito estufa, porém com potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o CO₂ (IPCC, 1996). Logo, o aproveitamento desse biogás parece ser uma das medidas necessárias para reduzir as emissões de CO₂.

Apesar desse potencial e dos sinais de crescimento do setor, ainda há barreiras à expansão do uso biogás no Brasil, da mesma forma que ocorre com outras fontes renováveis de energia. Essas barreiras são de diferentes naturezas, indo de regulatórias à falta de conhecimento, econômicas, financeiras e políticas. Daí a importância de se conhecer o setor, suas características, dificuldades e potencialidades. Com esse diagnóstico é possível analisar o setor em busca das

barreiras para seu desenvolvimento e propor medidas de superação dessas dificuldades.

A importância do trabalho desenvolvido da-se em estimar o potencial energético de um aterro sanitário que recebe uma quantidade pequena de resíduos domiciliares, o Aterro de Aquiraz, localizado na região metropolitana de Fortaleza.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Realizar um estudo de potencial elétrico de um aterro sanitario, á partir do biogás retirado doaterro.

2.2 Objetivos Específicos

- * Viabialidade do potêncial energético de um aterro de pequeno porte.
- * Validar a viabilidade de geração de gás em um aterro de pequeno porte.
- * Calcular o Percentual Enérgético gerado do Biogás extraído do aterro.
- * Propor a utilização do sistema de captação do biogás caso seja viável.

3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento econômico, o aumento da população Brasileira hoje estimada em 213 milhões de pessoas segundo o IBGE, faz com que a população consuma mais, e conseqüentemente gere mais resíduos sólidos. Uma das principais preocupações atuais é a correta destinação desses resíduos, um desses meios de destinação de resíduos que prejudica o meio ambiente em menor escala é o aterro sanitario.

A seca gerada pela a escassez de chuvas e a diminuição do nível de água vem gerar preocupação, já que 60% da energia gerada no país é através e hidroéletricas, assim governantes buscam alternativas para geração de energia alternativas no país.

Este trabalho foi em função da realização do trabalho de conclusão de curso, no qual permitiu a avaliação da capacidade energética do aterro de Aquiraz, visando uma possível instalação de geração de energia vindo do biogás extraído do aterro. É de suma importância a busca de alternativas de geração de energia, já que a crise hídrica do país pode prejudicada o abastecimento elétrico em todas as casas.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento do referencial teórico abordou a produção científica a respeito de temas como biogás, resíduos sólidos, aterros sanitários, alternativas em geração de energia. Buscou-se artigos desta área, mais especificamente os relacionados à área ambiental e livros que faz referência ao tema escolhido. Os materiais foram classificados por meio dos seguintes aspectos: ano de publicação, tipo de documento (tese, dissertação, livro, artigo científico), foco do trabalho.

Conforme a norma brasileira NBR10004 de 2004 a classificação de resíduos sólidos envolve:

A identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

A segregação dos resíduos na fonte geradora e a identificação da sua origem são partes integrantes dos laudos de classificação, onde a descrição de matérias-primas, de insumos e do processo no qual o resíduo foi gerado devem ser explicitados.

A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem

Assim, entende-se para melhor disposição de tratamento a necessidade de classificar os resíduos sólidos.

4.1 Classificações dos Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos são classificados quanto a seus riscos ao meio ambiente e à saúde pública. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (CASTRO, 1995, p. 184) em sua NBR10004 1)

Classe I – Resíduos Perigosos: que são aqueles que apresentam riscos a saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Exemplo: lixo hospitalar, lixo de aeroporto;

Classe II – Não-Inertes Resíduos Não-Inertes: são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico. Exemplo: borras da indústria metalúrgica, pneumáticos usados;

Classe III – Inertes. Resíduos Inertes: são aqueles que em contato com a água, ainda permanecerá potável. Muitos desses resíduos são recicláveis. Não se degradam ou tem degradação muito lenta. Exemplo: entulhos de demolição, pedras e areias retirados de escavações.

A Lei 12.305/10 no capítulo 1 e no artigo 13º nos apresenta outra forma diferente para classificação dos resíduos sólidos, e dividi-se em duas classes (BRASIL, 2010).

Resíduos domésticos: os originários das atividades domésticas em residências urbanas.

Resíduos de limpeza urbana: os originários de varrição, vias públicas, e outros serviços de limpeza urbana;

Resíduos sólidos urbanos: englobando os resíduos domésticos e de limpeza urbana;

Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: englobam os serviços de limpeza urbana, serviços de saneamento básico, serviços de saúde, serviços de construção civil e serviços de transportes;

Resíduos de serviços de saneamento básico: gerados nessas atividades excetuando os resíduos sólidos urbanos;

Resíduos industriais: gerados no processo de produção e instalações industriais;

Resíduos de serviços de saúde: são gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos Sistema Nacional do Meio Ambiental (SISNAMA) e Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);

Resíduos de construção civil: gerados na construção civil, na preparação e escavação de terrenos para obras civis;

Resíduos agrossilvopastoris: gerados na agropecuária e silviculturas.

Resíduos de serviços de transportes: os originários de aeroportos, portos, rodovias, ferrovias e passagens de fronteiras;

Resíduos de mineração: gerados na pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

A segunda classe classifica-os quanto à periculosidade:

Resíduos perigosos: são aqueles que em razão das suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam risco à saúde pública e ao meio ambiente, de acordo com a Lei, regulamento ou norma técnica; em três classes:

Resíduos não perigosos: são aqueles que não são enquadrados nos resíduos perigosos. de 1987, classifica os resíduos

A NBR1004, de 2004 indicado na figura 1 para classificação dos resíduos sólidos.

Tabela 1 -Setores que mais emite gases
Figura 2- Fluxograma de Classifica de Resíduos Sólidos

Tabela 2 -Setores que mais emite gases

Tabela 3 - Países do Anexo I
Tabela 4 -Setores que mais emite gases
Figura 3- Fluxograma de Classifica de Resíduos Sólidos

Tabela 5 -Setores que mais emite gases
Figura 4- Fluxograma de Classifica de Resíduos Sólidos

Tabela 6 -Setores que mais emite gases

Tabela 7 - Países do Anexo I
Tabela 8 -Setores que mais emite gases

Tabela 9 - Países do Anexo I

Figura 5 - Mapas que possui aterros
Tabela 10 - Países do Anexo I
Tabela 11 -Setores que mais emite gases

Tabela 12 - Países do Anexo I
Tabela 13 -Setores que mais emite gases
Figura 6- Fluxograma de Classifica de Resíduos Sólidos

Tabela 14 -Setores que mais emite gases
Figura 7- Fluxograma de Classifica de Resíduos Sólidos

Tabela 15 -Setores que mais emite gases

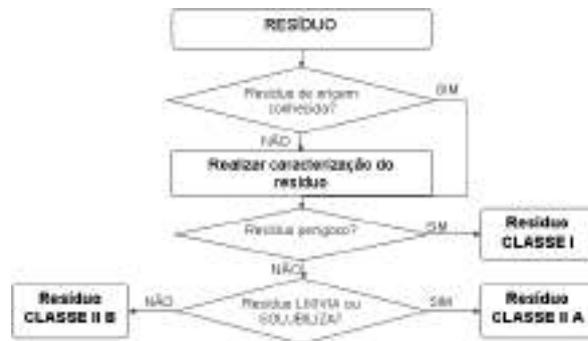
Tabela 16 - Países do Anexo I
Tabela 17 -Setores que mais emite gases
Figura 8- Fluxograma de Classifica de Resíduos Sólidos

Tabela 18 -Setores que mais emite gases
Figura 9- Fluxograma de Classifica de Resíduos Sólidos

Tabela 19 -Setores que mais emite gases

Tabela 20 - Países do Anexo I
Tabela 21 -Setores que mais emite gases

Tabela 22 - Países do Anexo I



Fonte: NBR1004,2004

4.2 Destinação

Entende-se por destinação ato de destinar (AURÉLIO, 2015), sendo assim local onde o resíduo será disposto, o lixo pode ser descartada em lixões, aterro controlado, incineração. A lei 12.305/2010 no artigo 3º , inciso VIII apresenta como disposição final ambientalmente adequada:

“disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;” (BRASIL, 2010, p.01)

Segunda da Lei Estadual 18.031/2009 são proibidas:

Art. 17 - São proibidas as seguintes formas de destinação dos resíduos sólidos:

I - lançamento "in natura" a céu aberto, sem tratamento prévio, em áreas urbanas e rurais;

II - queima a céu aberto ou em recipientes, instalações ou equipamentos não licenciados para esta finalidade, salvo em caso de decretação de emergência

sanitária e desde que autorizada pelo órgão competente;

III- lançamento ou disposição em lagoa, curso d'água, área de várzea, cavidade subterrânea ou dolina, terreno baldio, poço, cacimba, rede de drenagem de águas pluviais, galeria de esgoto, dutocondutor de eletricidade ou telefone, mesmo que abandonados, em área sujeita a inundação e em área de proteção ambiental integral.

Art. 18 - Ficam proibidas, nas áreas de destinação final de resíduos sólidos I - a utilização de resíduos sólidos como alimentação animal;

II - a catação de resíduos sólidos em qualquer hipótese;

III- a fixação de habitações temporárias ou permanentes. Parágrafo único - Na hipótese de ocorrência das situações previstas nos incisos I e II do caput deste artigo, o Município deverá apresentar proposta

de inserção social para as famílias de catadores, incluindo programas de ressocialização para crianças, adolescentes e adultos e a garantia de meios para que passem a freqüentar a escola, medidas que passarão a integrar o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município.

Art. 19 - O solo e o subsolo somente poderão ser utilizados para armazenamento, acumulação, tratamento e disposição final de resíduos sólidos se essas ações forem feitas de forma técnica e ambientalmente adequada e autorizadas pelo órgão ambiental competente.

Art. 20 - O licenciamento pelo órgão de controle ambiental para disposição de resíduos em cava de mina exaurida, mina subterrânea ou área degradada depende da comprovação do não- comprometimento da qualidade do ambiente ou da saúde pública, em conformidade com o Plano Estadual de Recursos

Hídricos. Parágrafo único - O procedimento de que trata o caput não se aplica às regiões cársticas. (BRASIL, 2009).

4.3 Impactos Ambientais

O Efeito Estufa é um fenômeno responsável por aquecer a superfície do planeta, graças à presença de uma atmosfera que contém gases que impedem que a Terra perca calor. Os principais gases que contribuem para o Efeito Estufa são o dióxido de carbono (CO₂), gás metano (CH₄) e o vapor-d' água (H₂O) (LOPES, ROSSO, 2010).

A energia solar chega à superfície da Terra, atravessando a atmosfera, parte dessa radiação é refletida e volta para o espaço. A Terra é aquecida pela radiação infravermelha refletida pela superfície, os gases da atmosfera como o gás carbônico retêm parte da radiação infravermelha, o que promove o Efeito Estufa (LOPES e ROSSO, 2010).

Sendo assim, o aumento dos gases na atmosfera está relacionado ao aumento da temperatura média do planeta - o aquecimento global.

Segundo o Ministério do meio ambiente o protocolo de Quioto constitui um tratado complementar à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, definindo metas de redução de emissões para os países desenvolvidos e os que, apresentavam economia em transição para o capitalismo, considerados os responsáveis históricos pela mudança atual do clima.

De forma a auxiliar os países desenvolvidos e os de economia em transição para o capitalismo – conhecidos tecnicamente como Países Anexo I - a cumprirem suas metas de redução ou limitação de emissões, o Protocolo de Quioto contemplou três mecanismos de flexibilização: Comércio de Emissões, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). (MMA,2002)

2.1 Mecanismo Desenvolvimento Limpo

Segundo Frondizi,2013 o propósito do MDL é prestar assistência às Partes Não Anexo I da CQNUMC(Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas) para que viabilizem o desenvolvimento sustentável através da implementação da respectiva atividade de projeto e contribuam para o objetivo final da Convenção, por outro lado, prestar assistência

às partes Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões de gases de efeito estufa.

As atividades de projeto do MDL, bem como as reduções de emissões de gases de efeito estufa e/ou aumento de remoção de CO₂ a estas atribuídas deverão ser submetidas a um processo de aferição e verificação por meio de instituições e procedimentos estabelecidos na COP-7, na tabela 1 podemos ver o setor e quais gases que cada um gera.

Tabela 57 -Setores que mais emite gases

REDUÇÕES DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA			
Energia	Processos Industriais	Agricultura	Resíduos
CO ₂ – CH ₄ – N ₂ O	CO ₂ – N ₂ O – HFCs – PFCs – SF ₆	CH ₄ – N ₂ O	CH ₄
Queima de Combustível • Setor energético • Indústria de transformação • Indústria de construção • Transporte • Outros setores Emissões Fugitivas de Combustíveis • Combustíveis sólidos • Petróleo e gás natural	• Produtos minerais • Indústria química • Produção de metais • Produção e consumo de hidrocarbonos e fluorocloro de carbono • Uso de solventes • Outros	• Fermentação entérica • Tratamento de ejetos • Cultivo de arroz • Solos agrícolas • Queimadas prescritas do cerrado • Queimadas de resíduos agrícolas	• Disposição de resíduos sólidos • Tratamento de esgoto sanitário • Tratamento de efluentes líquidos • Incineração de resíduos

Fonte: frondizi , 2009

O chamado Anexo I da Convenção é integrado pelas Partes signatárias da CQNUMC pertencentes em 1990 à OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e pelos países industrializados da antiga União Soviética e do Leste Europeu. A divisão entre Partes Anexa I e Partes Não Anexo I tem como objetivo separar as Partes

Alemanha	Eslováquia	Irlanda	Países Baixos
Austrália	Eslovênia	Islândia	Polônia
Áustria	Espanha	Itália	Portugal
Bélgica	EUA	Japão	Reino Unido da
Belarus	Estônia	Letônia	Grã-Bretanha e
Bulgária	Federação Russa	Liechtenstein	da Irlanda do Norte
Canadá	Finlândia	Lituânia	República Tcheca

Tabela 105 - Países do Anexo I

Dinamarca	Hungria	Noruega	Suécia
		Nova Zelândia	Turquia
			Ucrânia

segundo alguns critérios, sobretudo a responsabilidade pelo aumento da concentração atmosférica de gases de efeito estufa. Os maiores responsáveis – as Partes Anexo I – assumiram compromissos de limitação ou redução quantificada de emissões de gases de efeito estufa, definidos no Anexo B do Protocolo de Quioto. O Anexo I inclui 41 Partes listadas na tabela 2.(FRONDIZI,2009)

Fonte: Frondizi,2009

O frondizi,2009 diz que as atividades de projeto do MDL oferecem muitas oportunidades para vários agentes.. De modo geral, oferecem novas oportunidades e atrativos para o investimento externo nos países em desenvolvimento e, ao mesmo tempo, ajudam as Partes Anexo I a atingirem suas metas na redução de emissão dos gases do efeito estufa de forma custo-efetiva

2.2 Aterro

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) criou cartilhas sobre o mecanismo e desenvolvimento limpo (MDL) aplicado a resíduos sólidos, o terceiro volume da cartilha Redução de emissões na disposição final, apresenta o seguinte conceito de aterro sanitário.

O aterro sanitário é uma obra de engenharia projetada sob critérios técnicos, cuja finalidade é garantir a disposição dos resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente. É considerada uma das técnicas mais eficientes e seguras de destinação de resíduos sólidos, pois permite um controle eficiente e seguro do processo e quase sempre apresenta a melhor relação custo-benefício. Pode receber e acomodar vários tipos de resíduos, em diferentes quantidades, e é adaptável a qualquer tipo de comunidade, independentemente do tamanho. (MDL,2007, p.13)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 8119/198 define o aterro sanitário como:

É uma 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 for necessário. (CASTRO, 1995, p. 199).

Conforme se verifica da definição acima, o aterro, entre outros requisitos, deve ser construído de acordo com os critérios e as normas de engenharia. Os critérios de engenharia materializam-se no projeto de sistemas de drenagem periférico e superficial para afastamento de águas de chuva, e drenagem de fundo para coleta do lixiviado, de tratamento para o lixiviado drenado e de drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica. (BIDONE, 2001).

2.3 Tipos de Aterros

4.6.1 Aterros Industriais

Segundo a USEPA o aterro industrial é projetado para coletar resíduos comerciais e institucionais, que geralmente dividi-se em resíduos da construção civil como entulhos, vidros, madeira, metais e componentes de construção recuperados, outro tipo de resíduos são resíduos de combustão e carvão.

4.6.2 Aterro Sanitário

Conforme a NBR 8419 (1996) da ABNT o aterro sanitário é um procedimento de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo que não provoca impactos ambientais e a saúde da população. É um processo utilizado com metodologia de engenharias e normas específicas, ocasionando um aterro seguro com melhor aproveitamento da área em que é construído, permitindo reduzir o volume, sendo coberto com uma camada de terra em cada parte necessária ou na conclusão de cada trabalho (LIMA, 2004).

4.6.3 Aterro Controlado

Normalmente são originados de um lixão e é considerado uma fase intermediária entre o lixão e o aterro confinamento dos resíduos sólidos, esses aterros geralmente recebem cobertura diária de terra, porém costumam não possuir impermeabilização na base, comprometendo a qualidade das águas subterrâneas, pois, não possuem sistemas de tratamento do chorume ou de dispersão dos gases gerados (VILANOVA, 2008).

Figura 123 - Mapas que possui aterros

Figura 124 - Oferta interna de energia elétrica
Figura 125 - Mapas que possui aterros

Figura 126 - Oferta interna de energia elétrica

Figura 127 - Variação do consumo setorial
Figura 128 - Oferta interna de energia elétrica
Figura 129 - Mapas que possui aterros

Figura 130 - Oferta interna de energia elétrica
Figura 131 - Mapas que possui aterros

Figura 132 - Oferta interna de energia elétrica

Figura 133 - Variação do consumo setorial
Figura 134 - Oferta interna de energia elétrica

Figura 135 - Variação do consumo setorial

Tabela 122- Perca de Bacia Hidrográfica
Figura 136 - Variação do consumo setorial
Figura 137 - Oferta interna de energia elétrica

Figura 138 - Variação do consumo setorial
Figura 139 - Oferta interna de energia elétrica
Figura 140 - Mapas que possui aterros

Figura 141 - Oferta interna de energia elétrica
Figura 142 - Mapas que possui aterros

Figura 143 - Oferta interna de energia elétrica

Figura 144 - Variação do consumo setorial
Figura 145 - Oferta interna de energia elétrica
Figura 146 - Mapas que possui aterros

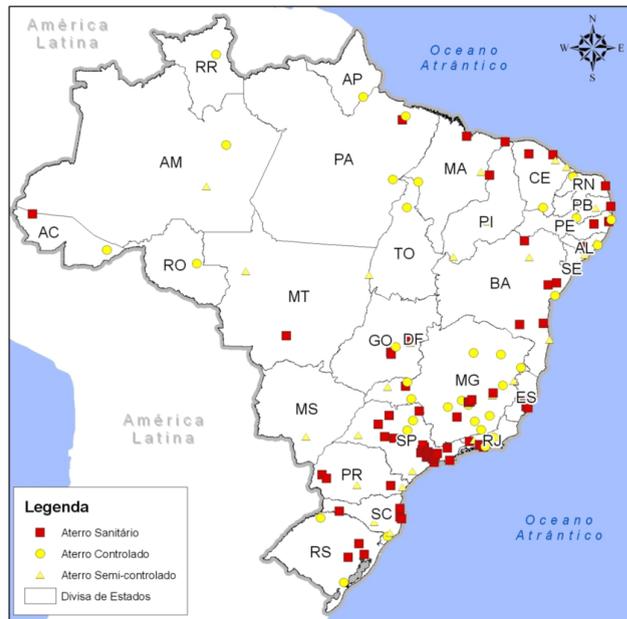
No mapa 1 pode

ado,aterro sanitário e

Figura 147 - Oferta interna de energia elétrica
Figura 148 - Mapas que possui aterros

semi-controlado.

Fonte : Silva,2009



2.4 Classificação de Aterro Conforme Geração de Resíduos

Um aterro sanitário para ser definido como sendo o aterro sanitário para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, até 20 t por dia ou menos, quando definido por legislação local, em que, considerados os condicionantes físicos locais, a concepção do sistema possa ser simplificada, adequando os sistemas de proteção ambiental sem prejuízo da minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública (NBR 15.849/2010).

Segundo a NBR 15.849/2010, aterro sanitário de pequeno porte pode ser definido em 4 tipos:

- Aterro sanitário de pequeno porte em valas: instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação com profundidade limitada e largura variável, confinada em todos os lados, oportunizando operação não mecanizada.
- Aterro sanitário de pequeno porte em trincheiras: instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação sem limitação de profundidade e largura, que se caracteriza por confinamento em três lados e operação mecanizada.
- Aterro sanitário de pequeno porte em encosta: instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, caracterizada pelo uso de taludes preexistentes, usualmente implantado em áreas de ondulações ou depressões naturais e encostas de morros.
- Aterro sanitário de pequeno porte em área: instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, caracterizada pela disposição em áreas planas acima da cota do terreno natural.

2.5 Cenário Energético Do Brasil

Os dados contidos neste capítulo levam como base o BEN (Balanço Energético Nacional) publicado em 2021, referente ao ano de 2020, apresentando os resultados preliminares e reunindo as avaliações sobre quanto e como se usou a energia no Brasil no ano de 2020 e as principais fontes de energia utilizada:

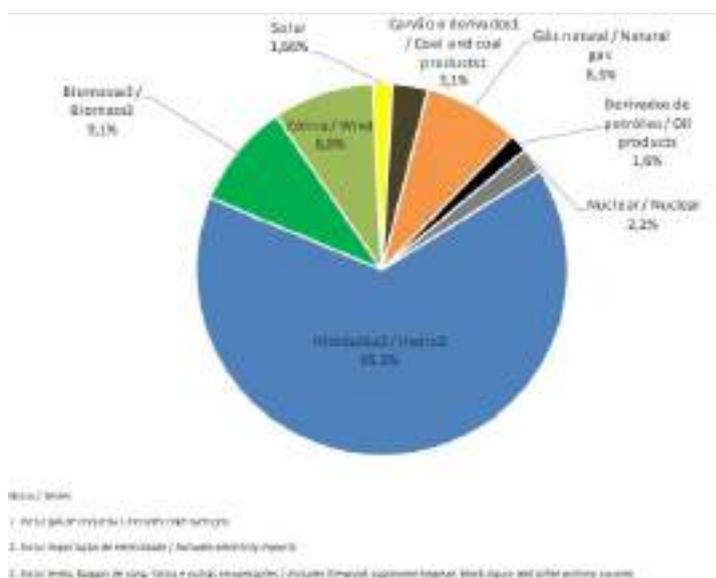
- Petroléo,
- Gás Natural,
- Energia Elétrica,

- Carvão Mineral,
- Energia Eólica,
- Biodiesel.

Segundo os dados do BEN o biodiesel obteve um crescimento e 8,6% na geração de energia do país, já de acordo com o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), a produção de cana-de-açúcar no ano civil 2020 alcançou 662,1 milhões de toneladas, aumento de 3,6% em relação ao ano civil anterior, quando a moagem foi 639,0 de milhões de tonelada.

Geração elétrica a partir de não renováveis representou 15,8% do total nacional, contra 17,7% em 2019. Entretanto é importante destacar a evolução do gás natural que ao longo dos últimos dez anos ao deslocar o óleo combustível e o diesel, contribuiu para minimizar as emissões provenientes da geração de eletricidade a partir de fontes não renováveis segundo BEN,2021 o Grafico 2 mostra a oferta interna de energia elétrica por fonte no brasil.

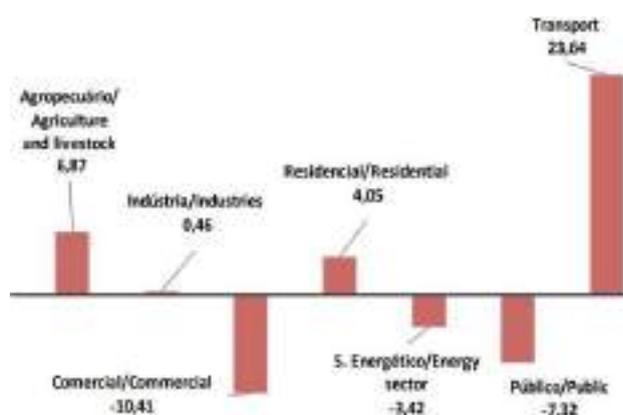
Figura 195 - Oferta interna de energia elétrica



Fonte: BEN,2021

Segundo dados do BEN o ano de 2020 foi marcado pela pandemia que ocasionou grandes impactos na economia mundial e nacional. O gráfico 3 expressa esta realidade. Setores relevantes da economia nacional sofreram quedas acentuadas no consumo de energia elétrica tais como os setores comerciais, público e energético. O consumo das indústrias oscilou positivamente (0,46%), com destaque apenas para o setor de alimentos e bebidas puxado pela produção de açúcar que cresceu 41,3% em relação ao ano anterior. No caso do setor residencial, em razão das políticas de distanciamento social, home office adotado por vários segmentos da economia nacional, entre outras, houve um crescimento de 4,05% no consumo de energia elétrica nos domicílios. O agropecuário cresce acompanhando o avanços das atividades associadas à agricultura e o transporte, que apesar de apresentar a maior oscilação positiva, parte de uma base ainda muito baixa de consumo (0,4% da demanda de eletricidade nacional).

Figura 243 - Variação do consumo setorial



Fonte: BEN, 2021

2.6 Crise Hídrica Do Brasil

Conforme apresentado a geração de energia do Brasil 65,2% é o percentual representado por hidroelétricas.

Segundo dados levantado pelo mapabiomas o Brasil vem perdendo área de superfície de água, em 30 anos foram perdidos 3,1 milhões de hectares de superfície o equivalente a 15,7% ,conforme levantamento 9 regiões perderam superfície de água de 1990 a 2020, a tabela 3 apresenta essas perdas (BEN,2020)

Tabela 228- Perca de Bacia Hidrográfica

Região Hidrográfica	1990 (ha)	2020 (ha)	Diferença	%
Amazônica	9.208.288	8.100.708	-1.104.579	-12%
Atlântico Leste	238.509	176.584	-61.925	-26%
Atlântico Nordeste Ocidental	483.707	416.508	-67.199	-14%
Atlântico Nordeste Oriental	443.535	339.708	-104.227	-23%
Atlântico Sudeste	246.027	209.883	-36.144	-15%
Atlântico Sul	477.233	435.663	-41.569	-9%
Paraguai	1.496.705	931.070	-565.635	-38%
Porand	1.608.278	1.694.798	76.518	5%
Porrão	142.227	115.531	-26.697	-19%
São Francisco	632.715	706.746	74.031	12%
Tocantins-Araguaia	1.684.594	1.700.243	15.649	1%
Uruguai	247.122	277.952	30.830	12%

Fonte: Mapabiomas, 2020

2.7 Biogás

O biogás é uma mistura gasosa resultante da degradação anaeróbia da matéria orgânica. Essa mistura gasosa é formada principalmente por metano e dióxido de carbono. Quanto maior a fração de metano, mais energia por unidade de massa o biogás contém. Há ainda dezenas de substâncias, como o gás sulfídrico, causador de mau cheiro, traços de siloxinas, que reduzem a vida útil dos equipamentos de uso energético, e vapor d'água (CETESB,2006)

Segundo o estudo realizado por (CIOBIOGÁS,2018) o biogás é um substância incolor, e em alguns casos inodoro, dependendo da sua composição. A Tabela 4 apresenta a composição típica dessa mistura gasosa que forma o biogás.

Tabela 300 - Composição do Biogás

Composto	Porcentagem na Mistura Gasosa (%)
Metano (CH ₄)	50 a 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 a 40
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3
Azoto (N ₂)	0.5 a 2.5
Oxigênio (O ₂)	0.1 a 1
Gás Sulfúrico (H ₂ S)	0.1 a 0.5
Amoníaco (NH ₃)	0.1 a 0.5
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0.1
Água (H ₂ O)	Variável

Fonte: Nota Técnica (CIOBIOGÁS,2018)

4.10.1 Paronama do Biogás no Brasil

Segundo os dados do levantados, o mercado brasileiro de biogás apresentou nos últimos 3 anos um crescimento de 117% em termos de plantas existentes e de 138% em produção de biogás. Grande parte desse mercado cresceu a partir dos novos modelos de negócios que passaram a ser possíveis a partir da evolução da regulamentação da geração distribuída de energia elétrica. Com a maior parte do biogás sendo produzida em empreendimentos de grande porte, o Brasil ainda possui um grande potencial de produção de biogás a ser explorado, que necessita de iniciativas do ponto de vista técnico, regulatório e de políticas públicas para se tornar um energético com relevante participação na matriz nacional. (CIOBIOGÁS,2018).

A compilação dos dados obtidos no levantamento de plantas de biogás existentes no Brasil realizado em 2018 é apresentada na Tabela 5 . Havia 276 plantas em operação em produzindo cerca de 3,1 milhões de m³ de biogás diariamente para geração de energia elétrica, calor e energia mecânica e produção de biometano. (CIOBIOGÁS,2018).

Tabela 348- Quantidade de plantas e produção de biogás

Situação	Quantidade de plantas			Produção média diária de biogás			
	2015	2018	Diferença	2015*	2018	Diferença	
Em operação	127	276	149 117%	1.305.288	3.110.871	1.805.583	138%
Em instalação	22	82	60 273%	1.246.146	1.561.843	315.697	25%
Em reformulação ou reforma	10	8	-2 -20%	121.971	50.424	71.547	-59%
Total Geral	159	366	207 130%	2.673.404	4.723.138	2.049.734	77%

Fonte: CIOBIOGÁS,2018

Segundo Ruy 2012,o aproveitamento energético do biogás oriundo de aterros sanitarios no Brasil é dominado por três empreendimentos de grande porte: os aterros de Caieiras (São Paulo), São João (São Paulo) e Salvador (Bahia). Juntos, eles respondem por mais da metade (64,9 %) da capacidade total instalada. As usinas restantes variam de

tamanho e possuem entre 1,1 MW, em Curitiba, e 8,6 MW, no aterro Biotérmica Recreio em Minas do Leão (RS).

4.10.2 Biogás de Aterros Sanitarios

Segundo definido por borbas os gases que podemos encontrar nos aterros sanitarios são metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), amônia (NH₃), hidrogênio (H₂), gás sulfídrico (H₂S), nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂). A queima dos gases metano pode gerar crédito de carbono através do MDL.

Segundo Ruy (2019, Pag 177) o aproveitamento energético do biogás oriundo de aterros sanitarios no Brasil é dominado por três empreendimentos de grande porte: os aterros de Caieiras (São Paulo), São João (São Paulo) e Salvador (Bahia). Juntos, eles respondem por mais da metade (64,9 %) da capacidade total instalada. As usinas restantes variam de tamanho e possuem entre 1,1 MW, em Curitiba, e 8,6 MW, no aterro Biotérmica Recreio em Minas do Leão (RS).2018,

Em suma, o aproveitamento energético do resíduo urbano deve ser considerado dentro de uma lógica de boas práticas ambientais, sociais e econômicas para fins de tratamento adequado dos resíduos urbanos gerados pela nossa sociedade. A energia gerada é importante dentro de uma estratégia energética descentralizada, mas é um elemento menor dentro de uma estratégia nacional de expansão energética.(Ruy,2019)

4.12 Conversões do Biogás em Energia

4.11.1 Motores de Combustão Interna

Os motores CI (Combustão Interna) adaptados para aplicações a gás de aterro estão disponíveis em diversos tamanhos, assim são mais comumente utilizados em aplicações de gás de aterro se classificam entre 800 e 3.000 kW.(ABRELPE,2013)

Segundo a Abrelpe (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais), normalmente, os projetos de implantação do biogás usam motores de 4 tempos de mistura pobre, cujo funcionamento é similar ao dos motores de automóveis. Esses motores queimam o gás com montantes significativos de ar em excesso para obter maior

eficiência e menores emissões de NOx. Para gerar energia, o motor é conectado a um virabrequim, que por sua vez aciona um gerador elétrico para produzir eletricidade.

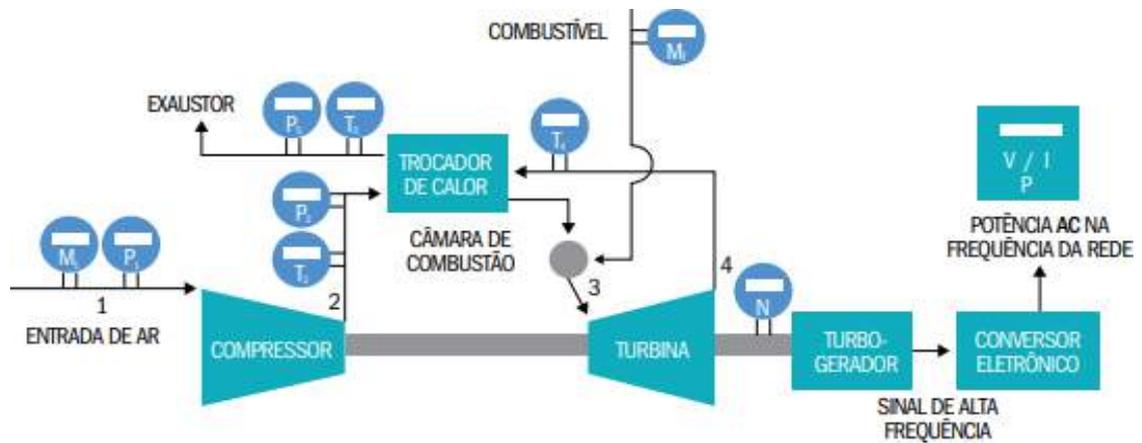
Os modelos de motores utilizados em aterros têm tamanhos variando entre 0,5 e 3 MW, sendo geralmente usados em projetos cujas capacidades variam de 0,8 a 6 MW (muitos destes empregam mais de um motor). Os motores recíprocos são normalmente a tecnologia de geração de eletricidade mais viável e econômica para aterros contendo de 1 milhão a 5 milhões de toneladas de resíduos, mas também têm sido utilizados em aterros com até 10 milhões de toneladas de resíduos (tipicamente, um aterro de resíduos sólidos urbanos com 1 milhão de toneladas dispostos, gerando uma capacidade de projeto entre 0,8 e 1 MW). (ABRELPE,2013)

O custo típico de projetos de geração de eletricidade a partir do gás de aterro usando motores recíprocos varia de 4 a 7 centavos de dólar por kilowatt/hora. Tais despesas abarcam custos de capital, instalação e operação. Esses custos variam, dependendo de se um sistema de coleta de gás projeto é financiado (financiamento governamental ou privado).

4.12.3 Turbinas a Gás

Segundo a (ABRELPE,2019) a geração de energia através de turbinas a gás aquecem grandes quantidades de ar atmosférico comprimido, o qual é expandido na turbina e desenvolve potência para acionar um gerador elétrico. As turbinas a gás consistem em motores de ciclo Brayton, que extraem a energia de combustíveis hidrocarbonados através de compressão, combustão e expansão do gás aquecido. O ar é levado até um compressor, onde a pressão atmosférica é aumentada. Em seguida, o ar comprimido é misturado ao combustível e inflamado em um combustor. Em seguida, o gás aquecido se expande até uma turbina, que aciona o compressor e rende trabalho através da rotação do compressor – eixo da turbina. O esquema da figura 5 a energia gerada pode ser utilizada para acionar um gerador e, por conseguinte, fornecer eletricidade.

Figura 367 -Esquema de geração de Energia



Fonte:Abrelpe,2013

O processo de operação da turbina a gás é relativamente simples. Primeiro, um gradiente de pressão direciona o ar até o estágio do compressor na turbina. Nessa etapa, um intercooler aumenta a eficiência do compressor resfriando o ar na entrada e, dessa forma, elevando sua densidade. O ar comprimido deixa o estágio do compressor através de um recuperador de calor de exaustão, pré-aquecendo o ar comprimido de forma a aumentar a eficiência da combustão. O ar comprimido pré-aquecido é então misturado ao combustível e, finalmente, queimado. (ABRELPE, 2013)

4.12.3 Microturbinas

Geralmente, as microturbinas são mais adequadas para aplicações relativamente pequenas (isto é, de menos de 1 megawatt (MW) e são projetadas para fornecer eletricidade para atender às necessidades de energia do próprio local, bem como de usuários finais extremamente próximos do local de geração. Como ponto de referência, a capacidade de uma microturbina de 30 kilowatts (kW) é capaz de acionar um motor de 40 HP ou satisfazer às necessidades elétricas de aproximadamente 20 residências. (ABRELPE,2013)

A abrelpe diz que a tecnologia de microturbinas é baseada no projeto de turbinas de combustão muito maiores empregadas nas indústrias de energia elétrica e de aviação. O

funcionamento das microturbinas ocorre da seguinte forma:

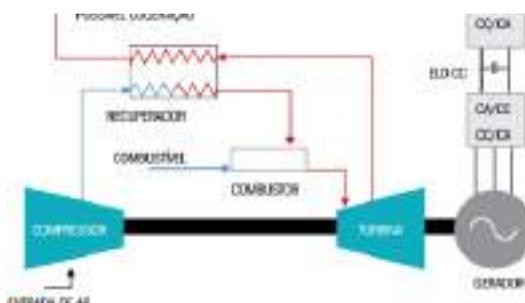
- O combustível é levado até a seção do combustor na turbina, à razão de 70 a 80 libras por polegada quadrada medida (psig) de pressão.

- O ar e o combustível são queimados no combustor, liberando o calor que expande o gás de combustão.

- O gás em expansão aciona a turbina a gás que, por sua vez, aciona o gerador, produzindo eletricidade.

- Para aumentar a eficiência geral, as microturbinas são normalmente equipadas com um recuperador que pré-aquece o ar de combustão usando o gás de exaustão na turbina. Uma microturbina também pode ser instalada com uma unidade de recuperação de calor residual para aquecer a água. Para ilustrar o funcionamento de uma microturbina, apresentamos um esquema geral do processo de microturbinas, além de uma seção transversal de uma microturbina atualmente disponível para a aplicação de gás. (Figura 6)

Figura 448 -Geração de energia microturbinas



Fonte: Abrelpe,2013

A abrelpe sugeriu que a estimativa de custo de geração desse projeto no Brasil é geralmente de 7 a 14 centavos de dólar por kWh. O extremo inferior da faixa representa um aterro com um sistema de coleta de gás já instalado (o que é improvável nos aterros pequenos) e que gera energia para uso no próprio local, evitando os custos associados com a conexão à rede de energia. As taxas caloríficas das microturbinas são de, geralmente, 14.000 a 16.000 BTU/kWh.

O custo instalado total de um projeto de microturbinas de LFG é estimado em US\$ 4.000 a

5.000 por kW em sistemas menores (30 kW), diminuindo para US\$ 2.000 a 2.500 por kW em sistemas maiores (a partir de 200 kW). Os custos com operação não-combustível e manutenção chegam a aproximadamente 1,5 a 2 centavos de dólar por kWh.

5. METODOLOGIA

5.1 Aterro Sanitario de Aquiraz

O município de Aquiraz na imagem 1 está localizado a aproximadamente 20 km da cidade de Fortaleza, possuindo uma área aproximada de 150,50 hab/km² e cerca de 81.581 habitantes umido.metropolitana de Fortaleza.Segundo IPECE 2021,. (IBGE,2021). Situa-se na região Aquiraz possui um clima quente- semi-umido

Figura 528 - Localização Aterro de Aquiraz



Fonte: Autor,2021

5.2 Descrição e Caracterização do Aterro

O aterro iniciou sua operação no ano de 1997, e possui um fim estimado de sua operação para dezembro de 2022. No início de setembro iniciou-se um processo de expansão do aterro estimado em 4.970 m². Com esta ampliação, a vida útil do aterro será prolongada ao menos até 2024.

O aterro ocupa uma área de 217.000 m² e está localizado a 3,7 km de distância do centro urbano de Aquiraz. Praticamente todo o resíduo sólido urbano depositado é proveniente do município de Aquiraz e do Município de Eusebio.

No local são recebidos RSD (resíduos sólidos domiciliares) e capina, que são dispostos em locais diferentes, a capina é descarregada na área exclusiva para poda e os resíduos no talude.

O chorume produzido é coletado por meio de drenos verticais e horizontais, implementados no interior do aterro, e encaminhado para a ETE (Estação de Tratamento de Efluente) na imagem 02 podemos ver o aterro visto de cima.

Na parte mais recente do aterro o solo é impermeabilizado com manta impermeável de PEAD com 2 mm de espessura, proteção mecânica, drenagem de pedra e bidim. Na outra parte, mais antiga, a impermeabilização de base foi feita com argila compactada

Figura 601 - Aterro de Aquiraz vista aérea



Fonte: Marquise Ambiental, 2021

Atualmente no aterro possui 32 queimadores, que são constituídos de malha de ferro de 5 mm, pedra de alvenaria, tubo de concreto que possui a função de queima do biogás distribuídos pelo aterro conforme imagem 3. Os drenos são instalados desde o fundação do aterro até, aproximadamente, 1 metro acima da superfície. Além desses drenos verticais, existem ainda tubulações horizontais por toda a extensão do aterro. A queima dos gases ocorre em cada dreno e o acendimento é manual.

Figura 658 - Projeto Aterro de Aquiraz



Fonte: Marquise Ambiental,2021

5.3 Cálculo de Quantidade de Resíduos

Para cálculo de geração de resíduos será usado a fórmula matemática de volume

$$V = C * L * H$$

Onde:

- V= volume (m³)
- C = comprimento (m)
- L = largura (m)

- H = altura (m)

5.4 Cálculo de Potência Energética

Para a estimativa da potência disponível e da potência com motor de combustão interna (Internal Combustion Engine), utilizam-se as seguintes formulas:

$$\frac{Q_K * P_c}{31.536.000 * E_c * P_x} = \frac{K}{1.000}$$

Onde:

- P_x = potência disponível a cada ano (kW)
- Q_K = vazão de metano a cada ano
- P_c = poder calorífico do metano ($35,53 \times 10^3$ J/m³ CH₄).
- 31.536.000 = número de segundos em um ano (s/ano);
- 1/1000 = para transformação de unidade de J/s para kW;
- E_c = eficiência de coleta de gases (%)
- $k = 1$

$$P_{ice} = P_x * E_{ice}$$

onde:

- P_{ice} = potência elétrica com motor de combustão interna (kW);
- P_x = potência disponível a cada ano (kW);
- E_{ice} = eficiência de motor de combustão interna.

5.5 Cálculo de Geração de Metano

A USEPA - United States Environmental Protection Agency desenvolveu um método de cálculo que estima o percentual de geração de energia através da quantidade de CH₄ disposto, uma metodologia adequada e usada para calcular estimar a quantidade de energia gerado do biogás.

O modelo matemático utilizado no aterro é baseado em uma equação de decaimento de primeira ordem, que pode ser aplicada utilizando dados específicos do local, fornecidos pelo usuário, para gerar os parâmetros necessários para estimar as emissões ou, caso não hajam dados disponíveis, utilizando conjuntos de valores padrão inclusos no aterro. Para a determinação da quantidade de metano produzido pelos resíduos dispostos nos aterros

$$Q_m = \sum_{i=l}^n 2kL_0M_i (e^{-kt_i})$$

onde:

- Q_M = taxa de fluxo máximo esperado da geração de LFG (m³/ano);
- L_0 = potencial de geração de metano (m³/Mg);
- M_i = massa de resíduos sólidos disposta no primeiro ano i (Mg)
- K = constante da taxa de geração de metano (1/ano);
- t_i = idade dos resíduos dispostos no primeiro ano i (anos).
- K = Taxa de Geração do Biogás

- $\sum_{i=l}^n$ = soma do ano de abertura +1 (i=1) até o ano de projeção (n);

Segundo (Ruy,2017) a equação acima é utilizada para estimar a geração de LFG em um determinado ano a partir de todo o resíduo disposto até aquele ano. É possível desenvolver projeções para vários anos variando-se o ano de projeção e reaplicando as equações. Normalmente, o ponto de geração máxima de LFG ocorre no ano de fechamento ou no ano seguinte ao fechamento (dependendo da taxa de destinação nos anos finais)

6. RESULTADOS

6.1 Considerações a Respeito dos Parâmetros Utilizados

Os resíduos no aterro de Aquiraz foram dispostos em quatro sub-áreas distintas, conforme mostra a tabela 6, na coluna dimensão para chegar esse resultado foi utilizado a fórmula de área, onde multiplicasse comprimento por largura, em cada sub-área foram descontados 20 metros, devido ao espaçamento necessário para cada rua.

O aterro é operado com uma altura de 5 metros, essa altura foi definida devido a estabilidade do talude e trabalhabilidade de compactação.

Tabela 429 - Resíduos aterro de Aquiraz

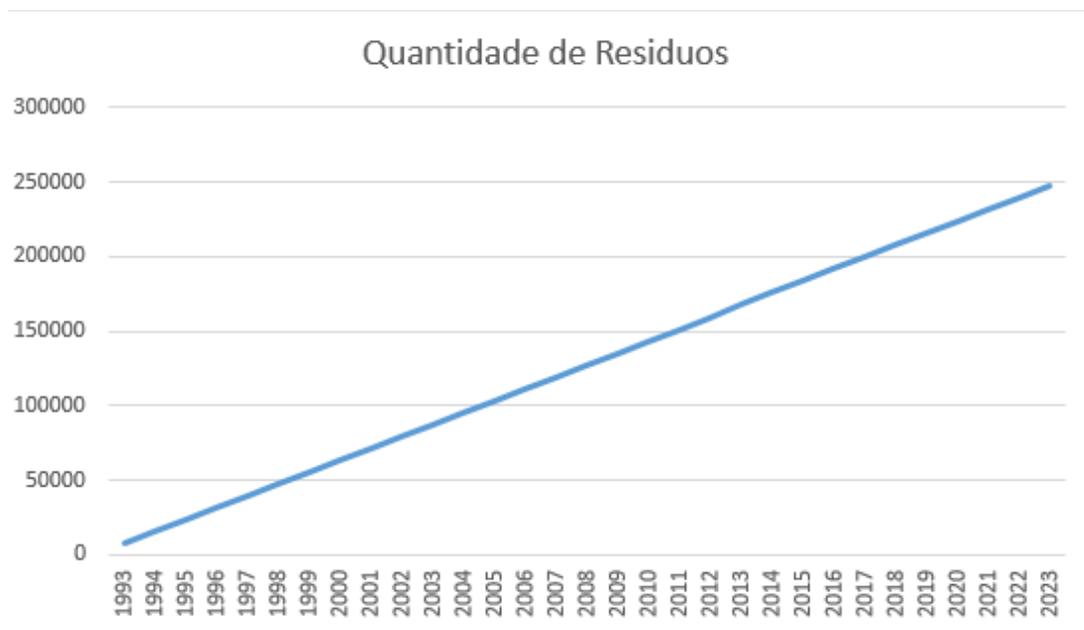
Sub- Áreas	Dimensão (m ²)	Espessura média do Lixo (m)	Volume aproximado (m ³)	Peso -1,0 tf/m ³ (tf)
1	17750	5	88750	88750
2	13800	5	69000	69000
3	9900	5	49500	49500
4	6400	5	32000	32000
Total	47850		239250	239250

Fonte: Autor, 2021

Para chegarmos a uma média de disposição de resíduo anual, foi utilizada uma média aritmética, onde foi dividido os anos de operação, pelos totais de resíduos disposto no aterro, com esse cálculo chegamos a uma estimativa de 7.975 m³ de resíduos anualmente.

Conforme figura 10 abaixo podemos ver a evolução dos resíduos depositados no aterro ao longo de sua operação .

Figura 772 - Quantidade de resíduos aterro de Aquiraz



Fonte: Autor,2021

6.2 Resultados da LandGEM

A versão utilizada para Landgem foi 3.03, que possui sua ultima atualização em junho de 2020 conforme figura abaixo.

Figura 853 - Versão landGem



Fonte : Autor,2021

6.2.1 Preenchimento Item 1

Para geração de resultados de estimativa de emissão de gases se faz necessário preenchimento characteristic``, nesse item o programa solicita o ano de inicio de operação do aterro e a previsão de fechamento do mesmo, conforme mostra figura12, também devemos determinar a unidade de medida que será feita os calculos, foi utilizado a ``short tons``.do programa, na primeira etapa é denominada `` Provide Landfill

Figura 934 - Preenchimento landgem item 1

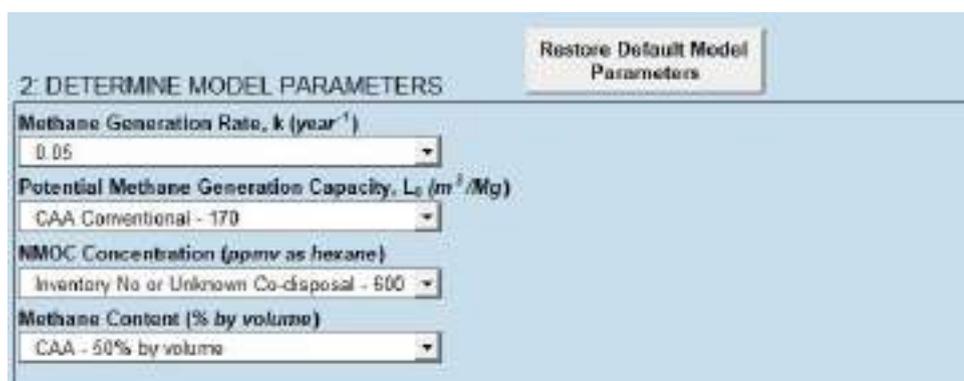
1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS	
Landfill Open Year	1993
Landfill Closure Year	2023
Have Model Calculate Closure Year?	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No
Waste Design Capacity	short tons

Fonte: Autor,2021

6.2.2 Preenchimento Item 2

A segunda etapa de preenchimento que devemos informar ao programa é quais características ele deve considerar para calcular a quantidade de metano gerado no aterro, para os cálculos do projeto foi utilizado os conforme imagem 13 abaixo, para o preenchimento foi considerado temperatura de Aquiraz considerando uma área semi-umida e o material no qual é disposto no aterro.

Figura 1015 - Preenchimento item 2



2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Restore Default Model Parameters

Methane Generation Rate, k (year^{-1})
0.05

Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m^3/Mg)
CAA Conventional - 170

NMOC Concentration (ppmv as hexane)
Inventory No or Unknown Co-disposal - 600

Methane Content (% by volume)
CAA - 50% by volume

Fonte: Autor,2021

6.2.3 Preenchimento Item 3

A figura 14 mostra como o item 3 foi preenchido, devemos informar quais os gases que devemos considerar nos cálculos, nessa etapa de preenchimento foi selecionado os seguintes gases: metano, dióxido de carbono e NMOC.

Figura 1096 - Preenchimento Item 3

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Gas / Pollutant #1 Default pollutant parameters are currently being used by model.

Total landfill gas

Gas / Pollutant #2

Methane

Gas / Pollutant #3

Carbon dioxide

Gas / Pollutant #4

NIPOC

Edit Existing or Add New Pollutant Parameters

Restore Default Pollutant Parameters

Fonte: Autor,2021

6.2.4 Preenchimento Item 4

Para concluir o preenchimento devemos informar a quantidade de disposição de resíduos que o aterro recebe anualmente, conforme podemos observar na figura 15, a unidade de medida utilizada foi a ``short tons/year`` que traduzindo para o português é a mesma coisa de toneladas/anos.

Figura 1175 - Preenchimento Item 4

4 ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: short tons/year

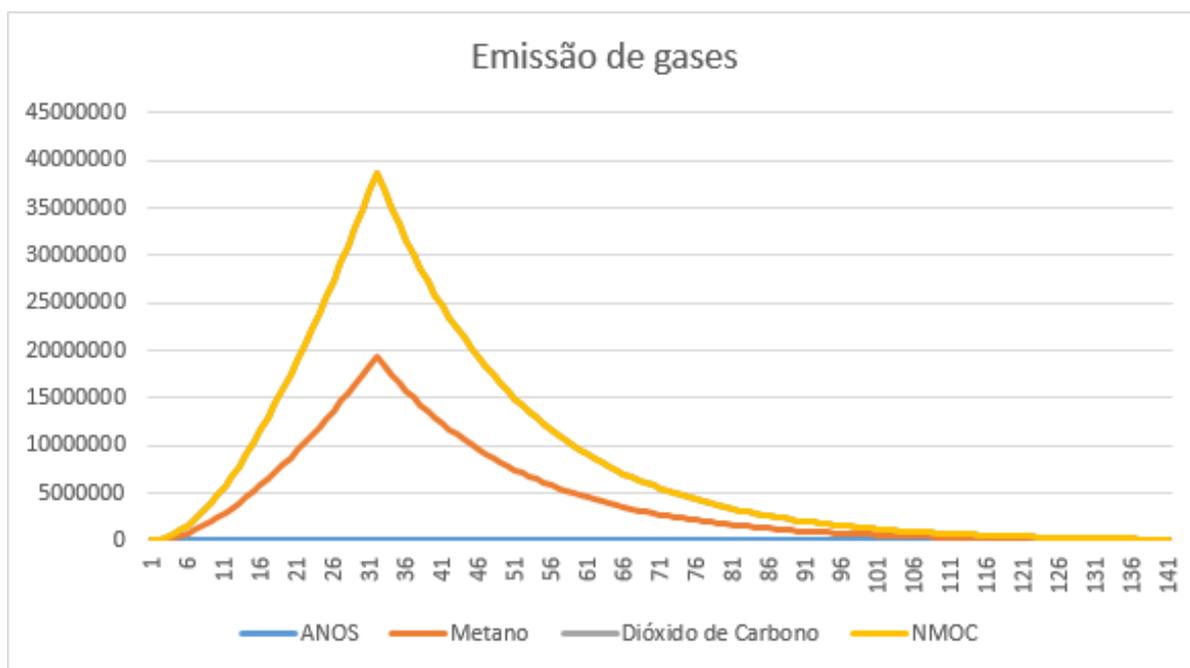
Year	Input Units (short tons/year)	Calculated Units (Mg/year)
1993	7.975	7.210
1994	15.950	14.420
1995	23.925	21.630
1996	31.900	28.840
1997	39.875	36.050
1998	47.850	43.260
1999	55.825	50.470
2000	63.800	57.680
2001	71.775	64.890
2002	79.750	72.100
2003	87.725	79.310
2004	95.700	86.520
2005	103.675	93.730

Fonte: Autor,2021

6.2.5 Resultados de Geração de Gases Poluente LandGEM

O Figura 16 mostra o aumento das emissões geradas pelo aterro sanitario por meio da digestão anaeróbia, que alcançam seu valor máximo em 2031, com 13 toneladas de dióxido de carbono, 13 mil m³ de NMOC (compostos orgânicos não metânicos) e 13613895,046776 m³ de metano.

Figura 1240- Emissão de Gases Poluentes

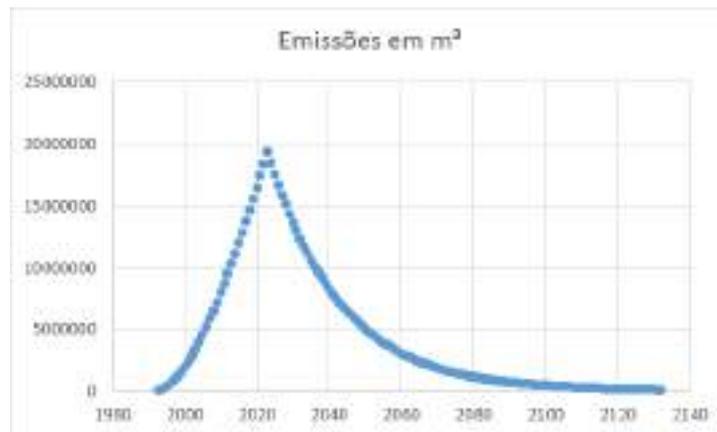


Fonte: Autor,2021

6.3 Resultados de Geração de Metano LandGEM

No Figura 17, observa-se a produção de metano em aterro sanitario, atingindo $19.319.036\text{m}^3$ até o final da vida útil do aterro. A partir daí a quantidade começa a diminuir porque se deixa de incorporar matéria orgânica ao aterro sanitario.

Figura 1271 - Emissão de Metano



Fonte: Autor,2021

7 CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento desse trabalho, observou-se os benefícios na implantação do biogás na geração de energia devido o aumento de consumo e disposição de resíduos sólidos em aterro, e a diminuição das bacia hidrografia no decorrer do próximos anos. Assim, utilizando esse estaríamos descentralizando a geração de energia do país das hidroelétricas e utilizando alternativos para diminuição de lançamento de gases no efeito estufa.

Ao analisar o potencial energético de do aterro de aquiraz pelo o método de LandGEM obteve-se que a geração de biogás acumulado em 28 anos de operação foi de 19.319.036 m³, assim esse aterro gerar 10.59 GWh ao longo de vida da sua operação.

Assim, o potencial de geração de energia anualmente estimado foi de 3,59 Kw pelo método LandGEM, com um motor de combustão interna a pistão com eficiência de conversão elétrica de 33%. Segundo Fredigo et al,2009 o consumo médio de energia elétrica nas residências brasileiras é de 152,2 kWh/mês. Portanto, aterro estudado não conseguiria alimentar uma residência padrão durante um ano.

Com esses resultados apresentados para o aterro estudado não seria viável o desenvolvimento do sistema de captação de metano, devido a baixa geração de energia que o mesmo iria produzir, além disso teria ainda o custo de implantação do projeto e o custeio da manutenção do aterro.

Hoje presentes no aterro possui flares de queima do biogás, assim propõe-se para estudos futuros a viabilidade de queima desse gás para geração de créditos de kyoto.

8 REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5** de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

CALIJURI, M. C; CUNHA D. G. F. Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

AMBIENTAL LIMPEZA URBANA. Formas de Tratamento e Destinação dos Resíduos Sólidos. Disponível em Acesso em: 03 mai. 2021.

ECYCLE. **O que é Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).** Disponível em:

BRASIL. **Lei nº 12.305,** de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Apresentação de

projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Classificação, NBR 8.419. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Aterros de resíduos

não perigosos- Critérios para projeto, implantação e operação. Classificação, NBR 13.893. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Estabilidade de

taludes. Classificação, NBR 11.682. Rio de Janeiro, 1991.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS
TÉCNICAS**

(ABNT). Resíduos sólidos. Classificação, NBR 10.004. Rio de Janeiro, p. 5, 2004.

FRONDIZI, I. **O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO: guia de orientação.**

Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio Gráfica e Editora, 2009. 131 pág

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS
TÉCNICAS**

(ABNT). Resíduos sólidos urbanos- Áterros sanitários de pequeno Porte- Diretrizes para implantação, projetos, implantação, encerramento NBR 15.849 Rio de Janeiro, p. 5, 2010. <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/67-dia-a-dia/3705-o-que-e-politicanacional-de-residuos-solidos-pnrs-urbanos-descartes-danos-saude-meio-ambiente-qualidadevida-reciclagem-consumo-instrumento-responsabilidade-produto-metas-lixoes.html>> Acesso em: 12 mai. 2021.

ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira van. **Redução de emissões na disposição final.** Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao12032009023918>

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Atlas brasileiro de emissões de GEE e potencial energético na destinação de resíduos sólidos.** São Paulo, 2013. 172 p

RUY, **Oportunidades enterradas:** geração elétrica a partir do biogás de resíduos sólidos urbanos. Espírito Santo: Editora liada à Associação Brasileira das Editoras Universitárias (Abeu), 2019. 302 pág

FARIA, Caroline. **Destinação de Resíduos.** Disponível em: <<https://www.infoescola.com/ecologia/destinacao-de-residuos/>> Acesso em: 06 maio 2021.

CIBIOGÁS. Nota Técnica: N° 002/2018 – Características técnicas do biogás. Foz do Iguaçu, novembro de 2018. Acesso em: 07 de Novembro de 2021

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2021, <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf> > Acesso em: 07 novembro os municípios do Brasil que possui aterros.

RELÁTORIO AMBIENTAL DE GERACAO DE ENERGIA: planta de minimização de gases efeito estufa e aproveitamento energético do biogás no lixão de marambaia, Rio de Janeiro, 2003 Acesso em 28 de Novembro de 2021

Fredigo et al, **RELÁTORIO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA:** usos finais de energia elétrica no setor residencial Brasileiro, Florianópolis, 2009. Acesso em 04 de Dezembro de 2021.