

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA

**USINAS A BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO: APROVEITAMENTO
DO POTENCIAL ENERGÉTICO**

ROBERTO RODRIGO MARIANO DA SILVA

São Paulo

2018

**USINAS A BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO: APROVEITAMENTO
DO POTENCIAL ENERGÉTICO**

ROBERTO RODRIGO MARIANO DA SILVA

Monografia apresentada à Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Geração de Energia

Orientadora:

Prof. (a) Dra. Patrícia H. L dos Santos Matai

São Paulo
2018

Catalogação-na-publicação

R. M. Silva, Roberto

Usinas a biogás de aterro sanitário: Aproveitamento do potencial energético / R. R. M. Silva -- São Paulo, 2018. 43p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Usinas a biogás 2. Energia Elétrica 3. Valorização de RSU 4. Aterros Sanitários.

Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

Nome: R. M. SILVA, Roberto

Título: Usinas a biogás de aterro sanitário: Aproveitamento do potencial energético.

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

RESUMO

A urbanização, junto com o crescimento populacional e industrial cria a necessidade de mais fontes de energia, com destaque para a produção de energia elétrica, levando a um aumento da emissão de poluentes no meio ambiente, pois grande parte da geração de energia elétrica tem como base o uso de combustíveis fósseis, a exemplo os derivados de petróleo e carvão mineral que liberam gases de efeito estufa na atmosfera. Por esse motivo, há uma grande procura por novas fontes de energia, em especial por aquelas oriundas de recursos naturalmente reabastecidos: energias renováveis.

Dentre os problemas causados pela urbanização, outra preocupação enfrentada no mundo é a deposição inadequada de resíduos sólidos urbanos (RSU), que em sua decomposição através de microrganismos anaeróbios geram gases causadores de mau odor, que prejudicam o meio ambiente, além de causar vários problemas sociais. Para solucionar esse problema, ao longo dos anos surgiram os aterros sanitários, uma solução que utiliza os princípios da engenharia de modo ambientalmente seguro, adequado e eficiente para deposição desses resíduos urbanos.

Neste cenário, como subproduto dos aterros sanitários e mitigação para a exposição do biogás lançado na atmosfera, surge a modalidade de geração de energia através de biogás de aterro sanitário.

Este trabalho mostra como é feito o aproveitamento do biogás proveniente de aterros sanitários através de uma usina de geração de energia elétrica, apresentando as características do seu funcionamento de maneira a se produzir a energia, bem como aponta mostra algumas barreiras encontradas na sua implantação.

Palavras chave: Usinas a biogás, energia elétrica, valorização de RSU, aterros sanitários.

ABSTRACT

Urbanization, coupled with population and industrial growth, creates the need for more energy sources, where electricity production is highlighted, leading to increase the emission of pollutants in the environment, since much of based on the use of fossil fuels, for example the petroleum and coal derivatives that release greenhouse gases into the atmosphere. For that reason, there is a great demand for new sources of energy, especially for those produced through naturally replenished resources: renewable energies.

Among the problems caused by urbanization, a concern faced in the world is the inadequate deposition of municipal solid waste (MSW), which in its decomposition through anaerobic microorganisms generate gases, which cause bad odors and harm the environment, and cause many social problems as well. To solve such problem, landfills have emerged over the years, a solution that uses the principles of engineering in an environmentally safe, adequate and efficient manner for the disposal of this urban waste.

In this scenario, as a by-product of landfills and mitigation for the exposure of landfill gas released into the atmosphere, a new modality of energy generation emerges: the generation of energy through landfill gas.

This study shows how the use of landfill gas can be employed at an electric power plant, presenting the characteristics of its operation in order to produce energy, as well as shows some barriers encountered in its implementation.

Keywords: Landfill gas power plants (LFG), electrical energy, municipal solid waste (MSW) valorization, landfills.

LISTA DE TABELAS

Figura 1 - Vantagens e desvantagens de cada alternativa de utilização do biogás.....	14
Figura 2 - Ilustração de lixão.....	18
Figura 3 - Imagem ilustrativa de um aterro sanitário	20
Figura 4 - Rede de drenagem de gás (vertical) e chorume (horizontal).....	21
Figura 5 - Pistão danificado devido a presença de siloxanos na combustão.....	24
Figura 6 - Usina CGR Guatapará.....	25
Figura 7 - Layout típico de uma usina a biogás com motogeradores a ciclo de Otto	26
Figura 8 - Modelo de adaptação dos drenos de biogás.....	27
Figura 9 - Imagem de uma rede de captação de biogás	28
Figura 10 - Imagem de um sistema de desumidificação	29
Figura 11 - Ilustração do funcionamento do trocador de calor.....	30
Figura 12 - Relação de poder calorífico e % de metano.....	31
Figura 13 – Imagem de filtros de carvão	32
Figura 14 - Imagem de uma unidade de condicionamento de gás	33
Figura 15 - Etapas de funcionamento de um motor a combustão	34
Figura 16 - Conjunto motogerador a biogás	34
Figura 17 - Imagem de um flare de queima	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Oferta interna de energia elétrica (OIEE)	12
Tabela 2 - Classificação dos RSU.....	16
Tabela 3 - Comparação da composição do biogás com outras misturas	22
Tabela 4 - Níveis de tratamentos necessários de acordo com a aplicação do biogás	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem
CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa
CGR – Centro de Gerenciamento de Resíduos
CH₄ - Metano
CO₂ – Dióxido de Carbono
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
FEMA – Fundação Estadual do Meio Ambiente
GN – Gás Natural
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LFG - Landfill Gas
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MME – Ministério de Minas e Energias
MSW - Municipal Solid Waste
N₂ – Nitrogênio
NBR – Norma Brasileira
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
Ph – Potencial Hidrogeniônico
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRODIST – Procedimentos de distribuição
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SIN – Sistema Elétrico Nacional
TWh – Terawatt por hora
UCG – Unidade de Condicionamento de Gás
UTE – Usina Termoelétrica

SUMÁRIO

RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Motivação e justificativa	13
1.2. Objetivo	15
1.3. Metodologia	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Resíduos sólidos	15
2.2. Lixão x aterros sanitários	17
2.2.1. Lixão	17
2.2.2. Aterro Sanitário	18
2.3. Construção dos aterros sanitários	19
2.4. O biogás	21
3. GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO BIOGÁS	23
3.1. Casos de sucesso	24
3.1.1. Usina Termoelétrica Bandeirantes	24
3.1.2. Usina CGR Guatapará	25
3.2. Etapas do processo de geração de energia	26
3.2.1. Adaptação dos drenos de coleta	27
3.2.2. Rede de captação de gás	28
3.2.3. Sistema de desumidificação	29
3.2.4. Sistema de filtragem	30
3.2.5. Sistema de condicionamento de gás (UCG)	32
3.2.6. Conjunto motogerador	33
3.2.7. Flare de queima	35
3.2.8. Cabine de entrada e sistema de medição	35
4. Análise das barreiras na implantação de uma usina	36
4.1.1. Barreiras tecnológicas	36
4.1.2. Barreiras econômicas	37
4.1.3. Barreiras políticas	37
4.1.4. Barreiras ambientais	38
CONCLUSÃO	39

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a destinação final de resíduos sólidos é um desafio para os grandes centros urbanos, pois a deposição de lixo de forma inadequada resulta em vários problemas sociais e ambientais como doenças, poluição de rios, acarreta em enchentes e muitos outros.

Os aterros sanitários surgiram como uma solução que utiliza técnicas de engenharia de forma eficiente, segura e econômica, como alternativa para os lixões.

Após a deposição dos resíduos orgânicos nos aterros sanitários, ocorre o processo de digestão anaeróbia devido à ação de bactérias. O resultado é o surgimento do biogás, um gás composto principalmente de metano (CH₄) que é inflamável e gás de efeito estufa. Aterros sanitários possuem condições muito propícias a produção do biogás, pois a ausência de ar, os níveis de temperatura, e alta umidade facilitam a proliferação de bactérias que atuam na biodigestão dos resíduos orgânicos.

Em 2017, o Brasil produziu cerca de 624,3 TWh de energia elétrica, sendo esse crescimento 0,7% maior que a oferta de 2016, que ficou em torno de 619,7 TWh. Essa energia foi proveniente de várias fontes e destaca-se que 80% da produção foi originada de recursos renováveis, sendo a energia hidráulica responsável por 59,4% de toda a energia renovável produzida (MME, 2018).

De acordo com os dados do MME (2018), a principal fonte de energia elétrica no Brasil é de origem hidrelétrica. Esse fato se deve tanto pela competitividade econômica, quanto pela abundância de recursos hídricos no país.

A Tabela 1 apresenta a oferta interna de energia elétrica de acordo com dados do MME (2018).

Tabela 1- Oferta interna de energia elétrica (OIEE)
Fonte: MME, 2018

ESPECIFICAÇÃO	GWh		17/16 %	Estrutura (%)	
	2016	2017		2016	2017
HIDRÁULICA	380.911	370.906	-2,6	61,5	59,4
BAGAÇO DE CANA	35.236	35.655	1,2	5,7	5,7
EÓLICA	33.489	42.373	26,5	5,4	6,8
SOLAR	85	832	875,6	0,01	0,13
OUTRAS RENOVÁVEIS (a)	15.805	15.617	-1,2	2,6	2,5
ÓLEO	12.103	12.733	5,2	2,0	2,0
GÁS NATURAL	56.485	65.593	16,1	9,1	10,5
CARVÃO	17.001	16.257	-4,4	2,7	2,6
NUCLEAR	15.864	15.739	-0,8	2,6	2,5
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS (b)	11.920	12.257	2,8	1,9	2,0
IMPORTAÇÃO	40.795	36.355	-10,9	6,6	5,8
TOTAL (c)	619.693	624.317	0,7	100,0	100,0
<i>Dos quais renováveis</i>	506.320	501.739	-0,9	81,7	80,4

(a) Lixívia, biogás, casca de arroz, capim elefante, resíduos de madeira e gás de c. vegeta; (b) Gás de alto forno, de aciaria, de coqueria, de refinaria e de enxofre; e alcatrão; (c) Inclui autoprodutor cativo (que não usa a rede básica).

A energia elétrica produzida a partir de hidrelétricas é considerada uma energia limpa, isto é, em seu processo de produção, não há emissão significativa de gases poluentes, além de que servem como base para a estabilidade elétrica do sistema interligado nacional (SIN), pois a sua capacidade de produção de energia é relativamente constante, ou seja, não é suscetível a variações em curtos períodos como é o caso de usinas fotovoltaicas, onde a incidência de raios solares pode ser interrompida pela passagem de uma nuvem e este efeito influencia instantaneamente na quantidade de energia produzida. Apesar disso, o custo de construção de grandes usinas hidrelétricas é alto, traz grandes impactos ambientais, sociais, e em certos períodos do ano (estiagem), ocorre pouca chuva nas cabeceiras dos rios, o que causa a diminuição da oferta de energia elétrica.

Para compensar a baixa geração de energia elétrica em períodos de estiagem, o país utiliza a energia termoelétrica como forma estratégica para completar a demanda de consumo.

A energia termoelétrica é gerada através da queima de combustíveis fósseis como o gás natural, diesel, carvão, gasolina entre outros que causam grande emissão de poluentes na atmosfera, responsáveis pelo aumento do efeito estufa e aquecimento global. Devido ao elevado preço dos combustíveis fósseis, a operação dessas usinas tem um custo maior comparado a outros tipos de usinas, causando o aumento do valor final da energia elétrica. Devido a isso, seu acionamento ocorre apenas em caso de comprovada necessidade.

O aproveitamento do biogás proveniente de aterros sanitários para a geração de energia elétrica, diminui a dependência dessas fontes mais caras, poluentes e prejudiciais ao meio ambiente e ainda, a produção de energia elétrica proveniente deste tipo de usina é máxima e constante na maior parte do tempo, isto é, não há oscilações instantâneas no nível de energia gerada, fenômeno que ocorre em várias outras fontes descentralizadas de energia mais instáveis como por exemplo a solar e eólica onde a produção é dependente de condições climáticas que oscilam em períodos curtos.

Segundo Ayres (2010) a implantação de usinas no sistema distribuído reduz perdas elétricas visto que a sua localização está mais próxima aos grandes centros de carga.

A geração de energia através de biogás de aterro sanitário se mostra uma excelente alternativa tanto sob o ponto de vista ambiental, quanto operacional, pois funciona como um grande complemento às usinas de base (hidrelétricas), atuando de forma a aumentar a disponibilidade de energia do SIN.

1.1. Motivação e justificativa

O gás metano produzido através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente nos resíduos domiciliares depositados diariamente em aterros sanitários sempre foi visto como uma oportunidade de melhoria dos processos de gerenciamento de resíduos.

Dentre as principais alternativas de utilização energética do biogás de aterro sanitário destacam-se a queima em *flare*, venda direta de gás a indústrias, produção de energia elétrica e transformação em gás natural, onde cada uma possui suas vantagens e desvantagens.

A queima em unidades centralizadas, realizada em grande parte dos mais modernos aterros sanitários do país, é vista como um modelo ultrapassado já que diminui os efeitos danosos do biogás na atmosfera, porém não aproveita o seu potencial energético. Sob o ponto de vista econômico, a queima do gás em *flare* pode ser utilizada na obtenção de créditos de carbono, demanda baixos investimentos, porém atualmente o mercado de crédito de carbono é pouco viável.

A venda direta de gás a indústrias é uma utilização de baixo investimento, porém é preciso que os clientes estejam próximos aos aterros e que a tubulação seja dedicada.

Com relação à transformação do biogás em gás natural (biometano) tanto veicular quanto industrial exige um alto investimento e possui vários riscos entre eles a variação do valor de mercado e da tecnologia.

A produção de energia elétrica a partir do biogás exige um valor de investimento médio quando conectado à rede da concessionária local, a tecnologia é conhecida e o valor da energia para a venda custa em torno de duzentos reais por megawatt, segundo Valor (2017). Portanto a utilização do biogás como fonte de energia elétrica se mostra uma boa opção de aproveitamento, com menor grau de risco e maior possibilidade de oportunidades, conforme ilustra a Figura 1, que apresenta as opções de valorização do biogás produzido em aterros sanitários com suas vantagens e desvantagens.

CAPTAÇÃO DE GÁS DO ATERRO SANITÁRIO ➔	TIPO DE UTILIZAÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
	QUEIMA EM FLARE	CRÉDITO DE CARBONO BAIXOS INVESTIMENTOS	MERCADO DE CRÉDITO DE CARBONO EM BAIXA
	VENDA DIRETA	BAIXOS INVESTIMENTOS	NECESSIDADE DE CLIENTE PRÓXIMO AO ATERRO
	TRANSFORMAÇÃO EM BIOMETANO	POSSIBILIDADE DE INJEÇÃO DE GÁS NA REDE	ALTOS INVESTIMENTOS RISCO DE MERCADO
	PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	TECNOLOGIA CONHECIDA VENDA DE ENERGIA A R\$ 200/MW	MÉDIOS INVESTIMENTOS

Figura 1 - Vantagens e desvantagens de cada alternativa de utilização do biogás
Fonte: Elaboração do autor, 2018

Além de todas as vantagens, segundo os dados do EPE (2018), nos últimos anos, a partir de 2014, apesar da crise econômica que se instaurou no país, a demanda de energia elétrica se manteve estabilizada nos mesmos patamares, e prevê um crescimento de aproximadamente 65GW para 75GW até o ano de 2022 EPE (2018). Portanto serão necessários novos investimentos em geração de energia elétrica dentro de alguns anos e a geração através do biogás poderá contribuir com essa demanda. Neste contexto, justifica-se a utilização do biogás através de aterro sanitário na produção de energia elétrica.

1.2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar uma visão geral sobre os aspectos técnicos e ambientais da construção e do funcionamento de uma usina de geração de energia elétrica através de biogás de aterro sanitário, visando à valorização e redução dos impactos causados pela emissão de metano na atmosfera e apresenta também algumas barreiras na implantação deste tipo de usina.

1.3. Metodologia

A metodologia deste trabalho baseia-se em pesquisas bibliográficas sobre o assunto que envolve o processo de implantação de uma usina a biogás em aterros sanitários.

Nos primeiros capítulos é feito uma abordagem conceitual sobre os resíduos sólidos urbanos e biogás, logo após o trabalho mostra como é a construção de um modelo técnico de aterro sanitário e suas principais características, em seguida apresenta os conceitos sistêmicos do funcionamento de um sistema de geração de energia através de biogás. Finalmente, o trabalho apresenta uma visão geral sobre as barreiras enfrentadas na implantação deste tipo de produção de energia renovável.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Resíduos sólidos

Para melhor compreensão do assunto, é necessário se fazer a conceituação de resíduos sólidos, também conhecidos de forma vulgar como lixo.

O lixo, ou resíduo sólido pode ser definido como os restos das atividades humanas, consideradas pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis" (IPT/CEMPRE, 2000).

"Tudo o que não presta e que se joga fora", assim o dicionário da língua portuguesa começa a explicação da palavra lixo. E continua: "Coisas inúteis, velhas, sem valor (FERREIRA ABH, 1997).

Conforme NBR-10004/87 e citado na Resolução CONAMA Nº. 5, de 05 de agosto de 1993, resíduo sólido é definido como:

“Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de comunidade de origem: Industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamentos de água, aqueles gerados em equipamentos, instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.”

A NBR 10.004 da ABNT classifica os resíduos sólidos urbanos RSU conforme apresentado na Tabela 2:

Tabela 2 - Classificação dos RSU
Fonte: ABNT - NBR 10004, 2004

Classe de Risco	Característica
Classe I (Perigosos)	Apresentam risco à saúde pública e ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenecidade.
Classe IIA (Não-inertes)	Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, porém, não se enquadram como resíduo classe I ou IIB.
Classe IIB (Inertes)	Não tem nenhum constituinte solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade de água.

Os materiais mais comuns encontrados nos RSU são fraldas descartáveis infantis e geriátricas, papéis, restos de alimentos, plásticos, papelão, couro, borrachas, embalagens, isopor, absorventes, metais, entulhos, vidros, resíduos de jardins, madeira, tecidos, pilhas, baterias, eletroeletrônicos, lâmpadas, materiais volumosos e outros (FEMA, 2012).

Os aterros sanitários são classificados pelo tipo de RSU depositado, e para que haja produção de biogás, o aterro deve ser do tipo classe IIA, isto é, composto por

materiais não-inertes, por ter propriedades como biodegradabilidade, pois somente através deste processo é que o biogás é produzido.

2.2. Lixão x aterros sanitários

Em geral, existem vários destinos para os resíduos descartados, entre eles os lixões e os aterros sanitários. Embora existam algumas semelhanças, cada local possui sua particularidade, e quando mal destinados, os RSU oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente.

No Brasil, grande parte do lixo é destinada de forma incorreta e somente 27% dos resíduos produzidos são depositados em aterros sanitários (IBGE, 2008).

Sancionada no ano de 2010, a PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos), um marco regulatório que reúne vários princípios, objetivos e diretrizes junto à sociedade, sobretudo que os municípios devem seguir, tem como principal objetivo a regulamentação da destinação final dos resíduos sólidos de modo a propiciar um tratamento ambientalmente adequado, além de estimular a redução, reutilização e reciclagem desses resíduos. Um dos pontos mais importantes da PNRS era exigência da extinção de todos os lixões do país a partir de agosto de 2014 e a substituição por aterros sanitários, porém em 2015, a determinação foi postergada (TURIONI, 2014).

O prazo para a adequação foi escalonado de 2018 a 2021, variando de acordo com o tamanho do município devido ao fato de que até aquela data, a maioria dos municípios não conseguiram se adaptar por problemas financeiros e por falta de quadros técnicos qualificados (TURIONI, 2014).

2.2.1. Lixão

Lixão é o local onde a destinação final dos resíduos é feita de maneira aleatória e sem nenhum tratamento adequado aos resíduos. É o local onde os RSU são depositados, geralmente a céu aberto, sem nenhuma medida de proteção ambiental ou à saúde pública. Nesses locais não existe qualquer planejamento controle ou monitoramento do tipo de resíduo depositado, portanto todo tipo de material, seja ele resíduo hospitalar, domiciliar ou industrial é misturado. Há uma grande concentração de aves, moscas e outros animais em contato com os resíduos, causando a proliferação de bactérias doenças e parasitas prejudiciais à saúde (GARCILASSO et al., 2018).

No lixão, o chorume proveniente da mistura de água e processos biológicos penetra no solo fazendo com que os lençóis freáticos sejam contaminados (GARCILASSO et al., 2018).

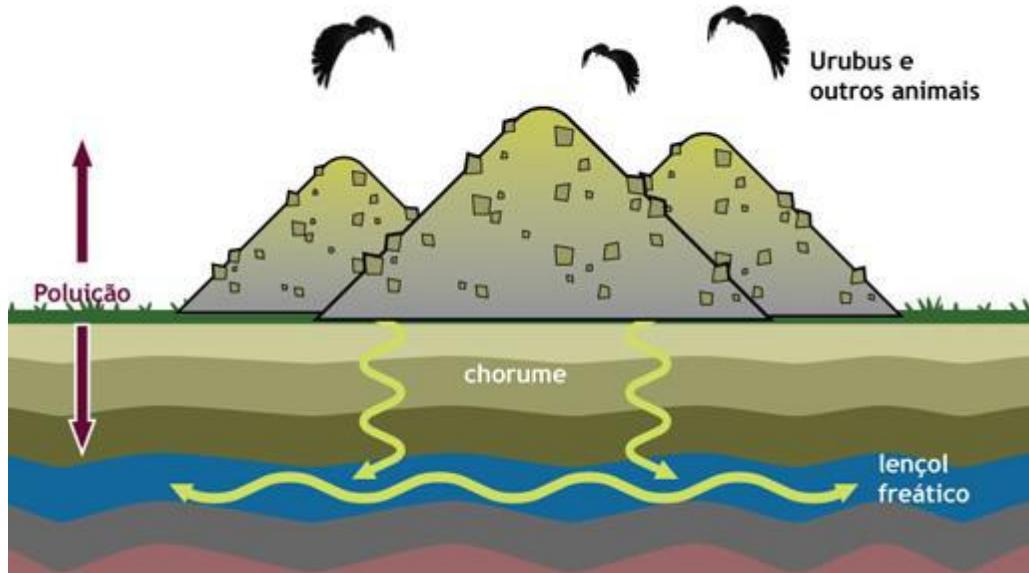


Figura 2 - Ilustração de lixão
Fonte: Lixo, 2010

2.2.2. Aterro Sanitário

Aterro sanitário é um local adequado à destinação final de RSU produzidos pela atividade humana. É classificado pelo tipo de resíduo recebido e tem como objetivo conter a menor quantidade possível de resíduos em um local impermeabilizado através de mantas em Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e argila.

Segundo a NBR 8.419/1992, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define os aterros sanitários como sendo:

“Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para conter os resíduos sólidos ao menor volume permitível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada

jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário". (1992, p. 62).

De acordo com IPT (1995):

"Método que utiliza princípios de engenharia para confinar resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão da jornada de trabalho ou a intervalos menores, se necessário".

2.3. Construção dos aterros sanitários

O aterro sanitário é concebido inicialmente em um terreno terraplanado, abaixo do nível do solo, nivelado e impermeabilizado através de uma camada de argila compactada, para aumentar a estanqueidade do conjunto e evitar a contaminação do solo (GARCILASSO et al., 2018).

Essa primeira camada de argila possui cerca de um metro de espessura e a partir dela, é instalada uma manta em material PEAD, com aproximadamente 2mm de espessura. Essa manta é uma espécie de polímero muito resistente que impede a contaminação do solo pelo lixiviado (chorume) formado devido à mistura lixo e água. Após a instalação dessa manta, é depositado uma segunda camada de argila e novamente o conjunto é compactado de forma a garantir a impermeabilização.

Finalmente, sobre essa última camada de argila, é instalada uma rede de drenagem de lixiviado, com o objetivo de drenar o percolado (chorume) e o biogás, gerado pela biodegradação dos resíduos depositados no aterro e direcioná-los para tanques de acumulação evitando que este material entre em contato com o solo e lençol freático. A rede de drenagem consiste na interligação de tubos horizontais, perfurados, compostos de material PEAD, em formato de espinha de peixe. Essa tubulação é coberta por uma camada de brita e por uma manta geotêxtil, a fim de evitar o entupimento dos furos de drenagem.

Após estas etapas, o aterro está apto a receber RSU em forma de camadas. São várias camadas, sendo que cada uma possui aproximadamente 5 metros de altura: quatro metros de lixo e um metro de terra.

A Figura 3 apresenta a imagem em corte de um aterro sanitário.



Figura 3 - Imagem ilustrativa de um aterro sanitário
Fonte: Caruso, 2017

Em um raio de aproximadamente vinte metros de distância, são instalados vários tubos perfurados em material PEAD dispostos na vertical, envolvidos por brita e tela metálica. Esses pontos de saída são chamados de “drenos de saída de gás” e são interligados na base do aterro sanitário com a rede de drenagem de chorume. Eles têm o objetivo de drenar o biogás produzido no interior do aterro direcionando-os para o lado externo, de forma a possibilitar a queima posterior deste biogás.

A Figura 4 mostra uma rede de drenagem de chorume e os poços de drenagem de biogás na vertical em local já preparado para início do recebimento de resíduos.



Figura 4 - Rede de drenagem de gás (vertical) e chorume (horizontal)
Fonte: Arquivo pessoal, 2018

2.4. O biogás

O biogás é uma mistura gasosa composta por diversos gases, formado devido à decomposição anaeróbia da matéria orgânica (OLIVEIRA, 2005). Este gás pode ser proveniente de vários tipos de resíduos tanto líquidos quanto sólidos, de origem industrial, rural ou urbana (CENBIO, 2001).

O biogás é prejudicial ao meio ambiente pois sua mistura é rica em metano, um gás de efeito estufa, que favorece o aquecimento global. O metano é cerca de 21 vezes mais prejudicial ao meio ambiente em relação ao gás carbônico e se inalado pode causar parada cardíaca, asfixia, câncer, danos no sistema nervoso central, e outras doenças que atacam o fígado, rins e pulmões. Além disso, o gás é altamente inflamável, quando misturado ao ar pode provocar explosões e incêndios em locais próximos aos aterros. Outro ponto negativo são os maus odores que gera desconforto aos moradores que residem em localidades próximas. O gás metano não tem cheiro, cor ou sabor, porém o gás sulfídrico tem cheiro semelhante ao de ovo podre e isso confere a mistura gasosa (biogás) um odor característico. Após o gás ser utilizado na queima, esse odor desaparece (BARRERA, 2003).

A concentração de metano presente no biogás influencia diretamente no potencial energético da mistura, pois quanto maior o teor de metano, mais rico é o biogás (CENBIO, 2001).

A composição do biogás depende de vários fatores entre eles o tipo do material orgânico presente na decomposição. O padrão típico, entretanto, é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono e oxigênio (WEREKO-BROBBY; HAGEN 2000).

O biogás proveniente de aterros sanitários possui uma concentração média de 50% de metano e apresenta menor poder calorífico se comparado ao GN, esse apresenta de 85% a 95% de metano na sua composição. (CENBIO, 2001).

A Tabela 3 mostra a composição do biogás comparado com o Gás Natural e Gás de Síntese segundo Garcilasso et al. (2018).

Tabela 3 - Comparação da composição do biogás com outras misturas
Fonte: Garcilasso et al., 2018.

Compostos	Unidade	Concentração (%)		
		Biogás	Gás Natural	SynGas
Metano (CH ₄)	Vol. %	55-70	91	0-15
Etano (C ₂ H ₆)	Vol. %	0	5,1	0
Propano (C ₃ H ₈)	Vol. %	0	1,8	0
Butano (C ₄ H ₁₀)	Vol. %	0	0,9	0
Pentano (C ₅ H ₁₂)	Vol. %	0	0,3	0
Gás Carbônico (CO ₂)	Vol. %	25-40	0,61	25-35
Hidrogênio (H ₂)	Vol. %	0	0	20-40
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	Vol. %	0,5-1	< 0,001	0
Nitrogênio (N ₂)	Vol. %	< 0,001	0,32	2-5
Amonia (NH ₃)	Vol. %	< 0,01	< 0,001	< 0,001
Monóxido de Carbono (CO)	Vol. %	< 0,01	0	35-40

A produção do biogás é influenciada por vários fatores, entre eles, a impermeabilidade ao ar, natureza do substrato, composição dos resíduos, teor de água, temperatura, pH (PECORA, 2006).

Estima-se que um aterro sanitário produza gás metano por até 20 anos após o encerramento das atividades (MMA, 2015).

3. GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO BIOGÁS

Existem diversas formas de aproveitamento energético do biogás como a utilização térmica, produção de eletricidade, utilização em veículos, e até mesmo injeção na rede de distribuição de gás natural, porém antes de ser utilizado, é necessário que sejam retiradas as impurezas, e o nível de pureza depende do tipo de aproveitamento que será realizado (PROBIOGÁS, 2015).

A Tabela 4 apresenta os níveis de tratamento necessários para a purificação do biogás de acordo com a sua utilização.

Tabela 4 - Níveis de tratamentos necessários de acordo com a aplicação do biogás
Fonte: Garcilasso et al., 2018.

Uso final do biogás	Nível de tratamento		
	Remoção de umidade	Remoção de H ₂ S	Remoção de CO ₂
Combustão direta (queimadores abertos e fechados)	Tratamento parcial	Tratamento parcial (H ₂ S < 5 ppmv no caso de queimadores fechados*)	Nenhum tratamento
Uso direto para geração de calor (ex. combustível para caldeiras e aquecedores)	Tratamento parcial a completo	Tratamento parcial a completo**	Nenhum tratamento
Cogeração de eletricidade e calor a partir de motores de combustão interna	Tratamento parcial a completo	Tratamento parcial a completo**	Nenhum tratamento
Cogeração de eletricidade e calor a partir de turbinas e microturbinas	Tratamento parcial a completo	Turbina (H ₂ S < 10000 ppmv)** / Microturbina (H ₂ S < 50 ppmv)**	Nenhum tratamento
Injeção na rede de gás natural	Tratamento completo (umidade < 70-80%)	Tratamento completo (H ₂ S < 5 mg/m ³)	Tratamento completo (CH ₄ ≥ 95%)
Motores a gás (uso veicular)	Tratamento completo (umidade < 70-80%)	Tratamento completo (H ₂ S < 1000-2000 mg/m ³)	Tratamento completo (CH ₄ ≥ 95%)

* Requisitos da Norma Holandesa de Emissões (NER 3.5/90.1). Nos queimadores abertos não há como determinar temperatura e tempo de residência.

** Variável de acordo com a demanda dos fabricantes das tecnologias de conversão energética.

Ainda segundo Garcilasso et al. (2018), além da remoção do H₂S, e umidade, para que o gás produzido em aterros seja utilizado na geração de energia, é preciso que seja feita a remoção de siloxanos, que são compostos oriundos de cosméticos e detergentes provenientes dos RSU depositados nos aterros sanitários.

Os siloxanos são compostos de sílica adicionados a xampus, tintas, pasta de dente entre outros, que muitas vezes têm os aterros sanitários como destino final. A

palavra siloxano é composta pelos prefixos de: sílica, oxigênio e metano (EVOET, 2018).

A Figura 5 mostra os danos causados nos pistões de motogeradores pela presença de siloxanos no biogás.



Figura 5 - Pistão danificado devido a presença de siloxanos na combustão
Fonte: EVOET, 2018.

Todos os processos consistem em transformar a energia química do biogás em energia mecânica e, em seguida em energia elétrica.

3.1. Casos de sucesso

No Brasil, empreendimentos deste tipo foram implantados, podendo-se citar a usina termoelétrica Bandeirantes e uma usina na cidade de Guatapará.

3.1.1. Usina Termoelétrica Bandeirantes

O primeiro projeto de geração de energia elétrica a partir do biogás no Brasil foi implantado em 2004 no Aterro Sanitário Municipal Bandeirantes, um dos maiores da América Latina. Localizado no km 26 da Rodovia dos Bandeirantes, em Perus – SP, o aterro Bandeirantes foi desativado em março de 2007 e recebeu mais de 30 milhões de toneladas de resíduos da região metropolitana de São Paulo em seus 25 anos de operação (BIOGÁS, 2018).

Esse empreendimento é considerado o maior projeto mundial de geração de energia elétrica exclusivamente a biogás, sendo composto por 24 grupos geradores

(motores ciclo Otto importados acoplados a geradores) que possuem capacidade de geração de 22 MW (925 kW cada um) (BIOGÁS, 2018).

Além de gerar energia suficiente para abastecer uma cidade de 25 mil habitantes, o projeto estima a redução da emissão equivalente a 8 milhões de toneladas de gás carbônico no período de 15 anos, contribuindo assim para a mitigação do aquecimento global (BIOGÁS, 2018).

3.1.2. Usina CGR Guatapará

A Usina iniciou suas operações em agosto de 2014 e possui uma capacidade instalada de 5,7 MW, energia suficiente para abastecer um município de 72.000 habitantes. A energia gerada na UTE abastece a subestação de Pradópolis (SP), a 15 quilômetros de Guatapará, e de lá é distribuída para o restante do Brasil (TURIONI, 2014).



Figura 6 - Usina CGR Guatapará
Fonte: Turioni, 2014

O aterro CGR Guatapará possui capacidade de recebimento de 3.000 toneladas de resíduos por dia oriundos da região de Ribeirão Preto, e tem vida útil estimada em 20 anos (TURIONI, 2014).

3.2. Etapas do processo de geração de energia

O sistema de geração de energia elétrica através de biogás de aterro sanitário permite a valorização energética do biogás produzido pela decomposição da fração orgânica dos RSU depositados no aterro.

Cada etapa possui uma função técnica desde o momento da coleta até a queima estequiométrica nos conjuntos motogeradores, porém, há duas fases em particular que servem para purificar o biogás coletado do aterro sanitário: desumidificação e filtragem.

As etapas que fazem parte do processo de produção da energia elétrica são:

- Adaptação dos drenos de coleta
- Rede de captação de gás
- Sistema de desumidificação
- Sistema de filtragem
- Sistema de condicionamento de gás
- Motogerador
- *Flare* de queima
- Cabine de entrada e sistema de medição

A Figura 7 mostra o layout típico de uma usina a biogás com dois conjuntos motogeradores.

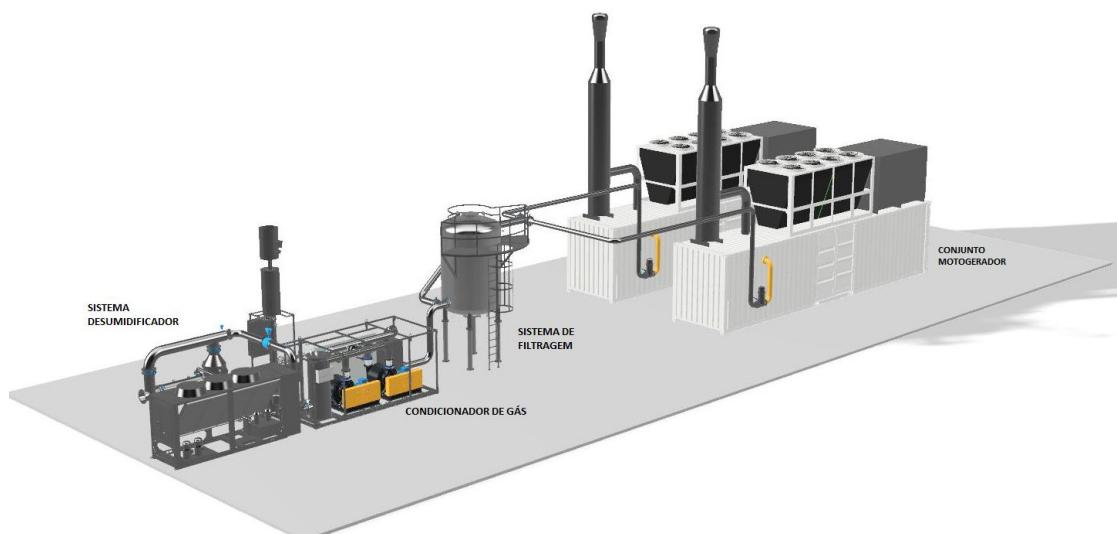


Figura 7 - Layout típico de uma usina a biogás com motogeradores a ciclo de Otto
Fonte: Elaboração do autor, 2018

3.2.1. Adaptação dos drenos de coleta

Quando o aterro sanitário não possui sistema de geração de energia ou qualquer outro sistema de reaproveitamento do biogás, é preciso realizar a queima deste através dos drenos de saída, de modo que este gás não contamine o ambiente (IBAM, 2008).

Para a implantação do sistema de geração de energia esses drenos de saída modelo padrão dos aterros sanitários se tornam inadequados porque permitem a entrada de oxigênio na rede através dos tubos perfurados, fazendo com que a parcela de metano por metro cúbico de biogás seja menor. Consequentemente, isso diminui a eficiência e prejudica o sistema de geração pois a queima se torna mais pobre em metano.

Para evitar este problema, os drenos de saída precisam ser adaptados e desta maneira, é feita uma escavação de alguns metros de profundidade ao redor dos drenos de saída existentes. Em seguida é instalada uma manta geotêxtil junto com uma manta em PEAD. Na altura da manta de PEAD, um tubo liso (sem furos) também deste material é soldado no tubo perfurado existente. Após este processo, a escavação é nivelada com terra, finalizando a adaptação dos drenos de forma a estarem aptos a receber a rede externa de captação de biogás.

A Figura 8 apresenta um modelo de adaptação dos drenos de captação do biogás.

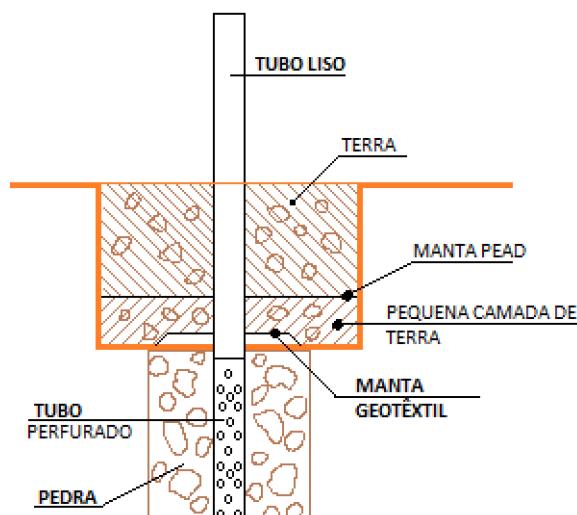


Figura 8 - Modelo de adaptação dos drenos de biogás
Fonte: Elaboração do autor, 2018

3.2.2. Rede de captação de gás

O processo de captação de biogás inicia-se nos drenos de extração dos aterros sanitários já adaptados. O biogás é extraído e encaminhado através de uma rede de tubulações em PEAD para a usina de geração de energia. Para isso utilizam-se tubos em PEAD na construção da linha, devido à sua grande resistência a corrosão e as ações do tempo, pois a rede é externa na maior parte da sua extensão conforme mostra a Figura 10.

A instalação externa da rede de captação facilita a manutenção da linha. O biogás contém grande quantidade de vapor de água que se condensa durante o trajeto até o sistema de geração, podendo causar o entupimento da tubulação devido às ondulações dos tubos criadas pela alta flexibilidade do material PEAD, a rede exposta facilita a manutenção em caso de entupimento da linha, ao passo que se tivesse enterrada, além de dificultar a manutenção, seria mais complexo identificar a localização do ponto obstruído. A rede de drenagem de percolado do próprio aterro sanitário serve de ponto base para a extração do biogás. A rede de captação é projetada em formato de espinha de peixe de forma a evitar perdas de carga nos processos seguintes, pois o formato em espinha de peixe facilita a passagem do gás evitando o contato brusco com a parede dos tubos.

A Figura 9 apresenta a imagem de uma rede de captação de biogás em um aterro sanitário.



Figura 9 - Imagem de uma rede de captação de biogás
Fonte: Arquivo pessoal, 2018

As etapas seguintes apresentam as adequações necessárias de modo a obter os níveis de qualidade do biogás para viabilizar a queima nos sistemas de geração.

3.2.3. Sistema de desumidificação

O biogás de aterro sanitário possui uma quantidade considerável de vapor de água, sendo este grau variável, conforme o local do aterro e período de precipitação e está associada ao ponto de orvalho. A definição do grau de umidade aceitável depende do tipo de utilização posterior do biogás para que seja realizada a secagem (GARCILASSO et al., 2018).

Vários autores reportam que a quantidade de vapor de água presente no biogás é em torno de 3% a 10% v/v.

O primeiro estágio de uma usina de geração de energia através de biogás de aterro tem a finalidade de diminuir a concentração de vapor de umidade presente neste biogás.

O equipamento utilizado é um trocador de calor, composto por um cilindro metálico com várias serpentinas internas por onde circula água gelada. Quando o biogás entra em contato com essas serpentinas, o vapor presente se condensa, fazendo com que o nível de umidade seja reduzido a valores muito baixos. A água gelada que circula nas serpentinas é produzida por um aparelho resfriador, uma espécie de central de água gelada conforme mostra a Figura 10.



Figura 10 - Imagem de um sistema de desumidificação
Fonte: - Arquivo pessoal, 2018

O objetivo de retirar a umidade do gás é para que o metano não danifique as câmaras de compressão do motogerador, que é composto de material ferroso e passível de oxidação.

Outro fator importante para a remoção da umidade é a influência no poder calorífico, que afeta a queima, a temperatura adiabática das chamas e os limites de inflamabilidade (GARCILASSO et al., 2018).

A Figura 11 ilustra o funcionamento de um trocador de calor utilizado neste tipo de processo.

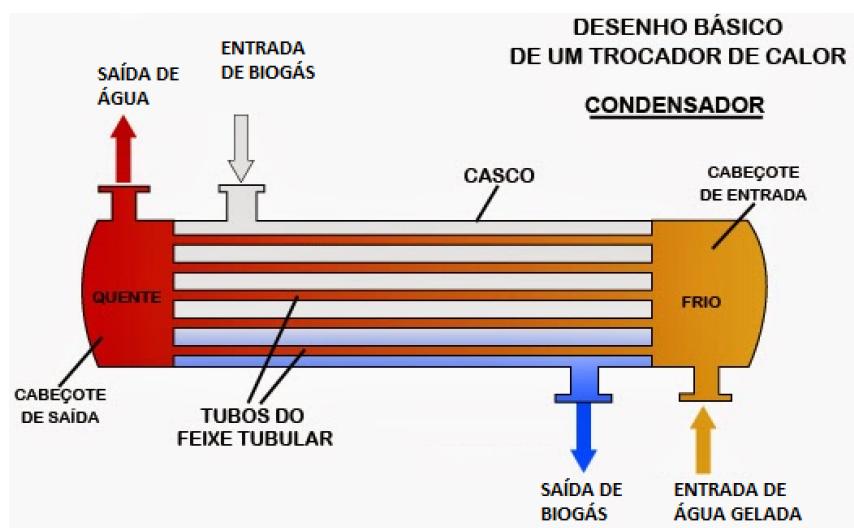


Figura 11 - Ilustração do funcionamento do trocador de calor
Fonte: Autor desconhecido (modificado)

3.2.4. Sistema de filtragem

Para aumentar o poder calorífico, rendimento térmico e eliminar a característica corrosiva devido à presença de gás sulfídrico, é preciso tratar e purificar o biogás produzido (OLIVEIRA, 2005). A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como água, dióxido de carbono, H₂S e siloxanos prejudica o processo de queima tornando-o menos eficiente uma vez que esses componentes presentes na combustão absorvem parte da energia produzida. Na medida em que se eleva a concentração de impurezas, o poder calorífico do biogás torna-se menor (CRAVEIRO, 1982).

A filtragem do biogás é feita a partir de cilindros preenchidos com carvão ativado, que realiza a purificação do biogás. O carvão ativado serve para absorver além da umidade remanescente do processo anterior, o gás sulfídrico, os siloxanos

que danificam os pistões dos motores, e outras impurezas que ficam depositadas no interior dos poros do carvão ativado. O biogás extraído do aterro, é submetido a um filtro, que devido à sua elevada capacidade de adsorção proporciona a limpeza do gás. O carvão de madeira e um ligante à base de açúcar são utilizados para a sua produção num processo de ativação pelo vapor de água a alta temperatura (EVOET, 2018).

O carvão ativado apresenta uma elevada performance de adsorção físico-química, por exemplo para sulfureto de hidrogênio, presente no biogás.

As substâncias contaminantes difundem-se na estrutura do carvão ativado quando do fluxo de gás através deste. Num primeiro passo as substâncias são fisicamente adsorvidas nos microporos e subsequentemente convertidas quimicamente nos núcleos catalíticos (EVOET, 2018).

A Figura 12 mostra a relação entre o poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume de metano presente (ALVES, 2000).

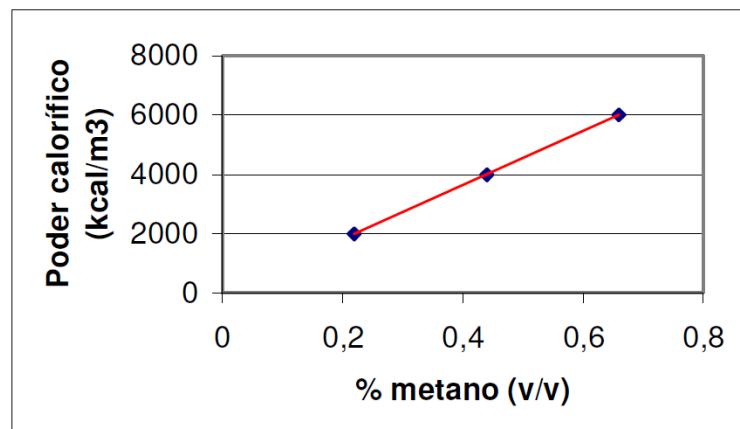


Figura 12 - Relação de poder calorífico e % de metano

Fonte: Alves, 2000

A Figura 13 mostra a imagem de dois filtros de carvão ativado.



Figura 13 – Imagem de filtros de carvão
Fonte: Arquivo pessoal, 2018

3.2.5. Sistema de condicionamento de gás (UCG)

O sistema de condicionamento de gás é um equipamento composto, de forma simplificada, por motores, bombas, painel de controle, inversores e sistema analisador de gás. Esse equipamento é responsável pelo bombeamento do biogás do aterro sanitário até os motores e pela pressurização da linha de alimentação dos motogeradores.

O painel analisador de gás do sistema, em conjunto com os inversores, faz a análise em tempo real de forma a alimentar os conjuntos motogeradores com a quantidade de biogás e pressão adequada, para manter constante a velocidade de rotação e, evitar a variação de frequência elétrica na saída do sistema de geração.

A figura 14 apresenta a imagem de uma UCG.



Figura 14 - Imagem de uma unidade de condicionamento de gás
Fonte: Arquivo pessoal, 2018

3.2.6. Conjunto motogerador

Existem vários tipos de máquinas que servem para transformar a energia do biogás de aterro em energia mecânica de forma a movimentar os geradores e assim se produzir energia elétrica. Entre eles, os mais utilizados são os motores a combustão e microturbinas. Motogerador é o conjunto composto por motor mais o gerador de energia (JENBACHER, 2018).

Os motores a combustão são mais utilizados na queima do biogás, pois têm maior rendimento elétrico e menor custo de aquisição se comparado a outras tecnologias (GARCILASSO et al., 2018).

Moreira et al. (2017) define ciclo de Otto como sendo:

“O ciclo de Otto é concebido como um ciclo de potência ideal que se aproxima do motor de combustão interna de quatro tempos de ignição por centelha (vela) movido a gasolina, etanol, gás natural e gás liquefeito de petróleo”.

De acordo com PECORA (2006), o funcionamento do motor a combustão se baseia nos seguintes passos:

Admissão: abertura da válvula de admissão através da qual é injetada ao cilindro a mistura ar-combustível. O pistão é empurrado para baixo com o movimento do virabrequim;

Compressão: fechamento da válvula de admissão e compressão da mistura. Conforme o pistão sobe a vela gera uma faísca;

Combustão: onde ocorre a explosão da mistura e expansão dos gases quentes formados na explosão. Essa expansão promove uma determinada força, permitindo que o pistão desça;

Exaustão: abertura da válvula de escape através da qual os gases são expulsos pelo pistão.

A Figura 15 apresenta as etapas de funcionamento de um motor a combustão.

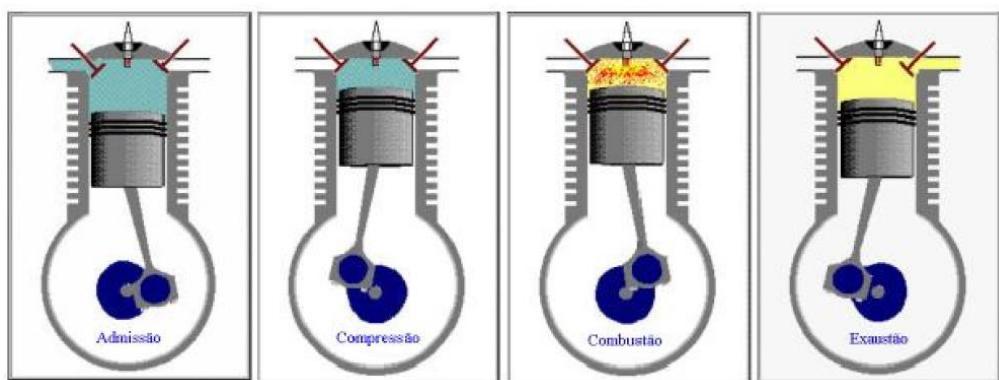


Figura 15 - Etapas de funcionamento de um motor a combustão
Fonte: Pecora, 2006

A Figura 16 mostra a imagem de um motogerador a biogás.

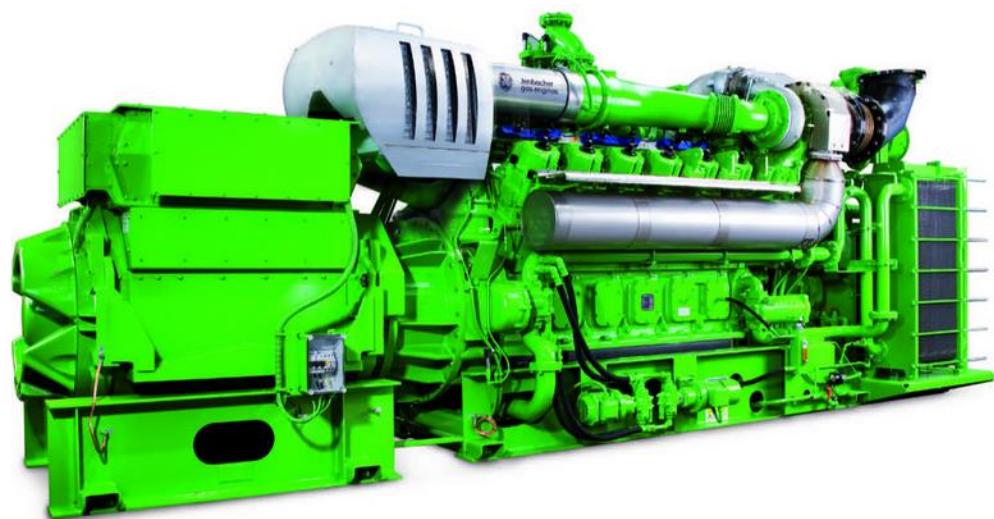


Figura 16 - Conjunto motogerador a biogás

Fonte: Jenbacher, 2018

3.2.7. Flare de queima

O *flare* é um equipamento que faz parte do sistema de geração de energia através de biogás, que têm a função de queimar o biogás do aterro sanitário quando os motogeradores não estiverem em funcionamento. Esta etapa é importante, pois como o aterro sanitário produz o biogás de forma contínua, a quantidade excedente deve ser queimada de forma a evitar maus odores e a propagação do gás na atmosfera.

Este equipamento possui sensores que, quando detectam o desligamento dos motogeradores, automaticamente acionam o sistema de chamas onde o biogás excedente é queimado.

A Figura 17 apresenta a imagem de um *flare* de queima.



Figura 17 - Imagem de um *flare* de queima
Fonte: Arquivo pessoa, 2015

3.2.8. Cabine de entrada e sistema de medição

A cabine de entrada da usina é responsável pela proteção e medição da energia produzida, evitando que faltas elétricas danifiquem os equipamentos, perdas materiais e físicas.

O sistema de medição de faturamento é um equipamento composto por um medidor de energia bidirecional, responsável pela contabilização da energia produzida.

A partir deste ponto, a energia produzida está apta a ser despachada na rede da concessionária acessada.

4. Análise das barreiras na implantação de uma usina

Atualmente, apesar de todos os benefícios adquiridos com o desenvolvimento de projetos de usinas a biogás, são várias as dificuldades enfrentadas no segmento que impedem o seu crescimento e consolidação no país.

Novos empreendimentos vêm sendo desenvolvidos principalmente em aterros da região nordeste e sudeste do Brasil, onde a produção de lixo acontece de forma mais acentuada, porém a implantação ainda exige altos investimentos com equipamentos importados.

4.1.1. Barreiras tecnológicas

As barreiras tecnológicas encontradas na implantação de projetos de geração de energia através de biogás de aterro sanitário se concentram na maioria das vezes na falta de mão de obra especializada neste segmento, e na indisponibilidade de equipamentos nacionais para esta finalidade, a maioria destes equipamentos vêm da Europa, onde a utilização deste tipo de tecnologia é mais expressiva e isso aumenta consideravelmente o prazo de entrega tanto dos novos empreendimentos, quanto o tempo de chegada de peças sobressalentes. O resultado é uma maior complexidade na programação das manutenções bem como exige um planejamento mais ajustado dos novos empreendimentos.

Outro problema enfrentado na implantação das usinas é a falta de padronização de atendimento das concessionárias de energia onde os empreendimentos são conectados. Muitas concessionárias de energia possuem pouca estrutura e profissionais qualificados para analisar os pedidos de conexão, fazendo com que o processo de autorização se estenda por mais tempo que o especificado nas normas da ANEEL.

4.1.2. Barreiras econômicas

É um fato que as barreiras tecnológicas também influenciam nos custos de implantação de uma usina, consequentemente contribuem para o surgimento de barreiras econômicas, pois como apresentado no item anterior, o fato dos equipamentos serem importados, afetam as aquisições devido as variações cambiais da moeda em que os equipamentos foram adquiridos, inclusive chegam a inviabilizar novos projetos.

Outro fator a se levar em consideração são os custos de manutenção de equipamentos e contratação de mão de obra qualificada, pois assim como os equipamentos, as peças também são importadas, encarecendo os valores de manutenção da usina, além disso, muitas vezes a espera pela chegada de peças submetem os equipamentos a paradas acima do previsto e isso compromete a capacidade de recebimento e cumprimento dos contratos de energia.

A dificuldade de acesso aos financiamentos de novos empreendimentos e as altas taxas de juros oferecidas no mercado também desencorajam as empresas interessadas na valorização do biogás.

4.1.3. Barreiras políticas

Apesar de existirem iniciativas públicas para o incentivo do uso da tecnologia de reaproveitamento do biogás, o crescimento do segmento ainda ocorre de forma lenta, ao contrário do que acontece em outros países mais desenvolvidos, onde o processo é visto como uma estratégia para a redução de gases de efeito estufa (GARCIASSO et al., 2017).

Segundo Garcilasso et al. (2018), as barreiras políticas enfrentadas na implantação de uma usina a biogás estão baseadas na falta de incentivos para integrar a valorização do biogás sob a ótica do aproveitamento energético com legislações que incentivam a correta destinação dos RSU, dentre elas destacam-se o valor da energia produzida através de biogás, que muitas vezes não está alinhado com o valor ambiental provido pela tecnologia.

4.1.4. Barreiras ambientais

A geração de energia elétrica a partir do biogás se mostra muito vantajosa tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente, além de gerar empregos tanto no período de construção quanto no momento da operação e manutenção dos empreendimentos.

Também o fato de a energia ser descentralizada contribui para a diminuição das perdas por efeito Joule nas linhas de transmissão, aumentando a eficiência de todo o sistema elétrico interligado. As reduções dos índices de gases, principalmente do metano na atmosfera contribuem para a preservação do meio ambiente. Apesar disto, muitos órgãos ambientais, principalmente em secretarias de pequenas cidades e locais onde o processo é realizado de forma online, ainda há falta de entendimento e o empreendimento por vezes é classificado de forma equivocada, devido ao fato de não compreenderem que apesar dos motogeradores emitirem CO₂ através das saídas dos escapes, o problema seria muito maior se o metano fosse liberado diretamente na atmosfera. Essa falta de entendimento muitas vezes atrasa os licenciamentos ambientais, aumentando ainda mais o tempo de implantação dos empreendimentos.

CONCLUSÃO

Os projetos de geração de energia a partir do biogás de aterros sanitários apresentam uma solução tanto sob o ponto de vista ambiental, social quanto financeiro, ele gera empregos, contribui para a preservação do meio ambiente, proporciona vantagens econômicas, mesmo assim, ainda existem muitas barreiras a serem superadas devido à falta de difusão e conhecimento da tecnologia.

A produção de RSU é um problema crescente e inevitável, dessa forma, a implantação de novos projetos se mostra muito promissora e uma das conclusões é que o Brasil possui um grande potencial de desenvolvimento energético a partir desta tecnologia.

Com o trabalho de pesquisa realizado neste documento sobre o tema usinas de geração de energia através do biogás de aterros sanitários, foi possível concluir que este tipo de empreendimento surge como uma solução muito adequada para transformar as desvantagens e prejuízos que seriam oriundas de aterros sanitários em algo benéfico, utilizando um material que a princípio seria descartado na natureza.

Contudo, podemos concluir que a geração de energia elétrica através do biogás proveniente dos aterros também é uma ótima alternativa para suprir o déficit de energia elétrica em todo o território nacional, pois contribui para o aumento da oferta de energia elétrica de forma contínua e apresenta uma excelente alternativa para o déficit de energia que ocorrerá com a volta do desenvolvimento do país e uma promissora solução para a geração de energia descentralizada.

Este trabalho mostra, através do detalhamento do processo de produção de energia, que o projeto de implantação de uma usina a biogás de aterro sanitário é uma solução que vem para diminuir os impactos causados pelos aterros sanitários, e que só tem a trazer benefícios, visto que os impactos sob todos os aspectos e pontos de vista seriam muito maiores sem a implantação delas, portanto é muito importante o apoio, criação de políticas e incentivos para que este tipo de empreendimento seja viabilizado.

REFERÊNCIAS:

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos Sólidos: Classificação - NBR 10004.** São Paulo, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário: NBR 8160/99 p.62.** São Paulo, 2008.

ALVES, J.W.S. - **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbica de resíduos.** Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

AYRES, H.M. **Desenvolvimento de Metodologias de Análise de Geradores Distribuídos em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.** Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

BARRERA, P. **Biodigestores: Energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.** 2. ed. São Paulo: Ícone, 2003, 106 p. 76.

BIOGÁS. Biogás Energia Ambiental SA. **Usina Termoelétrica - Bandeirantes.** Disponível em < <http://www.biogas-ambiental.com.br>>. Acessado em: 15/09/2018.

CARUSO. Caruso Ambiental. **Aterro Sanitário.** Disponível em <<http://carusoambiental.com.br/site/tag/aterro-saniario/>>. Acessado em: 15/09/2018.

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Medidas mitigatórias para a redução de emissão de gases de efeito estufa na geração termelétrica.** Dupligráfica editora. 222 p. Brasília, 2000.

CENBIO. **Nota Técnica VII - Geração de Energia a Partir do Biogás Gerado por Resíduos Urbanos e Rurais,** São Paulo, 2001.

CRAVEIRO, A. M. **Considerações sobre projetos de plantas de biodigestão – Digestão anaeróbica e aspectos teóricos e práticos.** I Simpósio Latino-Americano

sobre Produção de Biogás a partir de Resíduos Orgânicos, São Paulo, dezembro de 1982.

EPE. Balanço Energético Nacional 2017 – Ano base 2018, São Paulo, 2018.

EVOET. **2G Biogas Treatment Systems**. Disponível em: <<https://www.evoet.com.au>>. Acessado em 20/11/2018.

FEMA (Fundação Estadual do Meio Ambiente). **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2012.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 2.ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

GARCILASSO V.P. et al. Cogeração de energias térmica e eletromecânica. In: COELHO, S.T. (Org.). **Tecnologias de Produção e Uso de Biogás e Biometano**. São Paulo, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Número de distritos com serviço de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por percentual de lixo coletado**. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), 2008.

IPT. Instituto De Pesquisas Tecnológicas Do Estado De São Paulo. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE. 1995. 278p.

IPT. Instituto De Pesquisas Tecnológicas Do Estado De São Paulo. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo S.A.** Compromisso Empresarial para Reciclagem -CEMPRE, Publicação IPT 2622, 2 ed., 370p, São Paulo, 2000.

JENBACHER. **Jenbacher Type 3 Gas Engines**. Disponível em: <<https://www.ge.com>>. Acessado em 20/11/2018.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário: A Geração de Biogás nos Aterros Sanitários.** Disponível em:<<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 01/06/2018.

MME. Ministério De Minas E Energia. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 12 de outubro de 2018.

_____. **Resenha Energética Brasileira 2018 – Ano base 2017.** MME Ministério de Minas e Energias, Brasília, 31p.

MOREIRA J.R.S.M et al. Máquinas e processos de transformação de energia térmica. In: SIMÕES MOREIRA, J.R. (Org.). **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.** 1. ed. Rio de Janeiro: LTC-GEN, 2017.

OLIVEIRA, L. R. P. **Biodigestor.** VII Simpósio Goiano de Avicultura e II Simpósio Goiano de Suinocultura. 13 a 15 de setembro de 2005, Goiânia, Goiás.

O LIXO. Gestão de Resíduos Lixão x Aterro. Disponível em <<http://www.lixo.com.br>>. Acessado em: 15/09/2018.

IBAM. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Classificação dos Resíduos Sólidos. Disponível em <<http://www.iban.org.br>>. Acesso em setembro de 2018.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP - Estudo de Caso** (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PROBIOGÁS. **Tecnologias de Digestão Anaeróbia com Relevância para o Brasil Substratos, Digestores e Uso de Biogás / Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); autores, Bruno Silveira ... [et al.].** Coletânea de publicação do Probiogás – Série Desenvolvimento do Mercado de Biogás. 1ª Edição. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015.

SILVA, N.A. **Manual técnico, construção e operação de biodigestor modelo chinês**. 2.ed. Editora EMATER, 90p. Brasília, 1983.

TURIONI F. **Entra em operação 1ª usina do interior de SP a gerar energia a partir do lixo**. Disponível em < <http://g1.globo.com>>. Acessado em: 16/08/2014.

VALOR E. **Mercado tem falta de renováveis para 2018**. Disponível em:< <http://www.energia.sp.gov.br>>. Acesso em 01/06/2017.

WEREKO-BROBBY, C. Y.; HAGEN, E. B. **Biomass conversion and technology**. New York: John Wiley & Sons, 2000.