

Eficiência energética em aterros sanitários: uma breve revisão

SANTANA, Jeferson Santos
GONÇALO, Alexia Sabino
SILVA, Amanda Emilly Barreto
ABREU, Karoline
LIMA, Sara Feu de

Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar o uso do biogás gerado nos aterros sanitários, contribuindo para a redução de gases de efeito estufa na atmosfera, geração de energia limpa (alternativa), bem como os benefícios sociais, econômicos e ambientais decorrentes disso. Deste modo, com o crescimento de aterros sanitários, e a cada ano o número de resíduos descartados é sempre maior, métodos alternativos de reaproveitamento se fazem necessários a fim de diminuir os impactos ambientais e sociais. Em contrapartida, o biogás é fundamental para a geração de energia, é um produto com grande disponibilidade atualmente, e encontrado também no processo de decomposição de aterros sanitários, ele é composto principalmente pelo Metano (CH_4) e Gás carbônico (CO_2), entretanto, para uma obtenção bem-sucedida do biogás no aterro, é necessário o controle de diversos fatores bióticos e abióticos que podem influenciar no processo de geração do biogás. Sendo assim, o sistema de captação do gás estruturado é um dos fatores mais importantes, pois é ele que realiza a captação do percolato até o local de tratamento, e os poços de coleta interligados a tubulações são os responsáveis por cumprir o trajeto do produto até ao local de captação e transformação do biogás, onde poderá ser reaproveitado como fonte de energia. No entanto, não há incentivos financeiros suficientes no Brasil para que a geração de energia através do biogás cresça continuamente.

Palavras-chave: Aterro sanitário. Energia limpa. Impacto ambiental. Biogás.

Abstract

This work aims to analyze the use of biogas generated in landfills, contributing to the reduction of greenhouse gases in the atmosphere, generation of clean energy (alternative), as well as the social, economic and environmental benefits resulting from this. Thus, with the growth of landfills, and each year the number of waste disposed of is always greater, alternative methods of reuse are necessary in order to reduce environmental and social impacts. In contrast, biogas is essential for energy generation, it is a product with great availability today, and also found in the process of decomposition of landfills, it is mainly composed of Methane (CH_4) and Carbon dioxide (CO_2), however, in order to obtain biogas successfully at the landfill, it is necessary to control several biotic and abiotic factors that can influence the biogas generation process. Thus, the structured gas capture system is one of the most important factors, since it is the one that captures the percolate to the treatment site, and the collection wells connected to pipes are responsible for fulfilling the product path until to the biogas capture and transformation site, where it can be reused as an energy source. However, there are not enough financial incentives in Brazil for the generation of energy through biogas to grow continuously.

Keywords: Landfill. Clean Energy. Environmental Impact. Biogás.

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo analizar el uso del biogás generado en vertederos, contribuyendo a la reducción de gases de efecto invernadero en la atmósfera, generación de energía limpia (alternativa), así como los beneficios sociales, económicos y ambientales que se derivan de esto. Así, con el crecimiento de los rellenos sanitarios, y cada año el número de residuos que se eliminan es siempre mayor, son necesarios

métodos alternativos de reutilización para reducir los impactos ambientales y sociales. En cambio, el biogás es fundamental para la generación de energía, es un producto con gran disponibilidad en la actualidad, y también se encuentra en el proceso de descomposición de los vertederos, está compuesto principalmente por Metano (CH₄) y Dióxido de Carbono (CO₂), sin embargo, para obtener biogás con éxito en el relleno sanitario, es necesario controlar varios factores bióticos y abióticos que pueden influir en el proceso de generación de biogás. Así, el sistema estructurado de captación de gas es uno de los factores más importantes, ya que es el que capta el percolado al sitio de tratamiento, y los pozos de captación conectados a las tuberías son los encargados de cumplir la trayectoria del producto hasta la captación y transformación del biogás. sitio, donde se puede reutilizar como fuente de energía. Sin embargo, no existen suficientes incentivos financieros en Brasil para que la generación de energía a través del biogás crezca continuamente.

Palabras clave: Vertedero. Energía limpia. Impacto ambiental. Biogás.

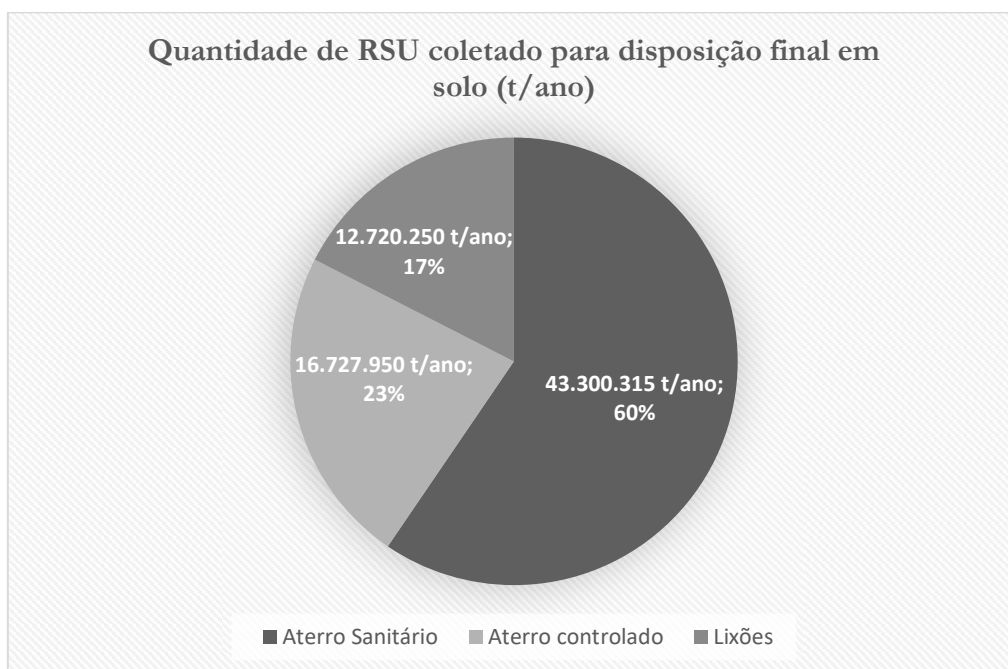
INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos sólidos é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos que, ao passar dos anos tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens descartáveis (SILVA, 2020). Com a destinação correta é possível proteger o meio ambiente e ao mesmo tempo propicia o seu desenvolvimento (FILHO e HUMBERT, 2020).

Muitos dos municípios enfrentam dificuldades para esta destinação correta e os resíduos sólidos gerados são direcionados aos “lixões” como destino final dos mesmos. A partir da instauração da Lei nº 12.305/10 avançou-se no setor direcionando à eliminação desses “lixões”, e sua substituição por sistemas de coleta e tratamento de resíduos ambientalmente adequados, sendo assim, uma das principais alternativas de destinação final para esses resíduos são os chamados aterros sanitários (SOUZA, 2019).

No ano de 2019, verificou-se que 6,3 milhões de ton/ano seguem abandonadas no meio ambiente, com 92% de índice de coleta. Esse acontecimento é devido ao maior consumo e consequentemente ao descarte de matéria, causando maior contaminação das águas, solo, ar e afetando ainda mais a saúde da população que vive no entorno desses locais de descarte a céu aberto (ABRELPE, 2020).

Figura 1: Quantidade de RSU coletados para a disposição final em solo em 2019



Fonte: ABRELPE (2020).

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992) o aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é definido como:

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

Os resíduos direcionados aos aterros são compactados no solo e evitam a contaminação do solo e do lençol freático, eles dispõem das entradas principais as quais são destinadas à resíduos e águas, e as saídas principais que são direcionadas para os gases e chorume (CETESB, 2020). A disposição final desses resíduos tem como subproduto a emissão de gases provenientes da decomposição do material orgânico, chamados de biogás. Ele é composto, em sua maioria, por CH₄ e CO₂, os quais são nomeados como Gases de Efeito Estufa (GEE) por serem altamente contribuintes para o aquecimento global, desta forma, a utilização do biogás como fonte renovável de energia é de grande proveito, em razão de ser uma fonte promissora de geração de energia limpa e oferecer a redução dos GEE (FREITAS et al, 2019).

O biogás é uma das possíveis fontes de energia renováveis existentes hoje, podendo ser utilizado para diferentes fins energéticos, e possui grande potencial de eficiência, e retorno de receita como energia, visto que com o significativo crescimento populacional, temos também um sistema de produção e consumo em larga escala, que favorece o índice de resíduos sólidos gerados e levados à aterros (BRASIL, 2015).

Deste modo, o presente estudo tem como objetivo realizar a análise do uso do biogás que são gerados nos aterros sanitários, para possibilitar sua utilização como fonte de energia renovável e limpa, e consequentemente auxiliando na diminuição dos gases de efeito estufa, resultando na diminuição do impacto ao meio ambiente, e trazendo benefícios sociais e econômicos.

METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento bibliográfico, através de revisões literárias em artigos científicos, livros, monografias e teses, sob as bases eletrônicas dos portais *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO) e Google acadêmico, como também, o portal da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), empresa vinculada ao Ministério da Agricultura. Foram consultadas publicações nos períodos de 2016 a 2020, exceto a utilização da NBR 8419 de 1992 e a LEI Nº 12.305 de 2010, sendo que a pesquisa foi efetiva a partir dos seguintes descritores: aterro sanitário; energia limpa; impacto ambiental; e, por fim, biogás. Da mesma forma, temas relevantes foram

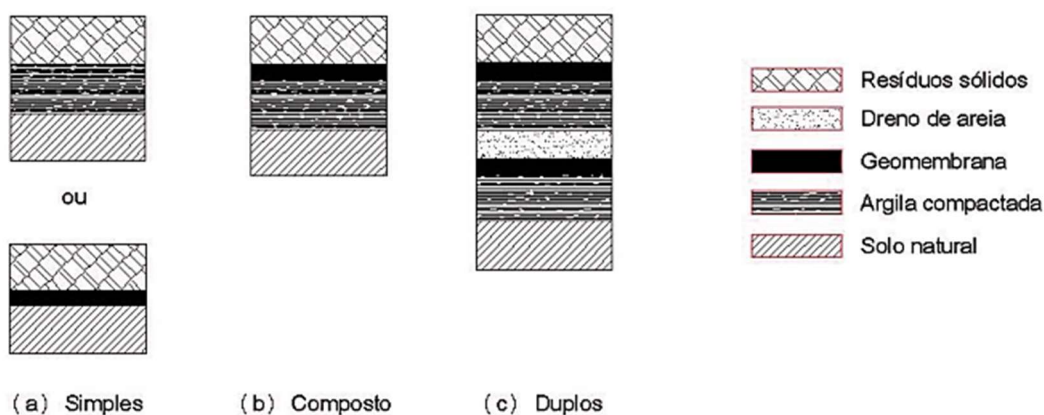
considerados na pesquisa como: produção e coleta de lixo no Brasil, descarte irregular de resíduos, captação de biogás, eficiência energética.

Aterro Sanitário

O aterro sanitário se trata de uma técnica para descarte de resíduos, onde é realizado disposição e compactação dos resíduos no solo, e posteriormente cobertos por uma camada de terra. Para a execução do aterro é necessário a verificação do local de implantação, observando os aspectos técnicos, econômicos, climáticos e ambientais, bem como questões sociais (CETESB, 2020; COLVERO, 2017). Além de solucionar parte dos problemas causados em razão do excesso de lixo gerado, o aterro sanitário tem um menor custo em comparação a outras técnicas, facilidade na operação e contém um plano de monitoramento contínuo (ARAUJO, 2017).

O projeto de um aterro sanitário obrigatoriamente deve conter um sistema de impermeabilização do fundo e das laterais, onde impedirá a percolação do chorume para o subsolo e aquíferos, essa impermeabilização deve ser efetuada de argila compactada e/ou geomembranas – manta de liga plástica, elástica e flexível – de polietileno de alta densidade, podendo ser simples, contendo somente a geomembrana, composto, com a geomembrana e a argila compactada, ou até mesmo duplo, com duas camadas de argila e geomembranas conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (VIANA et al, 2018; SANTOS e SILVA, 2018 apud REICHERT, 2007).

Figura 2: Sistemas de impermeabilização.



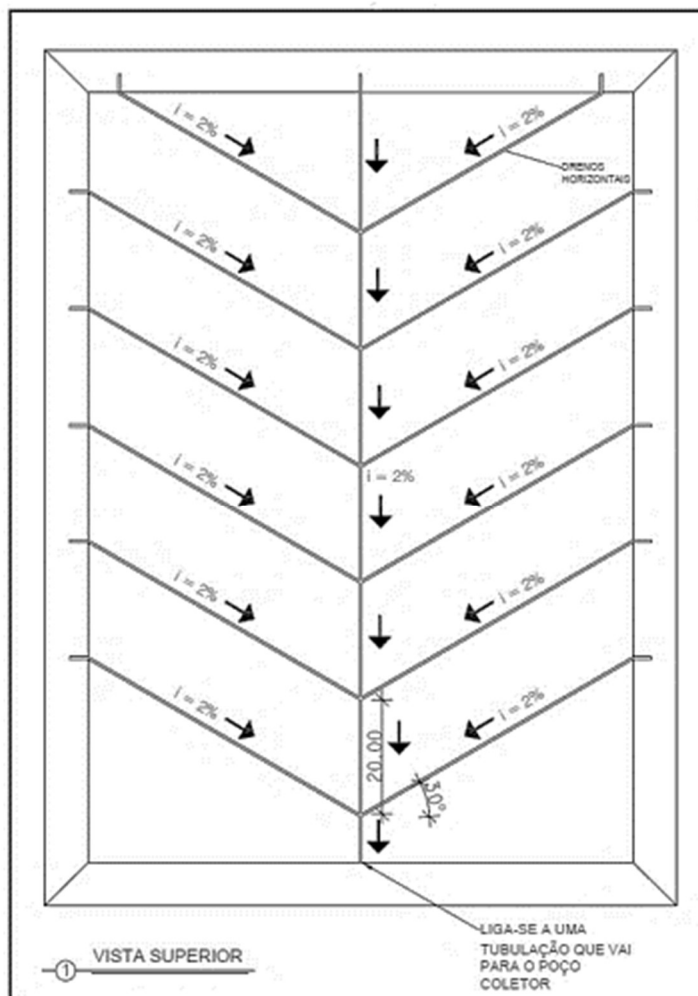
Fonte: SANTOS e SILVA (2018 apud REICHERT, 2007).

Outro ponto obrigatório num aterro, é o sistema de drenagem dos lixiviados/chorumes, os quais sem o devido tratamento podem causar grandes danos nos lençóis freáticos, para isso, não se pode permitir a acumulação dos mesmos, portanto, é preciso uma rede de drenos – tubos

perfurados preenchidos com brita localizados logo acima da camada impermeabilizante e em todos os patamares das células de resíduos – que irão direcionar o lixiviado ao tratamento, normalmente utilizando a disposição em formato de espinha de peixe (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), com inclinação variável (VIANA et al, 2018; GALLI, 2018).

Segundo Galli (2018), a quantidade de chorume é retratada pela percolação em um bloco homogêneo composto por material poroso. A chuva que precipita sobre o aterro pode ser dividida em três partes, onde a primeira parte retorna a atmosfera devido a evaporação e/ou transpiração, a segunda é escoada pela superfície e a terceira se infiltra pelas camadas mais profundas. O fluxo de lixiviado e sua produção no aterro não é totalmente equacionado, assim, seu dimensionamento é baseado em padrões que são internacionalmente aprovados, baseados na lei de Darcy para percolação em meio poroso sendo aplicado a vazão máxima, que deve ser calculada com a partir da precipitação máxima em um determinado tempo de concentração, e um coeficiente de permeabilidade, aplicada no nível de maior área da superfície (SUMI, 2009; ROCHA e CALDEIRA, 2019).

Figura 3: Disposição dos drenos de captação de lixiviados

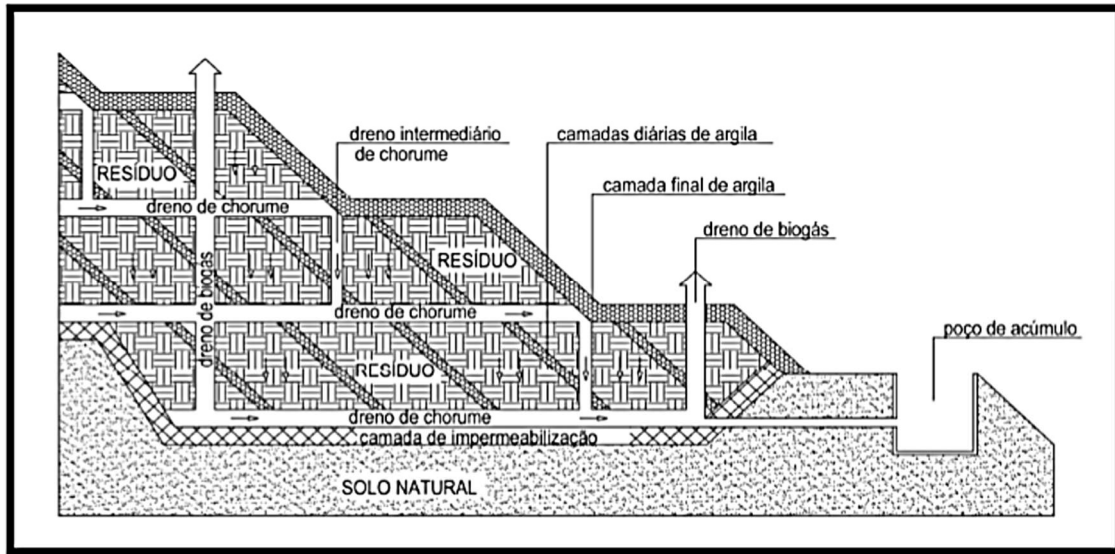


Fonte: VIANA (2020).

Em seguida, o chorume passará pelo sistema de tratamento de lixiviados para atender os padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), conforme a Resolução 430/2011, para posterior lançamento, onde poderá ser submetido por tratamentos aeróbios ou anaeróbios e tratamentos físico-químicos, podendo também, o chorume ser removimentado pelo aterro para manter o grau de umidade. Este que funciona como catalisador, necessário no andamento da decomposição dos resíduos, bem como poderá ser enviado para Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) desde que estas suportem o volume (VIANA et al, 2018). O teor de umidade é um dos fatores mais importantes para a produção de biogás, quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção de gás. Em um aterro convencional o teor de umidade muda ao longo do tempo, devido as mudanças na infiltração de águas superficiais que ocorrem nos períodos sazonais de chuva, onde há liberação de água como resultado da decomposição dos resíduos (PEREIRA, 2018).

No aterro também é necessário um sistema de drenagem dos gases, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, composto por drenos, em sua maioria, tubos verticais perfurados de concreto armado, circundado por brita ou rachão fixados aos tubos por telas metálicas (VIANA et al, 2018).

Figura 4: Modelo de disposição dos drenos de gás e lixiviado em um aterro sanitário



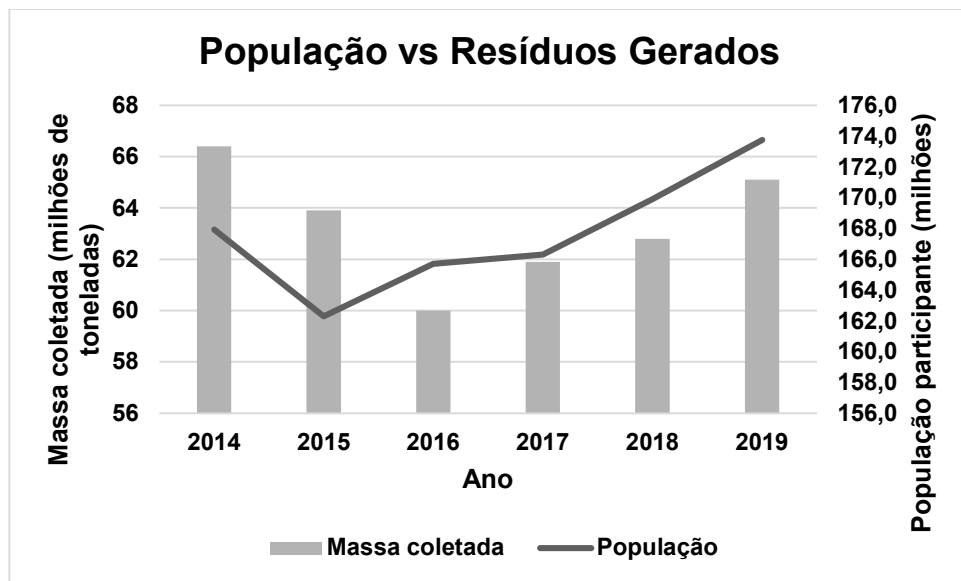
Fonte: GOTARDO (2016 apud QUITUANA, 2010).

Após a disposição dos resíduos, é necessário uma cobertura intermediária e final afim de eliminar a propagação de vetores, diminuir a geração de chorume, reduzir odores e saída em excesso do biogás, onde a cobertura é feita diariamente após o expediente de disposição dos resíduos e ao final da vida útil do aterro. Além desses mecanismos, existem outros segmentos obrigatórios, tais como: impedimento de acesso de pessoas e animais, cinturão verde ao redor do aterro, guarita para controle de entrada e saída, entre outros (VIANA et al, 2018).

De acordo com o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), de 2014 a 2019 é notório que a quantidade de resíduos gerados diminuiu em relação a população de cada ano, por exemplo, em 2014 a população participante da coleta de resíduos eram de 167,9 milhões em relação a 66,4 milhões de toneladas de massa coletada, e em 2019 a população de 173,75 milhões descartaram 65,1 milhões de toneladas de resíduos. A causa disso se dá pelas reutilizações e reciclagens dos produtos que já seriam descartados no seu primeiro uso, entretanto, foram reaproveitados, contribuindo positivamente com o meio ambiente. (BRASIL, 2020), outro fator que gera grande impacto neste resultado é a alta da inflação todos os anos se superando, que resulta no aumento dos alimentos, roupas, transporte, aluguel de imóveis, eletrodomésticos e etc., e em

contrapartida não ocorre alterações significativas no salário mínimo da população, que atualmente obteve aumento de R\$12,00, em relação ao ano anterior, e está em R\$1.100,00 (Oliveira, 2020), desta forma o poder aquisitivo da maior parte da população tende sempre a diminuir neste cenário, as pessoas já não podem comprar a mesma quantidade de produtos que compravam antes, com a chegada da pandemia no Brasil, isso foi agravado, visto que a situação de desemprego piorou, e os aumentos da inflação continuaram exorbitantes (FONTANA, 2021).

Figura 5: População participante x Massa coletada



Fonte: BRASIL (2020).

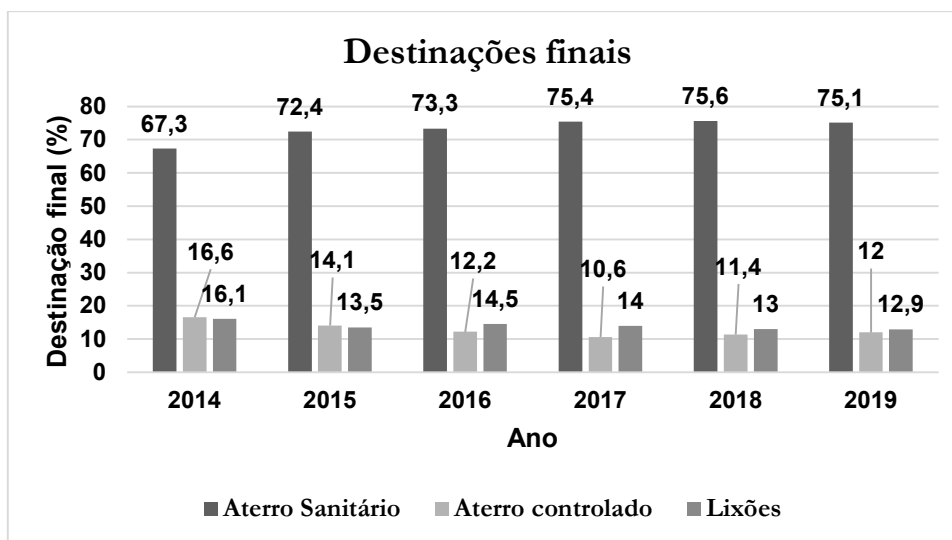
Em um dado mais recente de 2018, segundo a ABRELPE, em 1.600 cidades do Brasil ainda existiam quase 3 mil lixões, sendo que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) determinou que em até 2014 fossem eliminados completamente todos lixões e aterros irregulares, no qual essa exigência não foi concedida pela falta de comprometimento dos municípios, com o novo marco do saneamento sendo aprovado, esse prazo foi então postergado, e datas considerando o tamanho da população foram definidos como novo prazo (OLIVEIRA, 2021):

- Capitais e regiões metropolitanas, prazo até 2 de agosto de 2021;
- Cidades com mais de 100 mil habitantes têm até agosto de 2022;
- Cidades entre 50 e 100 mil habitantes têm até 2023

¹ População participante se dá em razão da não participação total da população pois o estudo não abrangeu todos os municípios.

- Municípios com menos de 50 mil habitantes têm até 2024.

Figura 6: Destinação final dos resíduos



Fonte: BRASIL (2020).

Nos gráficos podemos observar o crescimento da população que conseqüentemente acarreta em maior geração de resíduos, com a urbanização em constante evolução, e o consumismo de parte da população que ainda possui grande poder aquisitivo, a geração de resíduos aumenta, entretanto com a falta da melhora da gestão e projetos eficientes de coleta para acompanhar a velocidade desse aumento, temos o declínio da coleta da massa gerada, onde grande parte acaba por ser depositado em lugares impróprios, mesmo com a criação da lei da PNRS em 2010 que já previa a eliminação dos lixões, podemos observar no segundo gráfico também a evolução dessas coletas e que mesmo com o aumento da destinação final para aterro sanitário, o envio para aterro controlado e lixões continuam praticamente constantes ao passar dos anos, pois, conforme já mencionado, não houve a eliminação e permanecem distribuídos pelo Brasil, e como conseqüência da não eliminação desses locais, as práticas de disposições incorretas tendem a aumentar, por isso se faz necessário a criação de projetos que sejam realmente eficazes para a eliminação dos locais inadequados.

Biogás

O biogás é um gás resultante da fermentação anaeróbia (em ausência de oxigênio livre do ar) da matéria orgânica, é composto, em grande parte, variando a porcentagem de acordo com o resíduo depositado, por:

- Metano (CH₄) - 50 a 79%

- Gás carbônico (CO₂) - 25 a 50%
- Nitrogênio (N₂) - 0 a 7%
- Hidrogênio (H₂) – 0 a 1%
- Oxigênio (O₂) – 0 a 2%
- Gás sulfídrico (H₂S) – 0 a 3% (CETESB, 2020).

O processo da formação de biogás num aterro sanitário ocorre na segunda etapa da decomposição da matéria orgânica (CETESB, 2020). A primeira etapa é decorrente da decomposição aeróbia de resíduos, e em seguida, ocorre a decomposição anaeróbica onde há redução do gás carbônico presente nos resíduos (FERREIRA et al, 2018).

Para geração do biogás, existem diversos fatores que podem influenciar a fermentação, sendo eles: permeabilidade do solo ao ar, temperatura nas camadas inferiores do aterro, os nutrientes dos resíduos depositados, umidade e substâncias nocivas aos microrganismos (PAINI, 2017).

Através desta fermentação que pode ser realizada em uma lagoa anaeróbia ou em um tanque, ocorre a formação do metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), e matéria orgânica estabilizada (biofertilizantes) devido a presença dos microrganismos e a matéria orgânica e biomassa que são compostas por proteínas, lipídeos e carboidratos. O enxofre fica como resíduo e uma parte do dióxido de carbono (CO₂) que foi produzido se liga a amônia (NH₃) onde resulta em uma composição do biogás de 71% de CH₄ e 29% de CO₂ (ARAÚJO, 2017).

A Equação 1, representa a digestão anaeróbia e a Equação 2 representa a formação do biogás:



Captação do Biogás

Produzido em profundidade do solo no aterro devido a decomposição dos resíduos sólidos, gases com características físico-químicas similares ao CO₂ apresentam alta polaridade, sendo grandemente solúveis em água, portanto, acabam por serem migrados para o sistema de drenagem dos lixiviados. Logo, os demais gases com características semelhantes ao CH₄, com densidade inferior ao do ar e apolares, se movimentam em razão da difusão, ou seja, se transportam de uma região concentrada para uma região menos concentrada. Com isso, para a drenagem e coleta do

gás é necessária uma tubulação de esgotamento que conduzirão o gás para um sistema de drenagem, consistido de coleta, transporte e tratamento (MARQUES, 2019).

De acordo com Moreira (2018) a difusão dos gases é representada pela 1º Lei de Fick conforme a equação abaixo:

$$Jg = -De \frac{\partial c}{\partial z}$$

Onde:

Jg : fluxo difusivo de massa do gás ($M.L^{-2}T^{-1}$);

De : coeficiente de difusão do gás ($L^2.T^{-1}$);

c : concentração de gás ($M.L^{-3}$);

z : distância (espessura, altura, etc.) (L);

$\frac{\partial c}{\partial z}$: gradiente de concentração ($M.L^{-4}$).

O deslocamento é mostrado pelo sinal negativo, onde há a locomoção do espaço de maior concentração para o de menor concentração.

Existem diversos modelos de estimativas de geração de gases num aterro sanitário, sendo o modelo mais utilizado o LANDGEM, o mesmo se trata uma ferramenta elaborada pela *United States Environmental Protection Agency* – USEPA (FREITAS, 2019).

O LANDGEM é uma ferramenta utilizada para estimar o fluxo dos gases gerados no aterro, como o metano (CH_4) e o dióxido de Carbono (CO_2), entre outros, que são gerados em menor quantidade no processo de decomposição dos RSU e que também são poluentes atmosféricos. Pode ser considerado um método de controle e medição dos gases gerados no aterro, e sua estimativa é feita através de uma equação de taxa de decomposição de primeira ordem, estimando a quantidade de emissão gerada de acordo com a quantidade de resíduo que foram depositados no aterro de RSU (MACEDO, 2019).

Essa equação é utilizada para estimar a geração de biogás e usa de base todos os resíduos depositados no aterro até um determinado ano, portanto, esse modelo requer o conhecimento do histórico do local, e das quantidades de resíduos que foram depositados ali ao longo dos anos, desde o início do funcionamento do aterro.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=l}^n \sum_{j=0,1}^l k \cdot Lo \cdot \left(\frac{Mi}{10}\right) \cdot e^{-kt_{ij}}$$

Onde:

Q_{CH_4} = geração anual de metano no ano do cálculo (m^3 /ano)

i = incremento de tempo de 1 ano

n = (ano do cálculo) - (ano inicial de aceitação de resíduos)

j = incremento de tempo de 0,1 ano

k = taxa de geração de metano (ano^{-1})

Lo = potencial de geração de metano (m^3 /mg)

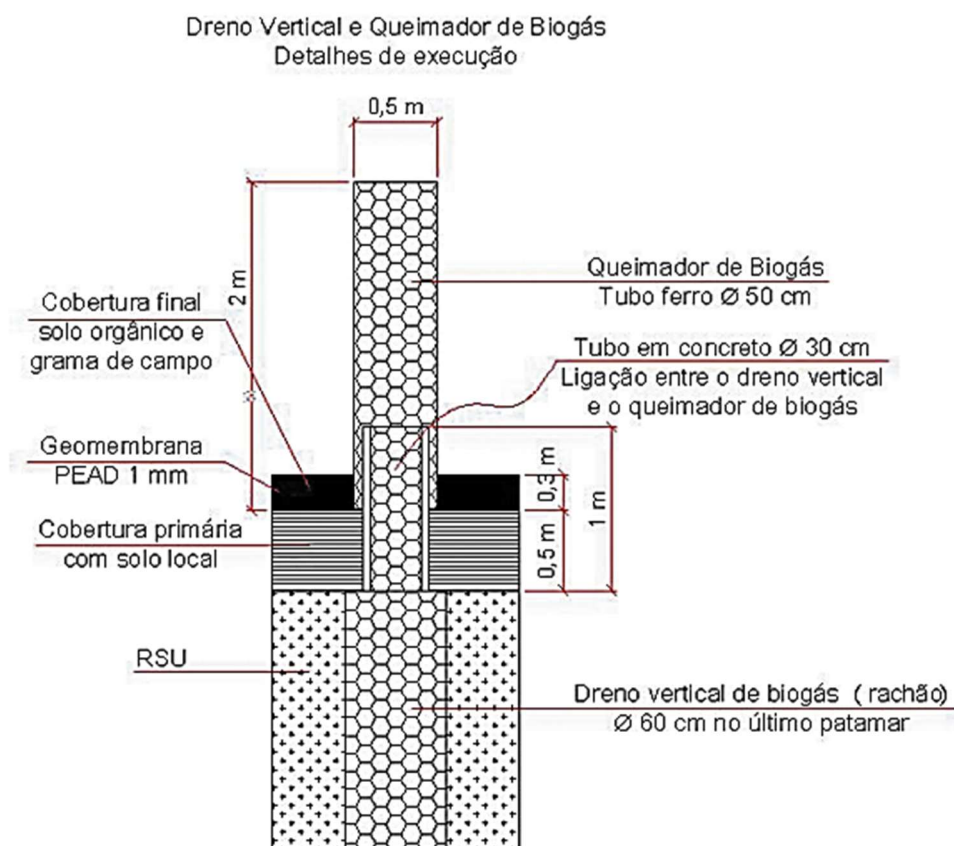
Mi = massa de resíduos aceitos no i -ésimo ano (mg)

ij = idade da j -ésima seção da massa de resíduos Mi aceita no i -ésimo ano (anos decimais, por exemplo, 3,2 anos).

Existem atualmente 2 tipos de instrumentos para a coleta do biogás, poços verticais e valas horizontais, os dois são utilizados para retirada de gases dos aterros, em que os poços verticais são interligados com os drenos horizontais de lixiviados. O diâmetro dos tubos verticais pode variar de acordo com o aterro, sendo a distribuição feita considerando um raio de influência, quanto maior o tubo, menor o raio de influência (SANTOS e SILVA, 2018).

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** demonstra a estrutura a qual a tubulação de drenagem dos gases deve ter.

Figura 7: Estrutura da tubulação da captação de gases



Fonte: SANTOS e SILVA (2018 apud RSU POMA, 2008).

O sistema de drenagem tem uma grande importância no processo de tratamento dos resíduos, pois permite a coleta e condução do percolato para o devido local possibilitando o reuso para geração de energia e a diminuição dos gases de efeito estufa (NASCIMENTO e CRUZ, 2017).

O objetivo aproveitamento energético do biogás, é convertê-lo em uma forma de energia útil tais como: eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou para abastecer gasodutos com gás de qualidade (PINÃS, 2016).

Independente de qual seja a finalidade do biogás produzido no aterro, é necessário que seja projetado um sistema padrão de coleta, tratamento e queima do biogás: poços de coleta, sistema de condução, tratamento (inclusive para desumidificar o gás), compressor e *flare* com queima controlada para a garantia de maior eficiência de queima do metano (PINÃS, 2016).

A captação do biogás se dá logo após ao encerramento de uma célula no aterro com a cobertura final de terra, com isso, os poços de coleta são responsáveis pelo recolhimento do gás e o encaminhamento do mesmo ao sistema de condução, por meio da ligação dos poços ao tubo ligado a uma bomba e a uma casa de regulação, que irá fazer o controle da quantidade e da qualidade do gás. Já o compressor, puxa o gás dos poços, e também pode comprimir o gás antes

deste entrar no sistema de recuperação energética. O *flare* é um dispositivo para ignição e queima do biogás, podendo ser aberto, o qual não possui câmara de combustão, mantendo sua chama exposta a atmosfera, não sendo altamente eficiente, e pode ser também enclausurado, contendo uma câmara de combustão, de modo que a chama fique protegida de ações externas (SANTANA, 2016; WAGNER, et al, 2017).

Conversão do Biogás

Segundo Silva (2019), a vazão estimada em cada ano é transformada em potência, onde será possível calcular a quantidade de energia elétrica que poderá ser gerada, utilizando o software elaborado pela USEPA.

$$P_{CH_4} = \frac{Q_{CH_4} P_c (\text{metano})}{31.536.000} E_c \frac{k}{1000}$$

Em que:

P_x : Potência disponível a cada ano [kW];

Q_{CH_4} : Vazão de metano a cada ano [$m^3 CH_4$ /ano];

$P_c(\text{metano})$: Poder calorífico do metano [J/ $m^3 CH_4$] sendo igual a 35,53.106;

E_c : Eficiência de coleta de gases [%] sendo sugerido 50%;

31.536.000s = 1 ano;

k : $k=1000$ [adimensional].

Para obtenção dessa estimativa é necessário todo um histórico de dados do aterro em que se quer ter essa informação. Outrossim, a constante de decaimento (k) determina o espaço de tempo de geração do metano a partir da deposição de resíduos. Os valores podem variar de 0,01 ano⁻¹ a 0,09 ano⁻¹, conforme a Tabela 1 (SILVA, 2019).

Tabela 1: Valores sugeridos para k

Precipitação anual (mm)	Relativamente inerte	Decomposição moderada	Decomposição alta
250	0,01	0,02	0,03
250-500	0,01	0,03	0,05
500-1000	0,02	0,05	0,08
1000	0,02	0,06	0,09

Fonte: SILVA (2019 apud WORLD BANK, 2003).

Eficiência Energética

De acordo Dalpaz (2019, apud Silvestre, 2015) o metano apresenta um alto poder calorífico, que pode ser usado em forma de energia. Sendo possível o aproveitamento desse biogás na produção de energia térmica e elétrica, na queima diretamente em fogões, caldeiras e aquecedores e, até, na utilização como combustível após passar por tratamentos para purificação. A energia calorífica tem princípio na queima do biogás, convertendo a energia química do combustível em energia mecânica (KONRAD, 2016; SOUZA, 2016).

Dois tipos de tecnologias são responsáveis pela geração de energia elétrica com a utilização do biogás, sendo elas: motores de combustão interna e microturbinas a gás. O motor de combustão interna adaptado ao biogás atua em quatro etapas: mistura do ar-biogás, compressão no interior dos cilindros, combustão por centelha e emissão dos gases. Já na microturbina a gás, o ar aspirado é forçado para o interior à uma alta velocidade e pressão, se misturando com o biogás para ser queimado na câmara de combustão, e, devido a combustão, os gases quentes movem a turbina que geram energia e podem ser aproveitados para o aquecimento do ar de combustão. Dentre essas duas tecnologias citadas, o motor de combustão interna é mais utilizado visto a maior produtividade elétrica e menor custo em comparação as microturbinas a gás, que necessitam de um capital inicial maior, com alto despesa com operação e manutenção e exigência por um sistema de limpeza do biogás (SANTOS e LIMA, 2016; MONTAGNA, 2016).

Diferentemente da energia eólica, solar e da biomassa proveniente de bagaço de cana-de-açúcar em que há incentivos governamentais, a geração de energia através do biogás não possui incentivos fiscais e financeiros, é considerado inviável tanto no setor público, como no privado, mesmo com as vantagens, o investimento governamental é pouco, fazendo com que esse tipo de energia seja produzido em menor escala. A principal vantagem competitiva desse biocombustível é a isenção do pagamento da taxa de transmissão do fio. O preço pago pela energia gerada por meio da queima do biogás é igual ou minimamente superior ao pago por outras fontes convencionais, por este motivo, ocorre a desmotivação de investidores em aplicar recursos nesse tipo de energia, visto que a mesma se torna mais cara devido à falta de tecnologias acessíveis, fontes de financiamento diferenciadas e, até mesmo, a falta de conhecimento de tal segmento (PEREIRA, 2018).

Aterros Sanitários com Utilização de Biogás para Geração de Energia

A utilização do biogás para geração de energia teve os seus primeiros projetos no início da década de 70, nos Estados Unidos da América (EUA), objetivando uma fonte alternativa de energia em relação ao petróleo e a diminuição e contenção da emissão de metano. Em seguida, a Europa, em alguns países, apresentou projetos para o aproveitamento do biogás em aterros sanitários. Atualmente, o Brasil conta com 22 usinas termelétricas de aterros sanitários em operação, que juntos produzem energia elétrica através do biogás atingindo um potencial outorgado de 180.639,60 kW e potencial fiscalizado de 174.833,1 kW (FIGUEIREDO, 2011 apud ENSINAS, 2003; ANEEL, 2021).

Pode-se destacar os seguintes aterros como grandes projetos positivos que utilizam o biogás para geração de energia, que são o Aterro São João, em São Paulo, Aterro de Caximba, no Paraná, Aterro Salvador, na Bahia, e, por fim, o Aterro Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro.

O Aterro São João se localiza no município de São Paulo, estrada do Sapopemba, km 33, zona leste. Teve início de suas atividades em 1992 e em 2009 encerrou o recebimento dos resíduos, tendo aterrado aproximadamente 29 milhões de toneladas de RSU. A usina foi implantada pelo consórcio Biogás Energia Ambiental e entrou em operação em 2008, com potência outorgada de 24.640,00 kW, sendo que hoje em dia, tem potência fiscalizada de 21.560,00 kW, que é direcionado ao abastecimento da cidade de São Paulo (TAVARES, 2018; ANEEL, 2021).

Localizado em Salvador, o Aterro Sanitário Metropolitano Centro fica próximo do Aeroporto Internacional de Salvador – Deputado Luís Eduardo Magalhães, na rodovia BA – 526, km 6,5, zona norte. Com início em 1997, o aterro segue até hoje ativo, atendendo aproximadamente 3 milhões de pessoas. A usina termelétrica atua desde dezembro de 2010, tendo tanto sua potência outorgada quanto sua potência fiscalizada o valor de 19.730,00 kW (SANTOS, 2011; ANEEL, 2021).

Conforme Prestes (2019) e ANEEL (2021) o Aterro Sanitário da Caximba está localizado em Curitiba no Paraná. Iniciou suas atividades em 1989 e encerrou elas em 2010 e recebeu resíduos de 14 municípios da região metropolitana. Em janeiro de 2016, a usina iniciou sua operação, e atualmente a potência fiscalizada é de 8.556,00 kW.

Por fim, o Aterro Sanitário da Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, iniciou suas atividades em 2003/04, atua até o presente momento e tem capacidade para receber 5 mil toneladas diárias de RSU. A usina de produção de energia através do biogás foi inaugurada em 2019 e tem potência fiscalizada de 16.932,00 kW (ARAUJO, 2007; ANEEL, 2021; NOVA IGUAÇU, 2019).

Mesmo que sejam de regiões e estados diferentes, a somatória da potência fiscalizada somente desses quatro aterros citados é de 66.778,00 kW em uma hora, ou seja, em um mês é

gerado 48.080,16 MWh. Supondo que uma residência gaste aproximadamente 162 kWh/mês, em um mês, todos esses aterros juntos, podem abastecer aproximadamente 300 mil residências (ARAUJO, 2020; EPE, 2020). A utilização do biogás para geração de energia é de fato extremamente rentável, visto a diminuição da emissão de GEE tanto pelo metano expelido pelo aterro, quanto pela não utilização de outras fontes poluidoras. O atendimento à população do entorno do aterro, que geralmente se trata de uma população mais carente, também é intensamente interessante, pois, dessa forma, se trata de uma resolução a problemas sociais devido à falta e energia elétrica (FIGUEIREDO, 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a quantidade de resíduos gerados anualmente pela população brasileira, verifica-se que são emitidas toneladas de GEE todos os anos, gases esses que poderiam ser reaproveitados para geração de energia. Os aterros sanitários crescem em número a cada ano que passa, sendo eles os mais sustentáveis e ecologicamente corretos, em comparação aos “lixões” e aterros controlados, atingindo bem mais que a metade da estimativa de disposição de resíduos sólidos no solo.

Os benefícios da utilização do biogás proveniente dos aterros sanitários para a produção de energia são diversos, podendo sinalizar a ausência de emissão de GEE como um deles, e com a geração de biogás, diminui o consumo de combustíveis fósseis, fazendo com que haja uma redução na dependência de uma única fonte de energia, conseqüentemente minimizando o impacto negativo ao meio ambiente.

Ainda que o Brasil seja um dos principais criadores de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) há poucos investimentos no país, tanto em incentivos como campanhas e fomentos, deste modo, não há atratividade no aproveitamento do biogás no aterro sanitário.

Desta forma, pode-se dizer que, o processo de decomposição de resíduos em aterros para o aproveitamento energético é necessário e ambientalmente adequado, todavia, a geração de energia através do biogás ainda é inviável devido aos poucos incentivos governamentais.

O que também pode ser observado, é que com o uso do biogás, diminui o uso de outros meios de fonte de energia poluentes que utilizam recursos naturais finitos, ou seja, que não sejam fontes energia limpa.

Além disso, como citado anteriormente, já existem 22 aterros termelétricas de aterros sanitários operando e produzindo energia elétrica através do biogás, com grandes potenciais. O

país tem espaço para maior desenvolvimento dessa tecnologia e pode se tornar uma grande referência mundial.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas (1992). *NBR 8419:1992*. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro.

ABRELPE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil* – 2017. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2018. Disponível em: https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

ANEEL. *Matriz por fonte e combustível final*. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 08 mai. 2021.

ARAUJO, A. S. *Aterro sanitário de Nova Iguaçu (RJ): Uma estratégia para a gestão dos resíduos sólidos na baixada fluminense*. Iniciação Científica PUC – Departamento de geografia, p. 1-2, 2007. Disponível em: https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2007/resumos/GEO/adelia_santos.pdf. Acesso em: 08 mai. 2021.

ARAUJO, E. *Consórcio solar de 1 MW em Minas Gerais vai atender 50 empresas*. [03 de julho de 2020]. São Paulo: Canal Solar. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/consorcio-solar-de-1-mw-em-minas-gerais-vai-atender-50-empresas/>. Acesso em: 10 mai. 2021.

ARAUJO, P. S. *Análise do Desempenho de um Solo Compactado Utilizado na Camada de Cobertura de um Aterro Sanitário*. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

BRASIL. *Lei nº 12.305*, de 02 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm#:~:text=L12305&text=LEI%20N%C2%BA%2012.305%2C%20DE%202%20DE%20AGOSTO%20DE%202010.&text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,1998%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs. Acesso em: 11 set. 2020.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Projeto Brasil-Alemanha de fomento ao aproveitamento energético de biogás no Brasil* – Probiogás. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Brasília: Ministério das Cidades, 2015. Disponível em: <https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-guia-etes.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

BRASIL. *Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento*. Painel de informações sobre o saneamento: manejos dos resíduos sólidos urbanos. Brasília: SNIS, 2020. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/>. Acesso em: 15 mai. 2021.

CETESB. *Biogás*, Definição, 2020. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/biogas/#:~:text=Contudo%2C%20em%20linhas%20gerais%2C%20o,mistura%20gasosa%20composta%20principalmente%20por%3A&text=Metano%20\(CH4\)%3A%2050,do%20volume%20de%20g%C3%A1s%20produzido.&text=Di%C3%B3xido%20de%20carbono%20\(g%C3%A1s%20carb%C3%B4nico,do%20volume%20de%20g%C3%A1s%20prod](https://cetesb.sp.gov.br/biogas/#:~:text=Contudo%2C%20em%20linhas%20gerais%2C%20o,mistura%20gasosa%20composta%20principalmente%20por%3A&text=Metano%20(CH4)%3A%2050,do%20volume%20de%20g%C3%A1s%20produzido.&text=Di%C3%B3xido%20de%20carbono%20(g%C3%A1s%20carb%C3%B4nico,do%20volume%20de%20g%C3%A1s%20prod). Acesso em: 12/05/2021.

COLVERO, D. A. et al. *Aterro Sanitário de Goiânia: Uma Identidade Territorial e a Vulnerabilidade e Exclusão Social da População do seu Entorno*. Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal, v. 14, n. 2, p. 03-20, jul./dez. 2017.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Aterro Sanitário. Coletânea de textos da Cetesb. Não publicado. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/aterro-sanitario/>. Acesso em: 10 set. 2020.

DALPAZ, R. *Avaliação energética do biogás com diferentes percentuais de metano na produção de energia térmica e elétrica*. 2019. Dissertação (Mestrado em Sistemas Ambientais Sustentáveis) – Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado. Disponível em: <https://univates.com.br/bdu/bitstream/10737/2517/1/2019RicardoDalpaz.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.

EPE. *Resenha mensal do mercado de energia elétrica*. Empresa de Pesquisa Energética. 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-510/Resenha%20Mensal%20-%20Janeiro%202020_v4.pdf. Acesso em: 10 mai. 2021.

FERREIRA, H. G. R.; PEDROSO, G. M.; ALVES, R. G.; CAHLI, G. M.; MELLO, S. C. R. P. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU): uma análise do setor energético em ascensão com base no impacto ambiental e na qualidade de vida, 2018. *Formação* (Online), v. 27, n.51, p. 65-83, 2020. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/6794/5769>. Acesso em: 26 nov. 2020.

FIGUEIREDO, N. J. V. *Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica – estudo de caso*. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de pós-graduação em energia, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-11082011-092549/publico/NatalieFigueiredo.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2021.

FREITAS, L. C. F. et al. Avaliação econômica e do potencial energético do biogás de aterro em Campinas – SP. *Pesquisa, sociedade e desenvolvimento*, v. 08, n. 06, mar. 2019. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/788>. Acesso em: 11 set. 2020.

FONTANA, Guilherme. et al. *G1 mostra a queda do poder de compra de R\$ 200 em um ano – G1*, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/03/25/g1-mostra-a-queda-do-poder-de-compra-de-r-200-em-um-ano.ghtml>. Acesso em: 10 maio 2021.

GALLI, D. P. *Sistema de captação de chorume em aterro sanitário*. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – UNIDERP, Campo Grande. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/02/PAULA-DIAS-GALLI.pdf>. Acesso em: 02 out. 2020.

GOTARDO, O. C. *Avaliação da influência do tempo de aterramento dos resíduos domiciliares com a vazão e a composição dos gases gerados no aterro sanitário de Rio Claro – SP*. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

HUMBERT, G. L. H.; FILHO, F. K. A parceria pública privada (PPP) na gestão e destinação final de resíduos sólidos: alternativa juridicamente válida, eficiente e sustentável. *Fórum de Contratação e Gestão Pública*, Belo Horizonte, ano 19, n. 219, p. 24-35, mar. 2020.

KONRAD, O. et al. *Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano*.

Lajeado: Ed. da Univates, 2016. Disponível em: https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/176/pdf_176.pdf. Acesso em: 12 nov. 2020.

MACEDO, M. B. P. *Avaliação do potencial de geração de biogás no aterro controlado do jôquei clube de*

Brasília/DF. 2019. Tese de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em:

https://www.bdm.unb.br/bitstream/10483/22675/1/2019_MariaBeatrizDePaulaMacedo_tcc.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

MARQUÊS, M. S. *Qualidade ambiental e estudo da produção e aproveitamento energético do biogás produzido pelo aterro sanitário de Palmas – TO*. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –

Campus universitário de Palmas, Universidade Federal do Tocantins, Palmas. Disponível em:

<http://200.129.179.47/bitstream/11612/1059/1/Marcel%20Sousa%20Marques%20-%20Disserta%20c3%a7%20c3%a3o.pdf>. Acesso em: 11 set. 2020.

MONTAGNA, B. T. Biogás oriundo de aterro sanitário como fonte alternativa e renovável de energia. *Revista técnico-científica do CREA-PR*, 4º ed., jun. 2016. Disponível em:

<http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/sistema/index.php/revista/article/view/85>. Acesso em: 12 nov. 2020.

MOREIRA, F. G. S. *Emissões fugitivas de biogás em célula de aterro sanitário*. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de tecnologia e recursos naturais,

Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. Disponível em:

<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/1593/FRANCISCO%20GLERSON%20DOS%20SANTOS%20MOREIRA%20-%20e2%80%93%20DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20-%2028PPGEEI%29%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 nov. 2020.

NASCIMENTO, C. M. T.; CRUZ, M. L. B. Resíduos sólidos: presença e ameaça no espaço geográfico. *GeoTextos*, v. 13, n. 2, p. 183-206, dez. 2017. Disponível em:

<https://portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/24581/15461>. Acesso em: 20 nov. 2020.

NETO, F. G.; GELINSKI, C. R. O. G.; JUNIOR, E. G. *A contribuição catarinense para a redução de gases de efeito estufa: lei do biogás*. *Revista catarinense de economia*, v. 3, n. 1, p. 56-73, 2019.

Disponível em: <http://www.apec.pro.br/rce/index.php/rce/article/view/60/42>. Acesso em: 20 nov. 2020.

NOVA IGUAÇU, *Prefeitura Municipal de Nova Iguaçu inaugura usina de produção de energia do lixo*. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em:

<http://www.novaiguacu.rj.gov.br/semadetur/2019/08/22/nova-iguacu-inaugura-usina-de-producao-de-energia-do-lixo/>. Acesso em: 08 mai. 2021.

PAINI, V. *Geração de biogás a partir da utilização de resíduos orgânicos da indústria alimentícia do ramo de candies*. 2017. Tese de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do

Taquari, UNIVATES, Lajeado. Disponível em:

<https://univates.br/bdu/bitstream/10737/1914/1/VINICIUS%20PAINI.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2020.

OLIVEIRA, Kainã et al. Fim dos lixões é adiado por falta de comprometimento dos municípios. *Jornal da USP*, 2020. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/fim-dos-lixoes-e-adiado-por-falta-de-compromisso-dos-municipios/#:~:text=A%20principal%20mudan%C3%A7a%20feita%20pelo,de%202022%20co>

[mo%20prazo%20final](https://jornal.usp.br/atualidades/fim-dos-lixoes-e-adiado-por-falta-de-compromisso-dos-municipios/#:~:text=A%20principal%20mudan%C3%A7a%20feita%20pelo,de%202022%20co). Acesso em: 10 maio 2021.

OLIVEIRA, Kelly. *Salário mínimo passa a valer R\$ 1,1 mil a partir desta sexta-feira*. 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-01/salario-minimo-passa-valer-r-1100-partir-desta-sexta-feira#:~:text=Sal%C3%A1rio%20m%C3%ADnimo%20passa%20a%20valer,desta%20sexta%20Dfeira%20%7C%20Ag%C3%Aancia%20Brasil>. Acesso em: 10 maio 2021.

PEREIRA, C. S. *Análise de viabilidade econômica na utilização de biogás para geração de energia e obtenção de créditos de carbono em um aterro sanitário do estado de Rondônia*. 2018. Tese de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Cacol. Disponível em: <https://ri.unir.br/jspui/bitstream/123456789/2356/1/CAIQUE%20SANTANA.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2020

PINÃS, J. A. V. et al. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). *R. Bras. Est. Pop.*, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 175-188, jan./abr. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbepop/v33n1/0102-3098-rbepop-33-01-0175.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

PRESTES, J. G. *Avaliação da Eficácia do Tratamento do lixiviado produzido no aterro sanitário da Caximba usando indicadores biológicos de *Diplodon parodizii* e *Corbicula flumínea**. 2019. Dissertação (Especialização em Ecologia e Conservação) – Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/61879/R%20-%20D%20-%20JULIANI%20GISELLI%20PRESTES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 mai. 2021.

ROCHA, C. P.; CALDEIRA, M. V. M. Avaliação da sustentabilidade do processo construtivo dos aterros sanitários no estado do Tocantins. *Semana acadêmica – Revista científica*, 2019. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_avaliacao_na_sustentabilidade_da_construcao_de_aterros.pdf. Acesso em: 08 mai. 2021.

SANTANA, M. S. A. *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos do futuro aterro sanitário sediado no município de Arapiraca/AL*. 2016. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió. Disponível em: <http://200.17.114.109/bitstream/riufal/5331/1/Aproveitamento%20energ%C3%A9tico%20dos%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20urbanos%20do%20futuro%20aterro%20sanit%C3%A1rio%20sediado%20no%20munic%C3%ADpio%20de%20ArapiracaAL.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

SANTOS, A. C. *Geração de metano devido à digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos – estudo de caso do aterro sanitário metropolitano centro, Salvador – BA*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/10079/1/Atila.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2021.

SANTOS, A. P.; SILVA, E. A. *Análise e dimensionamento para implantação de um aterro sanitário para as cidades de Jaraguá, Jesópolis e São Francisco de Goiás*. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário Unievangélica, Anápolis. Disponível em: http://45.4.96.19/bitstream/aee/813/1/20182_TCC_Adrielle%20e%20Eliane.pdf. Acesso em: 23 set. 2020.

SANTOS, R. B.; LIMA, A. K. C. Análise comparativa do biogás: processo em biodigestores e de aterro sanitário. *Revista Eletrônica de Energia*, v. 6, n. 1, p. 48-57, jan./dez. 2016. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/viewFile/4285/3062>. Acesso em: 12 nov. 2020.

SILVA, A. L. F. *Potencial de aproveitamento energético do biogás produzido no aterro sanitário metropolitano de Natal*. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Centro de tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SILVA, G. et al. Avaliação da área de disposição final de resíduos sólidos de um município de pequeno porte mediante os critérios técnicos e ambientais. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, [S.l.], v. 08, n. 61, 2020. Disponível em: https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/articloe/viewFile/2414/2239. Acesso em: 19 nov. 2020.

SOUZA, D. T. et al. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e lodo de fossa séptica com emprego de geobag: estudo de laboratório e de campo. *Eng. San. Amb.*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p. 1127-1137, nov./dez. 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000601127&lang=pt. Acesso em: 10 set. 2020.

SOUZA, S. N. M. *Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural*. Cascavel, Paraná: Unioeste, 2016.

SUMI, E. M. *Estudo hidrogeológico de um aterro sanitário instalado em uma antiga área de disposição irregular de resíduos sólidos*. 2009. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44138/tde-08092009-142956/publico/EMS.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2021.

TAVARES, R. O. *Estudo do potencial energético nos aterros sanitários do Brasil*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7213/1/CP_COELT_2018_2_23.pdf. Acesso em: 08 mai. 2021.

OLIVEIRA, Kaynã et al. *Fim dos lixões é adiado por falta de comprometimento dos municípios*. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/fim-dos-lixoes-e-adiado-por-falta-de-compromisso-dos-municipios/#:~:text=A%20principal%20mudan%C3%A7a%20feita%20pelo,de%202022%20co mo%20prazo%20final>.

VIANA, F. L. et al. Proposta de pré-projeto de dimensionamento de aterro sanitário para o município de Esperantinópolis – MA. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 06, n. 03, p. 11862-11891, mar. 2020.

VIANA, J. A. R. et al. *Manual de fiscalização de aterros sanitários*. Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH (Org.), Pernambuco, 2018. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Manual_de_Fiscalizacao_de%20aterros_sanitarios_CPRH.pdf;4901;20181011.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.

WAGNER, L. G. et al. *Avaliação da eficiência da queima de biogás proveniente do tratamento de esgoto utilizando um queimador enclausurado*. In: Congresso ABES, 2017, São Paulo. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/09/biogas-ratamento-esgoto-queimador-enclausulado.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

1 SANTANA, Jeferson Santos. E-mail: jeffquimico@gmail.com;

2 GONÇALO, Alexia Sabino. E-mail: alexiasabino@hotmail.com;

3 SILVA, Amanda Emilly Barreto. E-mail: amanda.emillybs@gmail.com;

4 ABREU, Karoline. E-mail: karool.abreeu@hotmail.com;

5 LIMA, Sara Feu de. E-mail: sara.feu@hotmail.com