

DIMENSIONAMENTO DE UM REATOR ANAERÓBIO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE TERESINA

ALENCAR NETO, Martins Antonio de¹ (martinet07@hotmail.com); BRAUNA, Carlos Henrique da Costa² (coldways_1@hotmail.com); MOTA, Francisco de Assis da Silva³ (assismota@ufpi.edu.br); OLIVEIRA, Ana Kelle Araújo⁴ (teresina.aterro1@litucera.com.br)

¹Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil

²Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil

³Universidade Federal do Piauí (UFPI), Brasil

⁴Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEMDUH), Brasil.

Resumo

Os resíduos sólidos orgânicos quando descartados de forma incorreta, são considerados um problema para o meio ambiente e um grande desafio para a sustentabilidade, no presente trabalho foi avaliada a viabilidade da implantação de um sistema de digestão anaeróbia de resíduos sólidos provenientes do Aterro Sanitário de Teresina, e, ainda se determinou o potencial de geração de energia através do biogás produzido. Os resíduos utilizados foram podas de capina como substrato e lodo proveniente do tratamento do lixiviado do aterro. Determinado o substrato, e o inóculo, realizou-se análises laboratoriais para caracterizar ambos. O dimensionamento do sistema e estimativa energética valeu-se de dados fornecidas pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEMDUH). No projeto os reatores dimensionados possuem formato cilíndrico com largura e altura de 9,0m e 18,5m respectivamente. Desta forma, foi obtido volume de 1176,91 m³, sendo 152,78 m³ reservados para o biogás e 1024,23 m³ para degradação do material em seu interior. Assim foi possível estimar que o volume 103,375 m³ de biogás com potencial de geração de 669,06 kWh de energia elétrica por batelada em um único reator. Uma vez que, foram dimensionados 18 reatores, a produção total, estimada de biogás é 1860,75 m³ e 12043,19kWh de energia elétrica. Sob esse prisma o uso da digestão anaeróbia nesse reduz a matéria orgânica presente no substrato e inóculo em aproximadamente 50% gerando gás com valor econômico e material digerido de classe A passível de reaproveitamento futuro como biossólido.

Palavras-chave: resíduos sólidos, digestão anaeróbia, aterro sanitário, biogás

1. . INTRODUÇÃO

Na sociedade brasileira contemporânea os resíduos sólidos urbanos (RSU) geram transtornos, uma vez que ano após ano, a população, cada vez mais urbana, cresce, conseqüentemente, produz mais RSU, tal crescimento teve sua curva acentuada durante a pandemia de COVID-19 (FELISARDO, 2021). Em 2 de agosto de 2010 foi sancionada a lei nº 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a referida lei tem como seus objetivos a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

O aterro sanitário é a forma de disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, enquanto os lixões a céu aberto devem ter suas atividades encerradas pois não estão de acordo com a PNRS, dessa forma o impacto ambiental seria reduzido e inclusive o risco de proliferação de doenças.

Uma das formas de prolongar a vida de aterros sanitários é o tratamento dos resíduos sólidos, havendo uma subdivisão em três tipos, físicos, químicos e biológicos. Compostagem e biometanização são exemplos de tratamentos biológicos, sendo um aeróbio e outro anaeróbio respectivamente, em ambos os casos há geração de um produto com potencial valor econômico (CULI, 2019).

A biometanização é o processo biológico realizado por micro-organismos, que por sua vez produzem gás metano que tem potencial de geração de energia e outros gases em menor quantidade, constituindo o biogás. Esse gás pode ser utilizado para geração de energia elétrica, geralmente em processos termoelétricos, substituindo combustíveis fósseis por uma fonte renovável.

Através da digestão anaeróbia é ainda possível diminuir a quantidade de rejeitos levados ao aterro sanitário, pois durante o processo temos a destruição de sólidos voláteis (SV), e consequente geração de um composto mais estável (ANDREOLI et al., 2014)

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos 2021, divulgado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), cerca 45,3% dos RSU são da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) isso no âmbito nacional (ABRELPE, 2021). Dessa forma essa fração pode ser usada como substrato em um biodigestor ou reator anaeróbio para produção de biogás, prolongando a vida útil do aterro sanitário, bem como minimizando o surgimento de lixiviado, subproduto da disposição de RSU que necessita de tratamento antes de sua disposição final.

O aterro sanitário de Teresina recebe todos os dias uma média de 13,84 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) dentre os quais 51,75% é matéria orgânica passível de biodegradação, que poderiam ser utilizados como substratos para digestão anaeróbia (SOUSA, 2018). Dessa forma ocorrendo a diminuição de rejeitos levados ao aterro, e consequente produção de energia renovável.

Diante do exposto, o trabalho tem por objetivo dimensionar reatores anaeróbios para os resíduos sólidos orgânicos biodegradáveis recebidos pelo Aterro Sanitário de Teresina. Tendo, estes, como substrato a poda de capina recebida, o lodo de tratamento do lixiviado como inoculante e, a partir do biogás gerado, determinar o potencial de geração de energia através desse sistema.

2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado no aterro sanitário, em Teresina durante o mês de fevereiro de 2023. Localizado no bairro Santo Antonio, na zona urbana, com latitude 5°9'44,379''S e longitude 42°45'24,424'' W. O Aterro Sanitário é composto por duas células: Aterro Controlado em funcionamento, que corresponde a célula 1, e a área de implantação do Aterro Sanitário, célula 2

O aterro sanitário recebe majoritariamente resíduos da classe 2A – Não inertes que de acordo com a SEMDUH são: resíduos alimentares, resíduos de jardim, outros resíduos orgânicos, papel, papelão, jornal/revista/panfletos, polietileno tereftalato (PET), polietileno de alta

densidade (PEAD), policloreto de Vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), outros plásticos, vidro, compósitos, têxteis, sanitários, cobre, alumínio, outros metais/ligas, eletroeletrônicos, couro/borracha, resíduos perigosos, outros resíduos.

O tratamento do lixiviado coletado no aterro sanitário é feito através de coagulação com sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e como auxiliar floculante um polímero aniônico. A separação do lixiviado tratado em relação ao lodo é realizado através de um flutuador de ar dissolvido. O lodo é então armazenado em leitos de secagem.

2.1. Caracterização do Substrato e do Inóculo

Foram utilizados resíduos sólidos destinados ou gerados no aterro sanitário, a fim de buscar uma forma de reaproveitamento dos mesmos, levando em conta propriedades complementares entre eles.

O substrato escolhido foi a capina podada presente no resíduo sólido que chega diariamente no aterro sanitário de Teresina. A quantificação desse Resíduos sólidos foi fornecida pela SEMDUH.

O inóculo utilizado para dimensionamento foi o lodo produzido no processo de tratamento lixiviado do próprio aterro, a escolha do inóculo citado deve-se a quantidade gerada no próprio aterro, o que acarreta em passivo ambiental significativo para o município de Teresina, bem como a provável presença de microrganismos anaeróbios no mesmo conforme apresentado no trabalho de Figueredo (2011). De acordo com a metodologia de Noronha (2022), a vazão de lixiviado tratada é de $25\text{m}^3/\text{h}$. Para a determinação do lodo gerado, foi utilizado a metodologia de Cabral et al. (2016), baseada no modelo empírico para estações de tratamento de água (ETA) que empregam sulfato de alumínio como coagulante. A fórmula utilizada é expressa na Equação 1:

$$M_s = \frac{(k_1 D + SST)}{1000} * Q * t \quad (1)$$

Onde:

M_s = produção de sólidos (kg de sólidos por m^3 de lixiviado tratado);

D = dose de sulfato de alumínio (mg L^{-1});

SST = concentração de sólidos suspensos totais (mg L^{-1});

Q = vazão de lixiviado tratado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

t = período de acúmulo de lodo (h);

k_1 = relação estequiométrica entre a dose de coagulante e a formação do precipitado de hidróxido (adimensional);

Para este trabalho, o coeficiente k_1 , que é um fator que depende do número de moléculas de efluente relacionada a cada molécula de sulfato de alumínio foi avaliado entre as variações de 0,23 a 0,26, conforme recomendação da metodologia em questão.

2.2. Retirada e Análises de Amostras

Nesta etapa do desenvolvimento, a caracterização física tanto do inóculo quanto do substrato foi realizada na condição úmida, através da coleta de amostras para ensaios retiradas de caminhões de coleta e do leite de secagem, os resíduos passaram por triagem e pesagem.

As análises foram realizadas, em duplicatas, nos Laboratório de Saneamento do Centro de Tecnologia (CT) e no Laboratório de Análise de Solos (LASO) do Centro de Ciências Agrícolas (CCA) da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Ambos os resíduos utilizados foram caracterizados através dos parâmetros mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de caracterização e unidades analisados

Parâmetros	Unidades	Métodos	Referências
Sólidos Totais (ST)	mg/L ou %	Gravimétrico	NBR 10664
Sólidos Voláteis (SV)	mg/L ou%	Gravimétrico	NBR 10664
Potencial de Hidrogênio (pH)	Adimensional	4500-H-B	APHA (2005)
Coliformes Fecais	NPM 100mL ⁻¹	9223B	Colilert
Coliformes Totais	NPM 100mL ⁻¹	9223B	Colilert
Carbono orgânico total	g kg ⁻¹	COL	APHA (2005)
Nitrogênio	g kg ⁻¹	FMN	CETESB (1999)

Fonte: Autor (2023).

2.3. Dimensionamento dos Reatores Anaeróbios

Foram dimensionados reatores anaeróbios de baixa carga com fluxo em batelada com base nos estudos de Andreoli *et al.* (2014), conforme os parâmetros mostrados na tabela 2, a definição do número de reatores foi igual ao de dias de uma batelada com intuito de usar todo inóculo gerado.

Tabela 2. Parâmetros para dimensionamento de digestores anaeróbios

Parâmetro	Valores típicos
Tempo de detenção (dia)	18 - 25
Carga de sólidos totais (kg ST/m ³ .d)	1,0 - 2,0
Carga orgânica volumétrica (kg SV/m ³ .d)	0,8 - 1,6

Fonte: Adaptado de ¹Andreoli (2014); ²Megido (2020).

De posse dos dados quantitativos de resíduos sólidos orgânicos presente no aterro sanitário de Teresina e considerando uma relação substrato/Inóculo de 2/1, foi possível determinar o volume necessário para cada reator, a partir dos parâmetros supracitados e da Equação (2).

$$V = \frac{COA \text{ (kg SV/dia)}}{COV \text{ (kg SV/m}^3 \cdot \text{dia)}} \quad (2)$$

Onde:

V = Volume do reator (m³)

COA = Carga Orgânica Afluente (kgSV/dia)

COV = Carga Orgânica Volumétrica (kgSV/m³ dia)

Admitindo que o tempo de detenção hidráulico (TDH) é igual ao tempo de detenção de sólidos (TDS), foi verificada a conformidade com os critérios de carga de sólidos totais e o tempo de detenção e foi definido como o tempo de ciclo de uma batelada.

A COA, foi obtida através de análise de uma mistura, entre substrato e inóculo, em massa, de forma que quantidade de SV de cada componente obedeça a relação de substrato/inóculo (S/I) de 2/1. As análises da razão de S/I de 2/1 apresentam maior produção de metano, devido a estabilidade do sistema, de acordo estudo de Demichelis *et al.* (2022).

Já para dimensionamento do reator usou-se a massa gerada diariamente de lodo e poda seguindo a relação S/I para enfim determinar a massa que será utilizada diariamente como vazão de entrada no reator.

A geometria adotada foi a cilíndrica de fundo cônico que contribui para remoção de sólidos e tendo execução mais simples do que o de formato ovalado. O diâmetro girará em torno de 8 a 40 m e inclinação de 1:2 no fundo, tradicionalmente a razão altura/diâmetro varia de 1/2 a 1/3, como recomendado por Andreoli *et al.* (2014).

A produção de biogás foi estimada com base nos dados de alimentação dos reatores, o gás produzido no interior dos digestores anaeróbio é estimado com base nos parâmetros mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros para a quantificação da produção de biogás via digestão anaeróbia.

Parâmetro	Valores típicos
Eficiência de redução de sólidos voláteis (%SV)	40 - 55
Produção de biogás (m ³ /kg SV destruído)	0,8 - 1,1
Teor de metano existente no biogás (%)	62 - 70
Valor calorífico do gás (MJ/m ³)	23,3
Poder calorífico do lodo (MJ/kgST)	15 – 25
Poder calorífico do lodo digerido (MJ/kgST)	8 – 15

Fonte: Andreoli *et al.* (2014)

2.4. Estimativa de Produção Energética

A partir da obtenção do volume de biogás produzido, e utilizando o poder calorífico conforme Andreoli *et al.* (2014), obteve-se a carga energética conforme Equação 3, que por sua vez pode ser convertido em energia elétrica conforme Equação 4, seguindo a metodologia de Mota (2019).

$$CE = PCI \times V \quad (3)$$

Onde:

CE = Carga Energética (MJ)

PCI = Poder Calorífico (MJ/m³)

V = Volume de Biogás (m³)

$$EE = \frac{CE}{3600} \quad (4)$$

Onde:

EE = Energia Elétrica (KWh)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da quantificação da geração de podas levadas ao aterro foi obtida uma média de 375,9 t/dia desse material. A quantificação da produção de lodo pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4. Quantificação do lodo gerado no aterro

Parâmetro	Unidade	Valor
D	mg L ⁻¹	6500
SST	mg L ⁻¹	4445
Q	M3 s ⁻¹	25
t	h	1
K1	-	0,25
Ms	Kg	3642

Fonte: Autor (2023).

Os valores dos parâmetros para caracterização físico-química analisados foram inseridos na Tabela 5 é de suma importância frisar que os dados apresentados a seguir são valores médios das análises realizadas.

Tabela 5. Caracterização dos substratos utilizados.

Parâmetro	Unidade	Lodo	Poda
Sólidos Totais	mg/L	32,64	33,92
Sólidos Voláteis	mg/L	8,74	15,01
pH	-	7,41	-
Coliformes Totais	NMP/100mL	3,6E+6	-
Coliformes Fecais	NMP/100mL	5,07E+2	-
Carbono	g/kg	117,57	349,02
Nitrogênio	g/kg	11,34	16,52

Fonte: Autor (2023).

Pode-se verificar na tabela apresentada que o pH do lodo apresenta um valor dentro da faixa ideal para a operação do reator se comparado ao trabalho de Willians (2005). Os valores de coliformes obtidos não inviabilizam outros usos em conformidade com a legislação de reaproveitamento, Resolução nº 375 (CONAMA, 2006), portanto esse resíduo é classificado como Classe A uma vez que possui valor menor que 10^3 NMP/g ST.

Observou-se nesse trabalho que a quantidade de poda que é destinada para o Aterro é consideravelmente grande, quando comparado à produção no sistema de tratamento do lixiviado (375,9 t/dia e 3642 kg/dia para a poda e para o lodo, respectivamente), resultados semelhantes aos de Oliveira (2019).

A quantidade de poda destinada diariamente no Aterro Sanitário de Teresina, em sólidos voláteis, é de 19138,6 kg, para obter se a relação substrato/inóculo (S/I) de 2/1 em sólidos voláteis, foi necessário utilizar apenas 1,12% (215,93kg) de poda e adicionar 107,92kg de lodo. Como o lodo possui 67,36 % de umidade, a quantidade total de lodo a ser utilizada será de 3641,99 kg de matéria bruta.

3.1. DIMENSIONAMENTO DO REATOR.

Na Figura Tabela 6 é mostrada a caracterização da mistura de resíduos afluente do reator.

Tabela 6. Caracterização do resíduo afluente do reator de sólidos

Substrato	Carga diária (kg dia ⁻¹)	Umidade (%)	ST (%)	ST (kg dia ⁻¹)	SV (% ST)	SV (kg dia ⁻¹)
Poda	4241,14	66,08	33,92	1438,59	15,01	215,93
Lodo	3641,99	67,36	32,64	1188,74	8,74	107,92
Mistura (S/I = 2/1 em SV)	7883,13	74,16	25,84	2037,0	10,15	206,75

ST – Sólidos Totais; SV – Sólidos Voláteis; Mistura – Poda + Lodo.

Fonte: Autor (2023).

De posse dos dados apresentados na tabela 6, foi possível calcular a porcentagem de sólidos voláteis dos integrantes da mistura, bem como também da própria mistura dos resíduos. Esse cálculo foi feito com base na quantidade de sólidos voláteis obtidos individualmente para o substrato e inóculo utilizados.

Adotando um carregamento de $1,4 \text{ kg SV m}^{-3} \text{ d}^{-1}$, e utilizando a Equação (2), calculou-se o volume necessário para o reator de sólidos, com base na COV, o que resultou num volume de $147,68 \text{ m}^3$.

Foi verificado também o volume de reator que atendesse os parâmetros de COV em relação aos sólidos totais, mais um acréscimo de 15% no volume para armazenamento de biogás. O volume resultante que atende as recomendações citadas é de $1171,28 \text{ m}^3$.

A mistura dos resíduos afluentes proveniente do Aterro Sanitário de Teresina possui uma concentração igual a 25,84% ST, conseqüentemente será necessário acrescentar água à mistura a fim de atingir os parâmetros mostrados. admitindo-se uma concentração de 8% de sólidos totais, será necessária a adição de $17,58 \text{ m}^3$ de água para que se atingisse essa concentração, assim como constato por Roos (2004) em seu estudo.

Admitindo um TDH de 18 dias é necessário um igual número de reatores para adequar o fluxo em batelada, de forma que se utilize todo lodo gerado diariamente.

Admitiu-se reatores de geometria cilíndrica, e relação altura / diâmetro oscilando entre 1:1 e 1:3. Para o projeto, foram utilizados reatores em formato cilíndrico a fim de facilitar a execução tendo em vista a localidade de implantação bem como os métodos construtivos disponíveis, a relação diâmetro / altura adotada foi de 1:2.

Com esses parâmetros, o reator a ser construído deverá ter diâmetro igual a 8,7m, e altura igual a 17,4m. Notou-se que, com essas dimensões, o volume real de cada reator será de $1034,37 \text{ m}^3$, sendo $152,78 \text{ m}^3$ reservados para o biogás e $881,6 \text{ m}^3$ para a digestão do substrato. A seguir na Tabela 7 é apresentado os demais dados do sistema.

Tabela 7. Características físicas e operacionais do reator de sólidos

Item	Unidade	Valor
Formato	-	Cilíndrico
Diâmetro	m	9
Altura total	m	18,5
Altura operacional	m	16,1
TDH	dia	18
Área útil	m^2	518,83

Volume operacional	m ³	1024,23
Volume total	m ³	1176,91
Volume de reserva de gás	m ³	152,78
Carga orgânica afluyente	Kg/batelada	7883,13
Produção de biogás	m ³	103,375

Fonte: Autor (2023).

A produção de biogás dos reatores dimensionados, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Produção de biogás e parâmetros envolvidos

Parâmetro	Unidade	Valor
Eficiência na redução de SV	%SV	50%
Produção de biogás por SV	m ³ .kg ⁻¹ SV destruído	1,0
Poder calorífico do lodo	MJ.Kg ⁻¹ ST	23
Poder calorífico do lodo digerido	MJ.kg ⁻¹ ST	13
Teor de metano existente no biogás	%CH ₄	66%
SV destruído	Kg. SV destruído	103,375
Metano	m ³	68,22

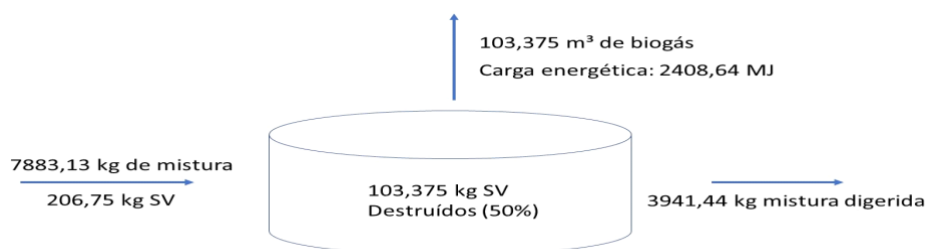
Fonte: Autor (2023).

Vale ressaltar que procedimentos para purificar o metano produzido no reator são necessários. Andreoli (2014) afirma que, o biogás com aproximadamente 66% de metano apresenta como valor de poder calorífico o valor de 23,3 MJ/m³ e densidade igual a 1,024kg. m⁻³. Dessa forma, temos que ao final de uma batelada do reator irá produzir uma carga de 105,856 Kg de biogás. Ou seja, o um reator poderá produzir, em termos de energia, uma carga energética de 2408,64 MJ de energia. Devido a produção de um volume de 103,37 m³ de Biogás.

Vale mencionar que essa estimativa de metano é fundamentada no trabalho do Andreoli que utiliza lodo proveniente de sistemas biológicos, a presença de metais pode inibir a biodegradabilidade durante digestão anaeróbia pois torna o meio toxico que por sua vez acarreta na perda de eficiência, Gomes (2010) em seu estudo constatou que o lixiviado gerado possui elevado teor de metais pesados. Recomenda-se que trabalhos futuros busquem determinar a concentração de metais pesados presentes no lodo resultante do tratamento de lixiviado através de processo químico.

Para efeito do balanço de massa foi utilizado parâmetros do lodo de esgoto, segunda a metodologia do Andreoli (2014), dessa forma foi possível estimar a redução de matéria orgânica após uma batelada (Figura 1). Com essa redução apenas 49,99% do resíduo sólido iria para disposição final ou reaproveitamento via compostagem.

Figura 1. Balanço de massa em reator anaeróbio



Fonte: Autor (2023).

Considerando que após uma batelada obtém-se o volume estimado de biogás, dessa forma quando todos os reatores estiverem em funcionamento será possível estimar a energia gerada diariamente, usando um gerador de energia tipo HSB60 ou similar, conforme metodologia de Dalpaz (2019). Os valores da geração de energia dos reatores são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Energia gerada com a combustão do Biogás.

Equipamento	Consumo diário de Biogás (m ³)	Energia gerada (MJ)	Energia gerada (kWh)	Energia gerada pelo conjunto (kWh)
Gerador de energia HSB60	103,375	2408,63	669,06 ⁽¹⁾	12043,19

⁽¹⁾ Valor obtido através da 1Wh = 3600J, Zank (2020).

Fonte: Autor, (2023).

Com a produção de 4241,14 kg diários de podas e 3641,99 kg diários de lodo, através do sistema dimensionado é possível gerar 12043,19 kwh de energia elétrica sendo superior ao obtido por Andrade (2022), que pode ser reaproveitado inclusive no próprio aterro sanitário, e até no sistema de tratamento do lixiviado, que usa aeradores e sopradores de ar, que necessitam de energia elétrica para funcionamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi mostrado a quantificação da produção de lodo diária gerado no tratamento do lixiviado, 3641,99 kg, esse resíduo sendo proveniente da degradação de resíduo sólidos orgânicos pode possuir microrgânicos que contribuem para digestão anaeróbia. Utilizado como inóculo dispensaria a remoção diária para sua disposição final, dando-lhe uma reutilização que por sua vez produz como produto o biogás que possui valor

econômico e conseqüentemente redução da matéria orgânica em 49,99% contribuindo por consequência com a vida útil do Aterro Sanitário.

No sistema de produção de biogás dimensionado para o Aterro Sanitário de Teresina desde trabalho serviu para evidenciar que com reatores anaeróbios, cerca 1,12% de poda e a totalidade do lodo de um dia foi possível produzir 103,375 m³ de gás e com todos os 18 digestores em funcionamento um volume de 1860,75 m³. Considerando que esse volume possui 66% de metano, o valor de CH₄ foi 1228,09 m³.

A energia elétrica gerada por individualmente foi de 669,06 kWh e pelo sistema completo 12043,19 kWh, sendo assim o sistema para produção de energia se mostra viável. Vale ressaltar que essa energia poderia ser vendida para a concessionária local ou utilizada dentro do próprio aterro como exemplo, para alimentar as bombas e o flotor de ar dissolvido do sistema de tratamento do lixiviado.

Caso a SEMDUH deseje processar poda e capina com biometanização, cada reator de sólidos teria um volume de 1176,91 m³, sendo 152,78 m³ reservados para o biogás e 1024,23 m³ para degradação do substrato, com o termino de uma batelada resulta em 3931,44 kg de material digerido, o mesmo pode ser reaproveitado sendo utilizado para quaisquer culturas, com exceção de pastagens e cultivo de alimentos que entrem em contato com o solo em consonância com Resolução CONAMA nº 375/2006. Para trabalhos futuros será necessário estimar custos de implantação e operação bem como estudo de viabilidade econômica e técnica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Amanda Brito Bezerra. Análise da viabilidade econômica para geração de energia elétrica através do uso de biogás gerado em aterro sanitário no estado da Paraíba. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F.; Lodo de esgoto: tratamento e disposição final. 2ª ed. V 6. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 444p.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021. São Paulo: ABRELPE.

BRASIL, Lei Nº 12.305 de 02 de agosto De 2010 - Política Nacional De Resíduos SÓLIDOS (PNRS).

BRASIL, Resolução CONAMA Nº375, DE 29 de Agosto de 2006. Critérios de e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Publicado no D.O.U. de 30 de agosto de 2006.

CABRAL, Vivian Ane Lopes; Viana, Demétrius Brito; Bastos, Rafael Kopschitz Xavier. Dimensionamento de leitos de secagem de lodo de estações de tratamento de água com emprego de modelos probabilísticos. Revista DAE, V. 64, N. 203, P. 26-47, 2016.

CULI, Mario Jose Lucero. Biodigestão da fração orgânica de resíduos sólidos em um reator de duas fases operado em bateladas sequenciais com imobilização da biomassa. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DALPAZ, Ricardo et al. Avaliação energética do biogás com diferentes percentuais de metano na produção de energia térmica e elétrica. 2019. Dissertação de Mestrado. PPGSAS; Sistemas Ambientais Sustentáveis.

DEMICHELI, F. et al. Effect of inoculum origin and substrate-inoculum ratio to enhance the anaerobic digestion of organic fraction municipal solid waste (OFMSW). *Journal of Cleaner Production*, V. 351, P. 131539, 2022.

FELISARDO, Raul José Alves; DOS SANTOS, Gláucia Nicolau. Aumento da geração de resíduos sólidos com a pandemia do COVID-19: desafios e perspectivas para a sustentabilidade. *Meio Ambiente (Brasil)*, v. 3, n. 3, 2021.

FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Verdi de. Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica-estudo de caso. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GOMES, Felipe Correia de Souza Pereira. Biometanização seca de resíduos sólidos urbanos: O estado da arte e uma análise crítica das principais tecnologias. Orientador: Sérgio Francisco de Aquino. 2010. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

MEGIDO, L. ET AL. Impact of organic loading rate and reactor design on thermophilic anaerobic digestion of mixed supermarket waste. *Waste Management*, V. 123, P. 52-59, 2020.

MOTA, Francisco AS; COSTA FILHO, JT; BARRETO, GA A extração do óleo de vísceras de tilápia do Nilo para produção de biodiesel no Brasil: uma análise econômica. *Revisões sobre Energia Renovável e Sustentável*, v. 108, p. 1 a 10 de 2019.

NORONHA, Johnnatha Carlos Carvalho. Influência da concentração do coagulante e da aeração no tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Teresina. Orientador: Carlos Henrique Da Costa Braúna. 2022. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Piauí, Bacharelado em Engenharia Civil, Teresina, 2022.

OLIVEIRA, Rebeca Borges de. Análise do gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos pela metodologia avaliação do ciclo de vida: estudo de caso sobre restaurantes no Distrito Federal. 2019.

SOUSA, Anderson do Nascimento. Indicadores socioeconômicos, geração e composição dos resíduos sólidos domiciliares da cidade de Teresina-pi: uma contribuição para gestão municipal. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

WILLIAMS, P. T. Waste treatment and disposal. John Wiley & Sons Ltd. 2ND ED. Great Britain, 2005. 308P.

ZANK, João Carlos Christmann et al. As características do biogás e avaliação de substituição de combustíveis. *Exacta*, V. 18, N. 3, P. 502-516, 2020.