

Potencial Energético do Biogás gerado em Estação de Tratamento de Esgoto

Energetic Potential of Biogas generated in Sewage Treatment Station

Rafaella Salvador Paulino^{1*}, Jonas Cruz da Silva¹, Júlio Cesar Patrocínio dos Santos¹, Paulo Henrique Brasil Filho¹

RESUMO

Devido ao aumento da demanda energética, a busca por formas alternativas de geração e um melhor aproveitamento dos recursos naturais, verificou-se um grande potencial no aproveitamento do biogás gerado nas estações de tratamento de esgoto. Buscou-se com o presente trabalho estimar a produção de biogás gerado na Estação de Tratamento de Esgoto de Guarapuava-PR (ETE Vassoural), quantificar a energia química dessa produção e apontar possíveis utilizações. Para atingir o objetivo foram compilados os dados de vazão do esgoto, DQO afluente e efluente dos anos 2017, 2018 e 2019. De posse disso foram utilizados modelos matemáticos da bibliografia para estimar a produção de biogás e os resultados foram confrontados com valores do programa computacional Probio. Os resultados encontrados mostraram que a capacidade média diária de produção de biogás variou de 1243,46 m³ a 2185,74 m³ e a quantidade de energia elétrica proveniente do aproveitamento do biogás utilizando motores de combustão interna (MCI), com eficiência de 37%, variou de 2885,37 KWh a 5140,64 KWh. Concluiu-se que a ETE em estudo apresentou considerável potencial de geração de energia através do aproveitamento do biogás.

Palavras-chave: Biogás; Aproveitamento Energético; Metano; Potencial Energético.

ABSTRACT

Due to the increase in energy demand, the search for alternative forms of generation and a better use of natural resources, there was great potential in the use of biogas generated in sewage treatment plants. The aim of the present work was to estimate the production of biogas generated in the Sewage Treatment Station of Guarapuava-PR (ETE Vassoural), to quantify the chemical energy of this production and to point out possible uses. In order to achieve the objective, the sewage flow data, influent COD and effluent from the years 2017, 2018 and 2019 were compiled. With this, mathematical models from the bibliography were used to estimate the production of biogas and the results were compared with values from the computer program Probio. The results found showed that the average daily capacity of biogas production ranged from 1243.46 m³ to 2185.74 m³ and the amount of electrical energy from the use of biogas using internal combustion engines (ICM), with an efficiency of 37%, ranged from 2885.37 kWh to 5140.64 kWh. It was concluded that the ETE under study presented considerable potential for energy generation through the use of biogas.

Keywords: biogas; Energy Use; Methane; Energetic Potential.

¹ Faculdade Guarapuava, Guarapuava, PR.

*E-mail: rafaellaspaulino@gmail.com

INTRODUÇÃO

Constata-se que desde os tempos remotos o homem utilizou os recursos naturais sem qualquer preocupação, pois esses eram abundantes e a população mundial era pequena, o que fazia com que ninguém imaginasse que eles iriam se findar, mas com o crescimento da população houve também o aumento do consumo destes recursos, podendo se observar nos dias atuais a escassez de alguns deles, principalmente daqueles que não são renováveis.

Juntamente a isso, existe o problema do aquecimento global, também denominado efeito estufa, que atualmente é considerado um dos principais problemas ambientais, pois afeta o globo como um todo. A principal causa do efeito estufa está relacionada a poluição da atmosfera por gases que são gerados através da queima de combustíveis fósseis como o carvão e o petróleo e seus derivados, utilizados como fonte de energia para vários fins (BRASIL, 2020).

Há uma relação diretamente proporcional entre o aumento da população e o volume de esgoto gerado, dessa forma, a medida que há um aumento da população das cidades ocorre um agravamento dos problemas relacionados à coleta e tratamento das águas residuárias e à saúde pública, uma vez que a falta de saneamento ou seu indevido processo tem impacto direto na saúde das pessoas (GOUVEIA, 2012).

Diante dessas situações surge o conceito de aproveitamento do biogás, uma mistura gasosa oriunda da decomposição anaeróbia de matérias orgânicas, como por exemplo, aquele presente nas estações de tratamento de esgoto, e que possui grande poder calorífico que pode ser utilizado para diversas finalidades.

REFERENCIAL TEÓRICO

Microbiologia da Digestão Anaeróbia

O biogás tem sua origem de processos biológicos onde a matéria orgânica é decomposta em meio anaeróbio, ou seja, sem a presença de oxigênio, por meio de diversos microrganismos, formando uma mistura gasosa, a qual é denominada biogás, este processo é comum na natureza ocorrendo em pântanos, fundos de lagos, etc. (SCHATTAUER et al., 2010).

Segundo Chernicharo (2007), a digestão anaeróbia é um sistema ecológico, onde diversos grupos de microrganismos, cada um com uma função essencial, trabalham interativamente na conversão de matéria orgânica. Nesse processo, a matéria orgânica é convertida em metano, gás sulfídrico, água, dióxido de carbono, amônia e há o surgimento de novas células bacterianas.

Para que haja os processos metabólicos da digestão anaeróbia são necessários a ocorrência de pelo menos três grupos distintos de microrganismos, sendo o primeiro composto por bactérias fermentativas acidogênicas, o segundo formado por bactérias acetogênicas e o terceiro formado por dois tipos de bactérias metanogênicas, as metanogênicas acetoclásticas e as hidrogenotróficas (LOBATO, 2011). Seguem os processos realizados pelos diferentes grupos de bactérias:

- Bactérias fermentativas: transformam os polímeros em monômeros, e em seguida estes em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos, aminoácidos e outros produtos.

- Bactérias acetogênicas: transformam os produtos gerados pelo primeiro grupo em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.

- Bactérias metanogênicas: este é dividido em dois grupos onde um grupo transforma o acetato em metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). O outro grupo também produz metano (CH₄), porém através da redução do dióxido de carbono (CO₂).

O processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em duas fases. Na primeira fase os compostos orgânicos complexos são transformados em compostos solúveis e em ácidos graxos voláteis. Na segunda fase, transformam os produtos gerados na primeira fase em metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), etc.

Fatores que influenciam a Digestão Aneróbia

Os diversos grupos de microrganismos responsáveis pela degradação da matéria, além de suas capacidades cinéticas específicas são suscetíveis as condições ambientais e para que haja interação é necessário manter um balanço do sistema, o qual pode ser influenciado por diversos fatores como: temperatura, pH, alcalinidade, etc. (SILVEIRA et al., 2015).

Temperatura

Segundo Chernicharo (2007), dos fatores físicos que afetam o crescimento das bactérias, a temperatura é considerada um dos mais importantes, pois os microrganismos

não são capazes de controlar sua temperatura interna, sendo esta determinada pela temperatura externa. Cada grupo de microrganismo tem sua própria faixa de temperatura ideal, onde a variação desta acima ou abaixo pode inibir o crescimento das bactérias e consequentemente a produção do biogás. Em função da temperatura ótima, os microrganismos envolvidos no processo de digestão anaeróbia se dividem em três faixas, psicrófila: entre 0 e 20 °C; mesófila: entre 20 e 40 °C e termófila: acima de 40 °C (SCHATTAUER et al., 2010).

Interações de pH, Alcalinidade e Ácidos Orgânicos

A faixa ideal de pH para o crescimento das arqueias metanogênicas (bactérias produtoras de metano) varia entre 6,8 e 7,5, contudo pode-se conseguir estabilização na produção de metano em faixas entre 6,0 e 8,0, valores abaixo de 9,0 ou acima de 8,0 podem causar a inibição do crescimento das bactérias metanogênicas e consequentemente a taxa de produção de metano (CHERNICHARO, 2007). As bactérias fermentativas possuem faixa ótima entre 5,0 e 6,0, esta diferença em relação as bactérias metanogênicas causa um dos principais problemas, uma vez que a diminuição do pH acelera o crescimento dos microrganismos fermentativos. Em contrapartida, os microrganismos consumidores de seu produto têm crescimento mais lento e são inibidos pelo aumento da acidez (SILVEIRA et al., 2015).

Se o processo receber uma sobrecarga orgânica com excesso de substratos de fácil degradação, ocorre a elevação da concentração dos metabólicos ácidos da acidogênese (ácidos orgânicos), as quais podem causar a inibição das bactérias acetogênicas e consequentemente as metanogênicas. Em situação normal o valor do pH é neutralizado pelo efeito tampão (capacidade de uma substância em evitar que haja mudança no pH) do carbonato e da amônia, porém, quando a capacidade de tamponamento do sistema se esgota, o valor de pH diminui. Por outro lado, pode ocorrer o aumento do pH, caso a decomposição de compostos nitrogenados libere amônia (SCHATTAUER et al., 2010).

Uma das características dos reatores anaeróbios é a vedação. Esta característica resulta na dissolução de produtos gasosos no meio líquido como o dióxido de carbono, que quando dissociado em ácido carbônico tem efeito ácido e caso a alcalinidade do meio não seja capaz de tamponar esse efeito há necessidade de aplicação de alcalinizante, para controle do pH (SILVEIRA et al., 2015).

Oxigênio

As bactérias arqueas metanogênicas necessitam de ambientes livres de oxigênio e para a maioria delas, uma quantidade pequena de oxigênio é capaz de impedir sua sobrevivência, porém mesmo no processo anaeróbico é impossível evitar que o oxigênio penetre no digestor. No entanto, as bactérias metanogênicas não cessam sua atividade e nem são inibidas, isso se deve ao fato da sua coexistência com bactérias aeróbias oriundas das etapas de degradação anteriores. Outras espécies de bactérias sobrevivem tanto em meio anaeróbico quanto em meio aeróbico são as chamadas bactérias facultativas, que consomem o oxigênio antes que este afete o crescimento das arqueas metanogênicas desde que não haja infiltração em excesso de oxigênio (SCHATTAUER et al., 2010).

Disponibilidade de Nutrientes

Segundo Chernicharo (2007), os microrganismos presentes no processo biológicos de tratamento têm necessidades específicas em relação a vitaminas, micro e macronutrientes e o crescimento e a atividade das bactérias estão relacionados com a concentração e a disponibilidade desses nutrientes em quantidades suficientes. Os esgotos domésticos, em geral, possuem concentrações adequadas de todos os tipos de nutrientes necessários ao processo, promovendo um ambiente ideal para o crescimento microbiano. A quantidade de metano gerada está diretamente relacionada com o teor de proteínas, gorduras e carboidratos presente no substrato e para que haja o máximo de produção de metano a concentração de nutrientes deve ser mantida em níveis ótimos (SCHATTAUER et al., 2010).

Inibição e Toxidade

Para Silveira et al. (2015), os compostos inibidores e tóxicos podem estar contidos no substrato ou serem liberados no decorrer do processo de degradação, onde o efeito inibidor representa uma diminuição da atividade microbiana. Neste caso o problema é reversível, porém quando o efeito é tóxico o processo é irreversível, tornando necessário o crescimento de uma nova população microbiana.

Segundo Chernicharo (2007), qualquer composto quando em excesso no processo de degradação de matéria orgânica podem ser tóxicos, isto exige um controle ou eliminação dos agentes tóxicos, para que haja um ambiente favorável ao crescimento da biomassa. Alguns micronutrientes são necessários para o crescimento das bactérias, mas quando presentes em excesso no substrato, podem ocasionar um efeito tóxico, se tratando

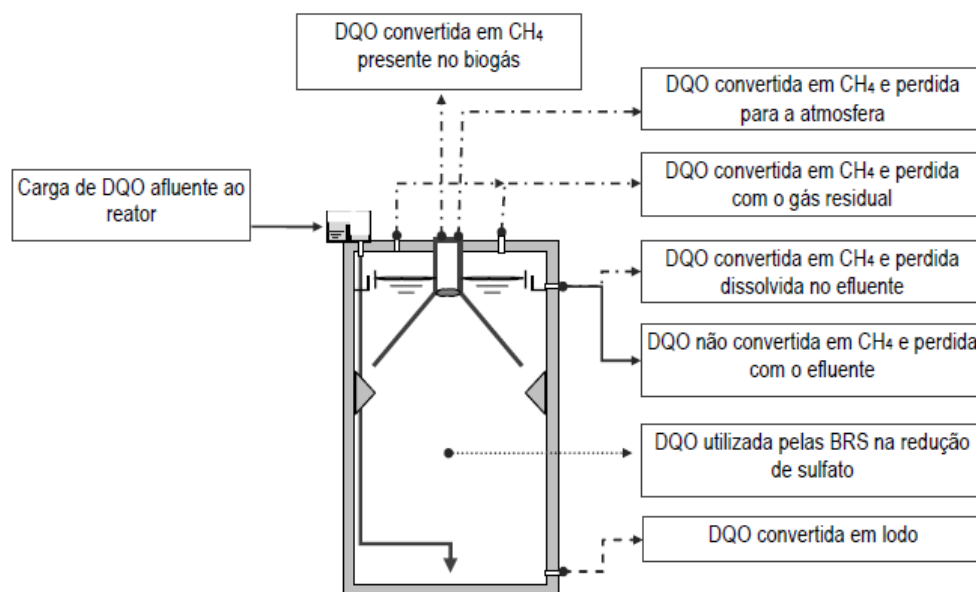
do processo anaeróbio em ETE, os elementos mais críticos são o oxigênio, o nitrogênio amoniacal, compostos sulfurados, ácidos orgânicos e os metais pesados (SILVEIRA et al., 2015).

Balanco de Massa

Segundo Helou e Vicente (2018), de maneira simples o balanço de massas se baseia na lei de conservação de massa, energia e momento, a qual afirma que nenhuma massa pode ser criada nem destruída apenas transformada. Consonante a isso para Von Sperling (2014), o estudo do balanço de massa no reator deve levar em consideração a massa que entra, a massa convertida, os produtos gerados e a massa que sai. Para van Haandel e Lettinga (1994), a degradação da matéria orgânica afluente possui quatro alternativas, sendo uma parcela convertida em lodo, uma convertida em metano, uma oxidada e outra permanece no efluente, essa teoria é muito utilizada para o estudo do balanço de massas em reatores anaeróbios.

Contudo quanto a massa convertida em metano, se tratando de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico essa teoria não leva em consideração que uma parcela significativa de metano pode ser perdido juntamente com o efluente e com o gás residual, que podem variar de 20 a 50 % de perda, nesse sentido Lobato (2011), em seu estudo propõe um balanço de massas que considera que tais parcelas e também a massa de material utilizada na redução de sulfato, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Rotas de conversão de DQO e fluxos de metano em reatores UASB



Fonte: Lobato (2011)

Para Ramos (2008), o entendimento do balanço de massas DQO é de grande importância para acompanhar a eficiência operacional dos reatores anaeróbios, bem como entender de que forma ocorre a transformação da matéria orgânica, possibilitando assim a estimativa dos compostos gerados no processo. Como por exemplo a quantidade de lodo, o volume de biogás entre outras variáveis.

METODOLOGIA

Objeto de Estudo

O local objeto de estudo do presente trabalho foi a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Vassoural, cuja localização está apresentada na Figura 2 (bairro Alto Cascavel na cidade de Guarapuava-PR). É administrada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

Figura 2 – Localização ETE vassoural



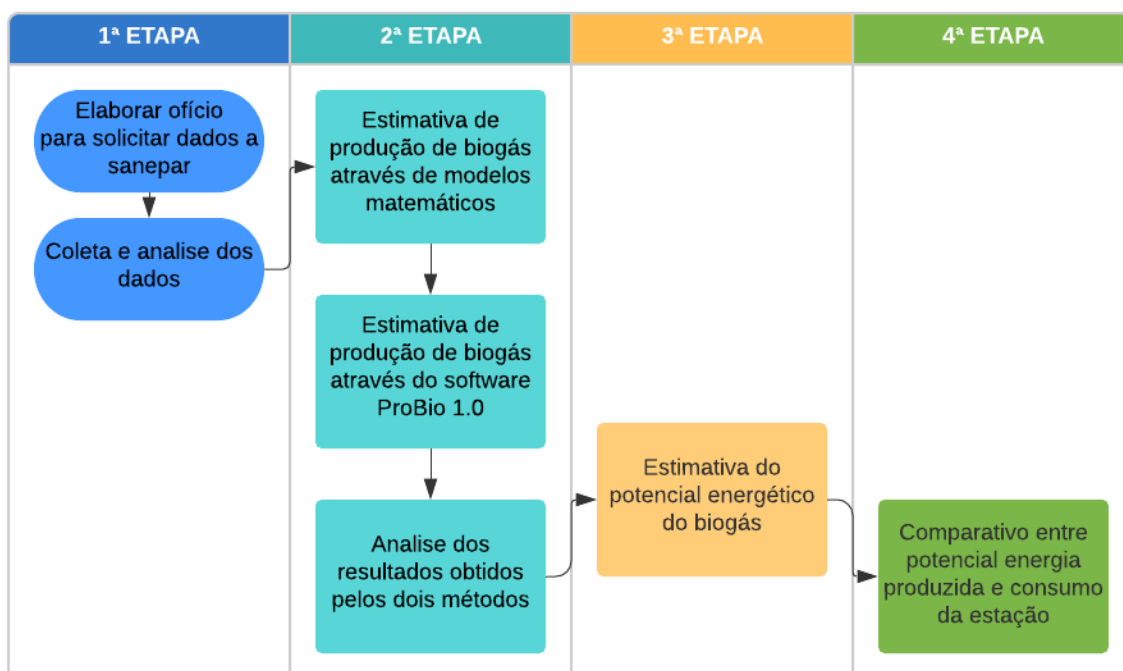
Fonte: Google Earth (2020)

A ETE vassoural atende atualmente cerca de 160 mil pessoas e realiza o tratamento de efluentes através do processo de digestão anaeróbia com capacidade de tratamento de 320 L/s de esgoto.

Procedimentos Metodológicos

Para atingir os objetivos propostos os procedimentos metodológicos foram divididos em 4 etapas, conforme fluxograma apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Fonte: Os autores (2022)

1ª etapa: Coleta e levantamento de dados

Antes da realização dos cálculos foi solicitado à SANEPAR os dados sobre as vazões afluente do esgoto e os parâmetros de entrada e saída da DQO existentes na ETE. Os dados fornecidos pela empresa, referem-se ao período de janeiro de 2017 a dezembro de 2019. Após obtenção esses foram organizados em uma planilha eletrônica do Excel a fim de obter um valor médio dos parâmetros. Para fins de cálculo foram utilizados valores típicos apresentados pela bibliografia para os dados não monitorados ou não fornecidos pela empresa.

2ª etapa: Caracterização quali-quantitativa do biogás

Após obter os dados médios dos parâmetros de vazão afluente, DQO de entrada e saída foram estimadas as parcelas de DQO removida no sistema, convertida em lodo e consumida na redução do sulfato. Com essas parcelas foi possível obter a DQO máxima convertida em CH₄ e a produção volumétrica máxima de metano. O modelo matemático que fora utilizado para a estimativa de produção de metano foi proposto por Lobato (2011).

Foi utilizado o software Probio 1.0 (de livre acesso) como forma de comparativo dos resultados encontrados através do modelo matemático. O Probio é um programa de

estimativa de produção de biogás em reatores UASB, o qual foi desenvolvido por meio de uma parceria técnica e científica entre a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

3ª etapa: Quantificação do potencial energético disponível

Para a estimativa do potencial energético químico disponível no biogás foi utilizado a equação 1.

$$PE_{REAL-CH_4} = Q_{N-REAL-CH_4} \times E_{CH_4} \quad (1)$$

Onde:

$PE_{REAL-CH_4}$ = potencial energético disponível (MJ.d⁻¹)

$Q_{N-REAL-CH_4}$ = produção real normalizada de metano (Nm³.d⁻¹)

E_{CH_4} = poder calorífico decorrente da combustão do metano (35,9 MJ.Nm⁻³)

Para o cálculo da produção real normalizada de metano foi utilizada a equação 2, com base na norma alemã DIN 1343 (1990).

$$Q_{N-REAL-CH_4} = Q_{REAL-CH_4} \times \frac{273,15}{273,15 + T_1} \times \frac{P_1 - (R_h \times P_v)}{1,01325} \quad (2)$$

Onde:

P_1 = Pressão de entrada do ar (kgf/cm²)

P_v = Pressão parcial do vapor de água (kgf/cm²)

R_h = Umidade relativa (%)

T_1 = Temperatura do gás (°C)

Após calculado a energia química disponível foi estimado a energia efetivamente aproveitada através da equação 3, a qual leva em consideração o rendimento do equipamento utilizado para a geração de energia.

$$P_{ELET} = PE_{REAL} \times 0,2778 \times \eta_{ELE} \quad (3)$$

Onde:

P_{ELET} = Potencial energético, em kWh.d⁻¹;

η_{ELE} = Rendimento do grupo motogerador.

0,2778 = Fator conversão de 1 MJ em 1 kWh.

4ª etapa: Comparativo de geração e consumo de energia elétrica por residências consideradas de baixa renda

Nesta etapa foi realizada a comparação entre a potencial energia elétrica gerada com o aproveitamento do biogás com o consumo energético de uma residência no limite máximo do consumo para enquadramento na tarifa social de energia elétrica, conforme lei 12.212 de 20 de janeiro de 2010.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados obtidos através de Modelo Matemático

As médias referentes a vazão, a DQO afluente e DQO efluente foram obtidas através de planilha eletrônica alimentada com os parâmetros monitorados e fornecidos pela SANEPAR, para as demais variáveis foram utilizados valores típicos. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados do Modelo Matemático

| PARÂMETRO | ANO | | |
|---|----------|----------|----------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| Vazão (m ³ /dia) | 19522,94 | 18512,93 | 20150,21 |
| DQO afluente (mg/L) | 568,20 | 544,70 | 410,24 |
| DQO efluente (mg/L) | 129,29 | 113,28 | 102,63 |
| Eficiência (%) | 77,24 | 79,20 | 74,98 |
| DQO removida (KgDQO/dia) | 8568,18 | 7986,52 | 6198,16 |
| DQO convertida em lodo (KgDQO/dia) | 1825,02 | 1701,13 | 1320,21 |
| Carga de SO ₄ convertida em sulfeto (kgSO ₄ /dia) | 878,53 | 833,08 | 906,76 |
| DQO utilizada pela BRS na redução de sulfato (KgDQO _{SO4} /dia) | 585,98 | 555,66 | 604,81 |
| DQO convertida em CH ₄ (KgDQO _{CH4} /dia) | 6157,18 | 5729,73 | 4273,14 |
| Produção teórica máxima de metano (m ³ /dia) | 2352,61 | 2189,28 | 1632,73 |
| Concentração de metano no biogás (%) | 69,57 | 69,43 | 68,64 |
| Produção volumétrica de biogás (m ³ /dia) | 3381,64 | 3153,22 | 2378,69 |
| Perda de metano na fase gasosa (m ³ /dia) | 117,63 | 109,46 | 81,64 |
| Outras perdas de metano na fase gasosa (m ³ /dia) | 117,63 | 109,46 | 81,64 |
| Perda de metano na fase líquida (m ³ /dia) | 596,74 | 565,89 | 615,94 |
| Produção real de metano disponível (m ³ /dia) | 1520,62 | 1404,47 | 853,51 |
| Produção volumétrica de biogás recuperado do reator (m ³ /dia) | 2185,74 | 2020,86 | 1243,46 |

Fonte: Os autores (2022)

Nota-se que no ano de 2019 houve aumento na vazão média do afluente (20150,21 m³/dia), porém a média da massa DQO afluente (410,24 mg/L) teve uma redução, em

comparação com os demais anos do estudo, fato esse que pode ocasionar uma menor produção de biogás, uma vez que a produção está diretamente relacionada com a carga orgânica do material degradado. Os valores referentes a produção volumétrica de Biogás representam a produção máxima de biogás sem levar em consideração as perdas dos gases com o efluente e com o gás residual. Para se obter o volume real de biogás foi realizada a estimativa das perdas de metano e calculado o volume real de metano retirado do reator, para fins do cálculo do potencial energético essas parcelas devem ser levadas em consideração para que não haja uma superestimativa de energia disponível.

Resultados obtidos através do Software Probio

Os dados de entrada utilizados no software foram a vazão afluente, em m³/dia e a concentração média DQO do afluente, em mg/L, para os demais parâmetros foram utilizados os mesmos valores teóricos utilizados no modelo matemático. Os resultados obtidos através do Probio estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados Probio

| PARÂMETRO | ANO | | |
|---|---------|---------|--------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| BALANÇO DE CARGAS ORGÂNICAS | | | |
| Carga DQO afluente (KgDQO/dia) | 11092,9 | 10084,0 | 8266,4 |
| Carga SO ₄ afluente (KgSO ₄ /dia) | 1171,4 | 1110,8 | 1209,0 |
| Carga DQO efluente (KgDQO/dia) | 2524,8 | 2097,5 | 2068,3 |
| Carga DQO removida (KgDQO/dia) | 8568,2 | 7986,5 | 6198,2 |
| Carga DQO utilizada na redução de SO ₄ (KgDQO/dia) | 586,0 | 555,7 | 604,8 |
| Carga DQO convertida em lodo (KgDQO _{lodo} /dia) | 1825,0 | 1701,1 | 1320,2 |
| Carga DQO convertida em CH ₄ (KgDQO- CH ₄ /dia) | 6157,2 | 5729,7 | 4273,1 |
| PRODUÇÃO DE METANO E BIOGÁS | | | |
| % de CH ₄ no biogás | 69,6 | 69,4 | 68,6 |
| Perda volumétrica de CH ₄ com o efluente (m ³ /dia) | 600,3 | 568,1 | 611,2 |
| Perda volumétrica de CH ₄ com o gás residual (m ³ /dia) | 87,6 | 81,1 | 51,1 |
| Outras perdas volumétricas de CH ₄ (m ³ /dia) | 87,6 | 81,1 | 51,1 |
| Produção real de CH ₄ no biogás (m ³ /dia) | 1577,1 | 1459,1 | 919,3 |
| Produção real de biogás (m ³ /dia) | 2266,9 | 2101,4 | 1339,4 |

Fonte: Os autores (2022)

Comparando os resultados obtidos através do software com os do modelo matemático observa-se que os resultados estão muito próximos quanto ao balanço de massas do sistema, contudo quando observado a produção de metano e biogás nota-se que no modelo matemático os resultados do volume de biogás perdido na fase gasosa são superiores aos obtidos pelo Probio e conseqüentemente o resultado para a produção de biogás será menor na estimativa do modelo matemático.

Potencial Energético Disponível

Para a estimativa do potencial energético químico disponível foi utilizada a equação 1, utilizando o valor de 35,9 MJ.Nm⁻³, para o parâmetro poder calorífico decorrente da combustão do metano (ECH₄), conforme apresentado por Chernicharo (2007). Contudo para a vazão foi necessário estimar a vazão normalizada, para isso utilizou-se da equação 2, considerando os valores de 1 atm. para a pressão, 25°C para temperatura do gás e sem presença de umidade. Os resultados estão representados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados Potencial Energético

| PARÂMETRO | ANO | | |
|--|----------|----------|----------|
| | 2017 | 2018 | 2019 |
| Produção real normalizada de metano (Nm ³ /dia) | 1393,12 | 1286,70 | 781,94 |
| Potencial energético químico disponível (MJ/dia) | 50013,01 | 46192,53 | 28071,65 |
| Energia disponível (KWh/dia) | 5140,64 | 4747,94 | 2885,37 |

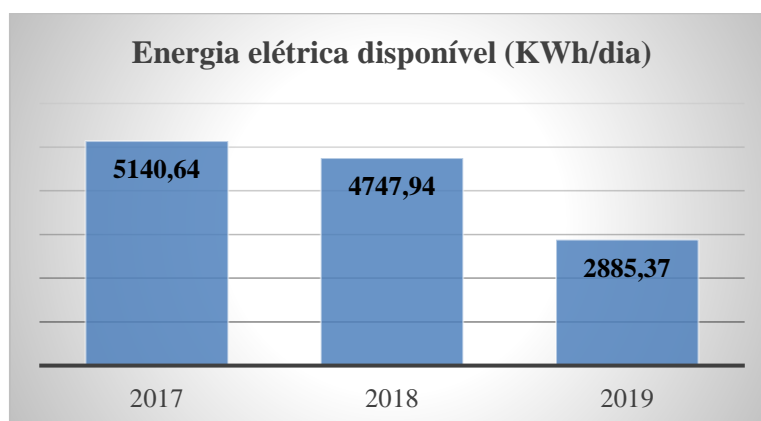
Fonte: Os autores (2022)

A energia química disponível não representa um valor absoluto pois na conversão dessa para energia elétrica ou térmica parte é dissipada e perdida, para se obter o valor real de energia disponível é necessário levar em consideração o rendimento do equipamento escolhido para a conversão. Para a estimativa da energia elétrica efetivamente convertida foi utilizado a equação 3, aplicando a eficiência média apresentada pelos MCI, que variam de 30 a 44%. Através da aplicação do modelo matemático estima-se que a ETE Vassoural possui capacidade média de produzir aproximadamente 4260 KWh/dia.

Comparação Energia produzida com Consumo Residencial

Para o ano de 2017 a estimativa de geração de energia elétrica mensal foi de 154219,20 KWh e para os anos de 2018 e 2019 foi respectivamente 142438,20 KWh e 86561,10 KWh. O Gráfico 1, apresenta os valores médios diários de energia elétrica disponível após a conversão do biogás por meio de motores de combustão interna.

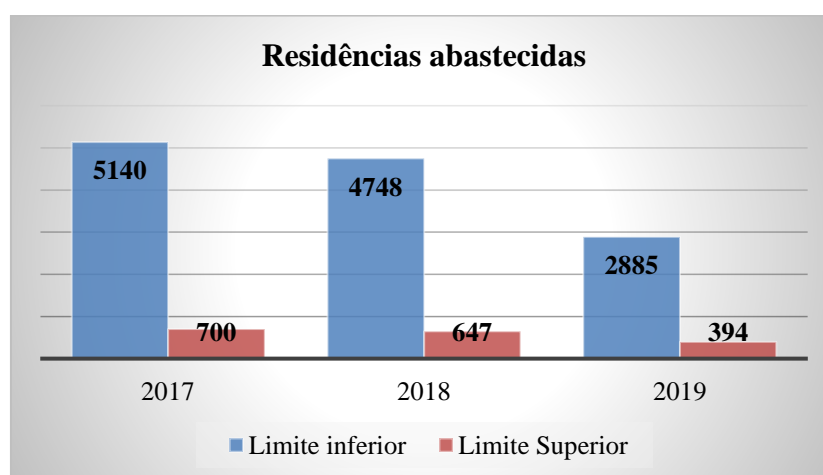
Gráfico 1 – Energia Elétrica Convertida



Fonte: Os autores (2022)

Para efeito de comparação entre energia produzida e o consumo residencial foram utilizados dois valores constantes na Lei 12.212 de 20 de janeiro de 2010, que dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica. O primeiro valor baseia-se no limite máximo de consumo para enquadramento na tarifa social de energia elétrica que é de 220 KWh/mês e o segundo leva em consideração o limite inferior que é de 30 KWh/mês. O Gráfico 2, demonstra o número estimado de residências que seriam abastecidas com o aproveitamento do biogás proveniente da ETE Vassoural.

Gráfico 2 – Residências abastecidas



Fonte: Os autores (2022)

Com base nos valores médios mensais estimados de energia produzida no ano de 2017 seria possível abastecer aproximadamente 700 casas considerando o limite superior ou 5140 moradias se utilizado como referência o limite inferior. No ano de 2018 para o

limite superior referenciado seriam abastecidas aproximadamente 647 casas e para o limite inferior cerca de 4748 e por analogia, no ano de 2019 a energia estimada seria suficiente para suprir a demanda energética de aproximadamente 394 casas para o limite superior e 2885 casas para o limite inferior.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aproveitamento energético do biogás possui vários benefícios tais como a redução de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, a diversificação na matriz energética, sendo uma energia renovável, e a utilização da energia desse gás. Diante do exposto, o aproveitamento do biogás na ETE Vassoural mostra-se interessante, pois com base na estimativa realizada essa estação apresenta considerável produção de biogás, o qual possui boa concentração de metano, proporcionando assim grande potencial energético. Contudo para uma possível implantação de um sistema de aproveitamento do biogás, seria necessário a comprovação dos valores obtidos no modelo matemático e no Probio através de coleta e análise laboratorial da composição do biogás e a realização de um estudo viabilidade econômica ficando como proposta para futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). (org.). **Energia e aquecimento global**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/energia-e-aquecimento-global>. Acesso em: 11 jun. 2020.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores Anaeróbios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2ªed Belo Horizonte - Mg: DESA-UFMG, 2007. 5 v.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 1503-1510, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232012000600014>.

HELOU, Luiz Carlos; VICENTE, Rosmeiry Vanzella. Aplicação da modelagem matemática na operação de Estações de Tratamento de Esgotos por Lodos Ativadas – o caso de Bragança Paulista. *Revista Dae*, São Paulo, v. 66, n. 213, p. 108-123, dez. 2018.

LOBATO, Livia Cristina da Silva. **APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS GERADO EM REATORES UASB TRATANDO ESGOTO**

DOMÉSTICO. 2011. 187 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte - Mg, 2011.

RAMOS, Ricardo Augusto. **Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho de reatores UASB em estações de tratamento de Esgotos no Distrito Federal.** 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SCHATTAUER, Alexander *et al.* **Guia prático do biogás: geração e utilização.** 5. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2010. 233 p. (Projeto Brasil Alemanha de fomento ao aproveitamento energético do biogás).

SILVEIRA, Bruno *et al.* **ETE: guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estação de tratamento de esgoto.** Brasília: Ministério das Cidades, 2015. (Probiogás). Projeto Brasil-Alemanha de fomento ao aproveitamento energético de biogás no Brasil.

van HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbico de esgoto. Um manual para regiões de clima quente.** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. 1994.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3a ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2014. 452p.

Recebido em: 10/01/2022

Aprovado em: 12/02/2022

Publicado em: 15/02/2022