



O USO DO BIOMETANO PRODUZIDO A PARTIR DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANEJ COMO COMBUSTÍVEL PARA OS ÔNIBUS DO MUNICÍPIO DE JAÚ

Ana Julia Baptistelli Aquino⁽¹⁾

Engenheira Química pela Faculdade Oswaldo Cruz. Especialização em Gestão Empresarial e Marketing pela Escola Superior de Publicidade e Propaganda – ESPM (cursando).

Gabriel Massayoshi Kawakoto⁽²⁾

Engenheiro Químico pela Faculdade Oswaldo Cruz. Técnico em Química pela Faculdade Oswaldo Cruz. Colaborador da Karina Indústria e Comércio de Plástico LTDA.

Endereço⁽¹⁾: Rua Laurindo de Brito, 128 - Lapa - São Paulo - São Paulo - CEP: 05078-100 - Brasil - Tel: +55 (11) 99487-8791 - E-mail: ana.ju19@gmail.com

RESUMO

O crescimento exponencial e desordenado dos grandes centros urbanos, sem implementação de infraestrutura urbana, ocasionou grandes impactos ambientais. A falta de saneamento básico causa poluição dos corpos d'água, e a poluição do ar é acarretada principalmente por poluentes emitidos a partir de veículos automotores. O grande desafio é a busca por tecnologias limpas com o uso de energia renovável. O objetivo deste trabalho é propor o aproveitamento energético do biometano, produzido na ETE, como fonte de combustível para a frota de ônibus da cidade de Jaú, São Paulo. Neste trabalho é proposto e pré-dimensionadas as seguintes unidades para o aproveitamento energético no município: biodigestores anaeróbios para produção de biogás, bolha de armazenamento de biogás, container para o enriquecimento e produção de biometano, e bombas de abastecimento de biometano. Feita a estimativa da demanda de biometano pela frota de ônibus do município e comparada à estimativa de produção de biometano, conclui-se que a produção atenderia a demanda, sendo assim, a proposta é tecnicamente viável. A análise ambiental, considerando a troca do uso de combustível diesel nos ônibus por biometano apresentou-se favorável. A partir da análise SWOT realizada, recomenda-se planos de contingência para contornar as ameaças apresentadas. Concluiu-se então pela viabilidade técnica e ambiental do aproveitamento energético do tratamento do lodo de ETE, no município.

PALAVRAS-CHAVE: Biometano, Combustível, Tratamento de esgoto.

INTRODUÇÃO

A expansão exponencial da população nos grandes centros urbanos brasileiros, aliado a falta de planejamento da infraestrutura urbana para tal crescimento, ocasionou grandes impactos ambientais dos quais, tem-se: poluição de corpos hídricos (represas, rios) devido à falta de saneamento básico; aumento da poluição do ar devido, principalmente, ao aumento da frota de automóveis, às instalações de indústrias, à falta de áreas verdes; fenômeno da inversão térmica, que dificulta a circulação do ar e aumenta os efeitos da poluição do ar; enchentes e alagamento causados por falta de adequada drenagem urbana; entre outros.

Com relação ao saneamento básico no Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019), em 2017, apenas 52,4% da população total brasileira foi atendida por coleta de esgoto, e 46% desta população foi atendida com tratamento de esgotos, ou seja, 64% de todo o esgoto gerado pela população foi lançado nos rios sem tratamento. Ainda segundo o SNIS, 2019, na região sudeste, 83,2% da população possui a coleta de esgoto, e 50,4% desta população é atendida com tratamento de esgotos. Portanto, o índice de tratamento ainda é não é adequado às demandas da população.

Segundo a CETESB (2019), nas áreas metropolitanas o problema da poluição do ar é uma das mais graves ameaças à qualidade de vida de seus habitantes, e ainda, em geral, os veículos automotores são os principais causadores dessa poluição. Ainda, de acordo com a CETESB (2019), o Brasil, como todo país em desenvolvimento, apresenta um crescimento expressivo na frota veicular de suas regiões metropolitanas.

Com a procura por fontes renováveis, foi possível chegar à produção de biometano através da digestão anaeróbia do lodo proveniente das ETEs, e com essa nova tecnologia, é possível a redução de emissão de gases para a atmosfera e

a diminuição da poluição de rios, com a expansão do tratamento de esgoto. O biometano é gerado a partir de biodegradação anaeróbia de compostos orgânicos biodegradáveis. No processo de digestão anaeróbia ocorre a conversão de matéria orgânica para metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia e novas células bacterianas, num sistema sem a presença de oxigênio.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo de caso na cidade de Jaú, no estado de São Paulo, a fim de propor o aproveitamento energético do biometano, produzido em ETE, como fonte de combustível para a frota de ônibus da cidade.

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- Estudar o sistema de tratamento dos esgotos sanitários da cidade de Jaú
- Quantificar a produção de biometano e avaliar a demanda de uso da frota de ônibus
- Estudar a viabilidade técnica e ambiental de implantação do uso de biogás na frota de ônibus do município de Jaú.

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de caso, baseado em pesquisa aplicada. Primeiramente elaborado um robusto referencial teórico, abordando as características do gás metano, sua produção a partir de ETEs, a sua utilização como combustível e seu impacto ambiental.

Para escolha da cidade a ser estudada, tomou-se por base os dados de população e de sistemas de esgotamento sanitários dos diversos municípios do Estado de São Paulo. Foram aplicados filtros com o objetivo de selecionar um município favorável e assegurar uma maior viabilidade do projeto proposto.

Como resultados obtidos, têm-se os pré-dimensionamentos das unidades de produção de biogás, armazenamento e de produção de biometano, assim como cálculos de consumo e demanda da frota de ônibus do município. A discussão deu-se embasada em uma avaliação ambiental e uma análise SWOT técnico - ambiental.

REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão abordados os conceitos e definições acerca do gás metano, uma de suas formas de obtenção, como utilizá-lo como combustível e seu impacto ambiental quando liberado.

• METANO

O metano é o gás mais abundante de traço orgânico na atmosfera. No passado distante, variações nas fontes naturais de metano foram responsáveis pelas tendências nos níveis de metano atmosférico registrados em núcleos de gelo. Desde 1700, com o avanço das atividades humanas, particularmente nas áreas da agricultura, na utilização de combustível fóssil e descarte de lixo, mais do que duplicaram as emissões de metano. As concentrações atmosféricas de metano aumentaram de 2 a 3 vezes em resposta a esse avanço, e continuam a subir. Estas concentrações crescentes levantaram preocupação devido aos seus efeitos potenciais na atmosfera e no clima. O metano é importante para a troposfera e estratosfera, afetando significativamente os níveis de ozônio, vapor d'água e numerosos outros compostos. (WUEBBLES, 2002)

Além disso, o metano é atualmente o segundo gás de efeito estufa mais impactante emitido a partir de atividades humanas, como mostra a Figura 1.

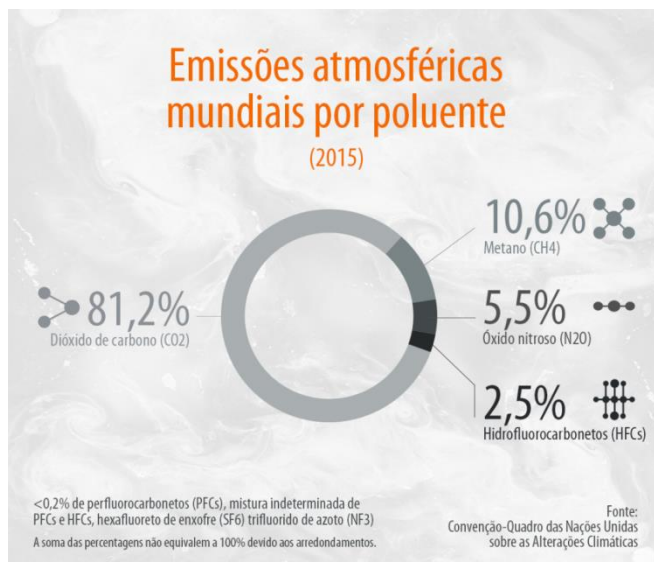


Figura 1: Emissões de gases com efeito de estufa na União Europeia e no mundo por poluente.
 Fonte: Parlamento Europeu, 2018.

- PRODUÇÃO DO METANO A PARTIR DO TRATAMENTO BIOLÓGICO ANAERÓBIO DE ESGOTO SANITÁRIO**

O processo de tratamento do esgoto sanitário gera resíduo, e o excesso de lodo sedimentado nos decantadores é o principal resíduo gerado.

Para o descarte adequado do lodo gerado no tratamento dos esgotos sanitários, é necessário que o lodo seja estabilizado. Ou seja, é necessário que haja a redução da quantidade de organismos patogênicos, evitando a geração de maus odores, inibindo, reduzindo ou eliminando o potencial de putrefação. Um dos processos mais comuns para a estabilização do lodo é a estabilização biológica anaeróbia.

Essa estabilização ocorre em reatores anaeróbios (bidigestores), nos quais são desenvolvidos com a finalidade de proporcionar condições favoráveis para a aceleração do processo. A utilização desses reatores permite que aproximadamente 70% do material orgânico do esgoto, nesta fase, seja retirado sem o acréscimo de compostos químicos e gasto adicional de energia (PROSAB, 1999).

O processo de digestão anaeróbia é definido por Chernicharo (2007) como sendo a conversão de matéria orgânica, por microrganismos anaeróbios, para metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia e novas células bacterianas, em um ecossistema interativo e equilibrado, com ausência de oxigênio. O processo é realizado em 4 estágios: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

Resumidamente, podemos ver esse processo no esquema abaixo:

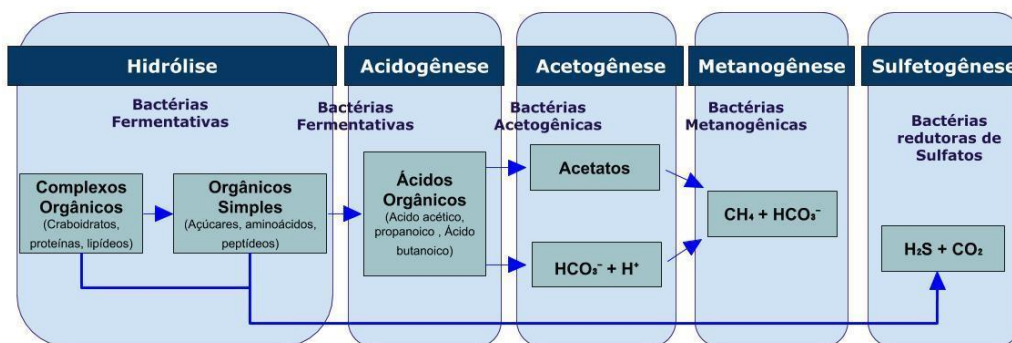


Figura 2: Esquema Digestão Anaeróbica, os Autores, 2019.

- **USO DO GÁS METANO COMO COMBUSTÍVEL**

Para a utilização do metano como uma alternativa de fonte energética para automóveis, caminhões e transporte público é necessária a conversão do motor. Por se tratar de um gás, a conversão do tanque de combustível é exatamente igual ao que já utilizamos para o uso de GNV (gás natural veicular) onde possui a presença de metano. Para a armazenagem de biometano precisamos um cilindro que resiste a alta pressão. Por possuir um poder calorífico melhor em relação ao etanol, no longo dos últimos anos na Europa já se utiliza em substituição ao combustível fóssil, possuindo em média uma autonomia de 400 km com um cilindro de biometano (SUZUKI et al., 2001).

Para a distribuição são necessários tanques de armazenamentos que suportam grandes pressões, linhas diretas entre o tanque e o abastecimento. Grande parte da Europa já possui essas linhas onde parte do metano é incorporado no gás natural para ser aproveitado como combustível para aquecedores. Tais medidas seriam necessárias para maior disseminação de informação aqui no Brasil tendo em vista que a utilização desses combustíveis alternativos é pouco disseminada (PROBIOGÁS, 2016).

Tabela 1: Comparação de tecnologia disponível para conversão de energia.

Parâmetros	Motores a Gás	Motores à Diesel: Biogás + Diesel	Turbinas a Gás para Biogás de Pequeno – Médio Porte	Microturbinas (CAPSTONES)
Potência	30 kW – 20MW	-----	500 kW – 150 MW	30 kW – 100kW
Rendimento com biogás	30% a 34%	30% a 35%	20% a 30%	24% a 28%
Emissões de NOx	< 3000 ppm Motores com baixa emissão: < 250 ppm	Média em torno de 27 ppm	Média aprox.. 35 a 55 ppm	< 9 ppm
Obs:	-----	Necessita diesel com baixo teor de “S”	-----	-----

Fonte: modificado de Percora, 2006

Como é possível observar através dos dados apresentados na Tabela 2 o metano possui um poder calorífico maior em relação à gasolina e a outros combustíveis, transformando assim com a mesma quantidade de matéria, em uma quantidade maior de energia, sendo um combustível mais aproveitado para a geração de potência em um motor. Porém, o metano possui uma densidade energética menor que combustíveis como o diesel, sendo necessária uma avaliação dos custos para a devida substituição de combustível.

Tabela 2: Conteúdo Energético dos Gases.

Combustível	Poder Calorífico (MJ kg ⁻¹)	Densidade Energética (MJ m ⁻³)
Metano	50,0	35,9
Biogás Purificado	45,0	32,3
Valor médio do Biogás	30,0	21,5
Etanol	26,9	21,4 x 10 ³
Gasolina	45,1	33,3 x 10 ³
Diesel	42,1	34,5 x 10 ³

Fonte: modificada de Constant; Naveau, 1989

- **IMPACTO AMBIENTAL DO METANO**

O efeito estufa é um fenômeno natural onde permite a vida na Terra. O sol emite energia solar, onde parte é absorvida pela superfície da terra e pelos oceanos causando assim o aquecimento da terra e dos oceanos, outra parte dessa energia é irradiada de volta ao espaço, com a presença dos gases de efeito estufa, essa irradiação não sai da atmosfera causando o aquecimento da temperatura média, que sem a presença desses gases estaria

próximo a -18°C, essa troca de energia possibilita a vida na Terra, causando um considerável aumento na temperatura média na Terra para aproximadamente 15°C (PROCLIMA, 2019).

Dentre os gases do efeito estufa temos o gás metano, que é proveniente da decomposição de matéria orgânica, sendo produzido em aterros sanitários, lixões, criação de gado e cultivo de arroz, seu poder de aquecimento é 21 vezes maior que o CO₂ (PROCLIMA, 2019).

É possível captar e utilizar de uma forma mais sustentável o gás metano proveniente do tratamento biológico da matéria orgânica dos processos de tratamento de esgoto e de lixo. A produção de gás metano proveniente de tratamentos biológicos, ocorre pela digestão anaeróbica de materiais orgânicos. O melhor destino para esse gás seria a utilização como combustível, diminuindo assim a emissão de gás metano na atmosfera.

Com a utilização do metano como combustível não diminuiria somente a emissão de metano na atmosfera, consequentemente diminuiria a emissão de CO₂, pois haveria a redução do uso de combustível fóssil.

ESTUDO DE CASO:

• ESCOLHA DA CIDADE

A partir dos dados obtidos pelo Atlas de Esgoto (ANA, 2017) com dados de 2013 em comparação as previsões de 2035, foram selecionadas as cidades do estado de SP. Dentre as 645 cidades do estado, foram filtradas as cidades que continham as seguintes premissas: percentagens de esgoto coletado e tratado maiores que 80% (447 cidades); vazões de esgoto superiores a 300 L/s (21 cidades); Estações de Tratamento de Esgoto com tratamento secundário e biológico previsto para 2035 (13 cidades).

Foi escolhido o tratamento secundário biológico, por ser o tratamento com uma das maiores capacidades de gerar lodo biológico, portanto com maior capacidade de geração de biogás.

As 13 cidades foram analisadas uma a uma para identificar qual tipo de tratamento são utilizados atualmente nas ETEs, descrito na Tabela 3. E selecionada apenas as cidades que já possuem o tratamento secundário e biológico.

Tabela 3: Escolha do município - Segunda seleção de filtros

Município	UF	Tipo de Solução (2013)
Araçatuba	SP	Lagoa
Araraquara	SP	Lagoa
Jaú	SP	Tratamento Secundário
Limeira	SP	Primário
Pindamonhangaba	SP	Lagoa / ETE Peq.
Piracicaba	SP	Tratamento Secundário
São Carlos	SP	Tratamento Secundário
São José dos Campos	SP	Tratamento Secundário
Taubaté	SP	Tratamento Secundário

Fonte: os Autores, 2019

Com esses parâmetros restaram quatro (4) possíveis cidades: Jaú, Piracicaba, São José dos Campos, e Taubaté. Analisando cada cidade e suas respectivas estações de tratamento de esgoto, tem-se a seguinte comparação:

- Jaú: Atendida pela ETE SENAJ, para 92% da população da cidade, com vazão de 359,5 L/s.
- Piracicaba: atendida pela ETE Ponte do Caixão para 40% da população da cidade, com vazão de 366 L/s.
- São José dos Campos: Atendida por 3 ETEs com tratamento secundário, a maior ETE atende apenas 48,9% da população da cidade.
- Taubaté: Os efluentes são processados na Estação de Tratamento Taubaté-Tremembé, atendendo as duas cidades, com capacidade de 878 litros por segundo.

Para assegurar uma maior viabilidade do projeto, a cidade escolhida foi Jaú. Entende-se que, como Taubaté divide o atendimento da estação com Tremembé, poderia haver complicações de âmbito político-econômico. Ainda, São José dos Campos, assim como Piracicaba, precisam de um investimento maior em coleta e tratamento

de esgotos, visto que, ambas possuem ETE grandes, mas atendendo menos de 50% da população e não alcançando toda a produção de gás potencialmente possível, se fosse considerar toda a produção de esgoto gerado.

- **SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE JAÚ**

Conforme os dados disponibilizados no site do Município de Jaú, atualmente o município conferiu a concessão dos seus serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitários para o Grupo Águas do Brasil, sendo assim, a Sanej (Saneamento de Jaú Ltda) e a Águas de Jahu as prestadoras destes no município.

O portal online da concessionária (Águas de Jahu, 2019), informa que a ETE Sanej utiliza a tecnologia chamada Sistema Cíclico de Lodos Ativados, por batelada (CASS – Cyclic Activated Sludge System), que permite a remoção de 95% de carga biológica e de poluição dos esgotos, índices superiores aos exigidos por lei, correspondentes a 82%. Esse processo garante mais eficiência operacional, reduz a área ocupada comparada às estações convencionais e ainda minimiza a emissão de odores. O tratamento é biológico, ou seja, sem a utilização de produtos químicos. Soma-se a isso a contribuição para a qualidade de vida da população, e a recuperação do maior patrimônio hídrico do município: o Rio Jaú.

O município conta com uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE Sanej), tratando 94,5% do esgoto da área urbana do município de Jaú, com 30 milhões de litros por dia. Também conta com 15 estações elevatórias de esgoto, 10 mil metros de interceptores, 664.650 metros de rede coletora de esgoto e 7 mil metros de linhas de recalque (Águas de Jahu, 2019)

O Plano Diretor de Saneamento (PMSB, 2013) da cidade relata que a Sanej garantiu ao município de Jaú o pioneirismo no Brasil na utilização desse sistema de saneamento, colocando o município no mapa das cidades brasileiras bem resolvidas com suas questões básicas, figurando entre os mais altos expoentes no que se refere ao saneamento básico no país.

Por apresentar um índice de quase 100% de coleta e tratamento de esgoto, o município de Jaú não contém grandes projetos e metas em seu plano diretor relacionado a esgotamento sanitário. O plano foca implementar elevatórias e linhas de recalque para atender a população mais afastada e melhorar a qualidade do Rio Jahu, chegando a Classe 3.

Ainda no plano diretor é descrito que a ETE Sanej prevê ampliação para tratar até 440 L/s de esgoto com eficiência superior a 90%, suficiente para atender a população até 2031. Sendo estimadas as vazões de esgoto em 464 L/s, no ano de 2037 e 483 L/s em 2042, ou seja, cerca de 10 % superior à capacidade nominal prevista com a ampliação, alegando que uma nova avaliação será realizada futuramente para desempenho da ETE frente às demandas futuras. Entretanto, considerando a concepção baseada em Lodos Ativados por Batelada, afirmam no plano diretor que a demanda excedente poderá ser atendida somente com a alteração de procedimentos operacionais (PMSB, 2013).

RESULTADOS:

O Plano Municipal de Saneamento Básico (2013) da Cidade de Jaú informa que atualmente o reator que opera por batelada com lodos ativados tem seu processo interrompido a cada 60 dias para limpeza e remoção manual do lodo. O lodo excedente gerado na ETE Sanej é descartado “in natura”, contaminando ainda mais o Rio Jahu. No Projeto é proposta a utilização desse lodo, oferecendo um fim mais sustentável.

Previamente a implementação do projeto, recomenda-se que seja realizada uma melhoria nesta parte do processo, ou seja, na retirada contínua e mecanizada do lodo excedente no reator. A melhoria oferece uma maior eficiência para a própria ETE e para o projeto.

O Projeto visa atender a população prevista para 2042, com o índice de coleta e tratamento de esgoto igual a 100%. O Projeto também consiste na proposta de implantação das seguintes unidades de tratamento e armazenamento: digestor anaeróbico de lodo, sistema de beneficiamento do biogás (enriquecimento de metano) com reservatório de dupla membrana e posto de abastecimento.

• DIMENSIONAMENTO DO DIGESTOR ANAERÓBIO

Para o dimensionamento do digestor anaeróbio, as diretrizes da ABNT NBR 12.209/2011, indicam cargas unitárias de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) entre 45 e 60 gDBO/hab.d, considerou-se para o cálculo 50 gDBO/hab.d. Assim, para digestores anaeróbios mesófilos:

- População de projeto (2042): 187.570 hab
- Vazão de esgoto de projeto (2042): 483 L/s
- Produção da carga de DBO por dia: $187.570 \text{ hab} \times 50 \text{ gDBO/hab.dia} = 9.378,5 \text{ kgDBO/dia}$

Metcalf & Eddy (2016) propõe utilizar um coeficiente de produção de lodo entre 0,4 e 0,8 kgSST/kgDBO, para este dimensionamento foi adotado o valor de 0,4 kgSST/kgDBO.

- Coeficiente de produção de lodo: $Y = 0,4 \text{ kgSST/kgDBO}$
- Carga de sólidos suspensos totais no lodo: $0,4 \text{ kgSST/kgDBO} \times 9.378,5 \text{ kgDBO/dia} = 3.751,4 \text{ kgSST/dia}$

A vazão de lodo é calculada a partir da carga de sólidos suspensos totais no lodo dividido pela sua concentração. A NBR 12.209/2011 aponta que essa concentração não deve ultrapassar 10 kgSST/m³, considerando 8 kgSST/m³.

- Vazão do lodo: $Q = 3.751,4 \text{ kgSST/dia} \div 8 \text{ kgSST/m}^3 = 469 \text{ m}^3/\text{dia}$

Para o volume do reator, Metcalf & Eddy (2016) afirmam que o TRS (tempo de retenção dos sólidos) é o mesmo que o tempo de detenção hidráulico, para digestores de mistura completa. De acordo com a Tabela 4, adaptada de Metcalf & Eddy (2016), adotou-se 10 dias de TRS para a temperatura de operação de 30°C.

Tabela 4: Tempo de retenção de sólidos sugeridos para o dimensionamento de digestores anaeróbios completamente misturados.

Temperatura de operação, °C	TRS (min)	TRS (projeto)
24	8	20
30	6	14
35	4	10

Fonte: adaptada de Metcalf & Eddy, 2016

- Volume do reator: $V = 469 \text{ m}^3/\text{d} \times 10 \text{ d} = 4.690 \text{ m}^3$

A NBR 12.209/2011 também recomenda utilizar mais de um digestor para ETEs com vazão acima de 250 L/s. Sendo assim adotou-se dois digestores idênticos de 2.345 m³, com altura de 9 m e diâmetro de 36 m.

Jordão e Pessoa (2011) apontam que o cálculo da produção de gás pode ser obtido pela carga de sólidos suspensos, determinada pela NBR 12.209/2011 entre 45 e 70 gSS/hab.dia, e a população de projeto. Sendo assim, temos que:

- A carga de sólidos suspensos por dia é de: $55 \text{ gSS/hab.dia} \times 187570 \text{ hab} = 10.316,35 \text{ kgSS/dia}$

Considera-se como sólidos de suspensão voláteis 75% dos sólidos de suspensão totais, sendo destruídos 50% sólidos de suspensão voláteis durante a digestão.

- Sólidos de suspensão voláteis: $SSV = 0,75 \times 10.316,35 \text{ kgSST/d} = 7.737,3 \text{ kgSSV/dia}$
- Sólidos de suspensão voláteis destruídos: $SSV_{destruído} = 7.737,3 \text{ kgSSV/d} \times 0,5 = 3.868,6 \text{ kgSSVdestruído/dia}$

Estima-se que a produção total de gás produzido a partir da kg de sólidos de suspensão voláteis destruídos, representam de 0,8 a 1,1 m³, contendo 65% de metano (Metcalf & Eddy, 2016).

- Gás produzido por dia: $1,1 \text{ m}^3/\text{kgSSVdestruído} \times 3.868,6 \text{ kgSSVdestruído/d} = 4.255,5 \text{ m}^3\text{gás/dia}$
- Metano produzido por dia: $4.255,5 \text{ m}^3\text{gás/d} \times 0,65 = 2.766 \text{ m}^3\text{metano/dia}$

- **CÁLCULO DE CONSUMO DE BIOMETANO PELA FROTA DE ÔNIBUS NA CIDADE**

De uma maneira geral, em condições em que haja corredores de ônibus, uma velocidade em torno de 20 km/h de média é uma velocidade comercial boa, porque é uma velocidade que leva em conta todas as paradas que o ônibus faz para que os passageiros acessem e desçam do veículo. Em São Paulo, em 2017, a velocidade dos coletivos nas pistas segregadas para o transporte público foi de 22,43 km/h em média. (Nossa São Paulo, 2018)

Considerando que o Caderno Técnico para Projetos de Mobilidade Urbana – Sistemas de Prioridade ao Ônibus que apresenta os critérios gerais para a implantação de infraestrutura adequada, indica limite de velocidade para ruas compartilhadas, ou seja, que tem na via e não apresenta ciclovia, é de 30 km/h. O PlanMob de Jaú indica que não há ciclovias na cidade e que as ruas têm mobilidade compartilhada. Assim, está sendo considerada, para o cálculo do total de quilômetros rodados no município de Jaú, a velocidade média dos ônibus de 15 km/h.

Em função dos dados do PlanMob, foi calculada a distância média entre o centro da cidade (na região da Prefeitura) e dos 8 bairros periféricos, conforme mostra a Figura 2 abaixo:

Local de Origem	Bairro do Destino	Local do Destino	Distância (Km)
Prefeitura	Jardim Orlando ChesiniOmeto	Av. José Eduardo do Amaral Carvalho x R. Cesar Monterosso	6,2
Prefeitura	Jardim Padre Augusto Sani	R. Saul Galvão de Barros França x Av. João Chammas	6,0
Prefeitura	Residencial Frei Galvão	R. Carlos Roberto de Souza Gomes x R. Helena de Lourenço Buscariolo	9,0
Prefeitura	Jardim Olímpia	R. Sálvio Pacheco de Almeida Prado x R. Juca Dornelas	5,0
Prefeitura	Residencial Primavera I	R. dos Sabiás x Av. das Sirianas	6,0
Prefeitura	Residencial Cônego Pedro	Av. João Sanzovox R. Renato Sampaio de Almeida Prado	6,0
Prefeitura	Jardim Santa Helena	Av. João Martins Gomes x R. Domingos Moyana	4,0
Prefeitura	Jardim Itatiaia	R. Daniel Buscariolo x R. Leonardo Pavaneli	7,0

Figura 2: Distância entre a prefeitura e alguns bairros de Jahu.

Fonte: PlanMob, 2019

A distância média entre o centro da cidade (na região da Prefeitura) e dos 8 bairros periféricos é de 6,15 km.

Calculando-se: $6,15 \text{ km} / 15 \text{ km/h} = 0,41 \text{ horas}$

Considerando ida e volta do ônibus, tem-se 0,82 horas de viagem. Somando-se a estas horas de viagem um intervalo de 30 minutos nos terminais por viagem, temos 1,32 horas (1h19min).

Consultando o site da SPTrans, o horário de funcionamento dos ônibus municipais é das 4h às 00:00 h, num total de 20 horas de atendimento. Como não temos esta informação do município de Jaú, será considerado o mesmo horário, portanto a linha de ônibus trabalhando por 20 horas diárias. Assim, se considerarmos 20 horas diária e cada viagem dura, em média, 1,32 horas, temos que 20 horas/dia dividido por 1,32 horas, tem-se 15 viagens por dia.

De acordo com o PlanMob (2019), existem 29 linhas de ônibus em Jaú. Considerando que cada linha faça 15 viagens de 12,3 km, que é ida e volta da distância média do centro até o bairro, tem-se que o total de quilômetros rodados em um dia é de: $29 \text{ linhas} \times 15 \text{ viagens/dia} \times 12,3 \text{ km} = 5.350,5 \text{ km/dia}$.

Considerando ainda, que um ônibus (modelo Scania) consome para um quilometro rodado, 2,02 m³ de biometano. Tem-se que a produção necessária de biometano por dia é de: $5.350,5 \text{ km/dia} \div 2,02 \text{ km/m}^3 = 2.649 \text{ m}^3 \text{ biometano/dia}$

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS:

A partir das estimativas, são necessários 2.649 m³ de biometano produzido por dia para atender a demanda da frota de ônibus do município. Como calculado anteriormente, o volume estimado de produção de biometano na ETE por dia é de 2.766 m³. Sendo assim, pode-se afirmar que a ETE terá capacidade de suprir 100% da necessidade de gás da frota de ônibus.

• AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂ COM O USO DO BIOMETANO

De acordo com Mobilize Brasil (2019), que é um portal brasileiro de conteúdo exclusivo sobre Mobilidade Urbana Sustentável, pode-se fazer uma avaliação expedita da redução do de gás carbônico considerando o uso do biometano.

Baseado em valores de ônibus da marca Scania com comprimento de 15 m com capacidade para 120 passageiros, o volume de CO₂ emitido por um ônibus movido a Diesel é de 1341 gramas de CO₂/10 km. Se o mesmo veículo utilizar biometano o volume de CO₂ emitido por um ônibus é de 204 gramas de CO₂/10 km. Comparativamente a redução da emissão com o uso do biometano seria de 85%.

Assim, para o total de quilômetros rodados na cidade de Jaú de 5.350 km/dia, conforme calculado no item anterior, e considerando o uso de diesel, o total de emissão de CO₂ é de 717.435 gramas de CO₂/dia. Se considerarmos o uso de biometano, está emissão seria de 109.140 gramas de CO₂/dia com uma redução de emissão de 85%.

• AVALIAÇÃO PELA MATRIZ SWOT

A Matriz SWOT (em português F.O.F.A – Forças; Oportunidades; Fraquezas; Ameaças), é considerada uma ferramenta extremamente útil para entender a situação atual do Projeto proposto e estudar possíveis influências que possam ajudar ou atrapalhar o seu desempenho. Sua criação consiste em listar os aspectos internos do projeto, Forças e Fraquezas, e os aspectos externos, Oportunidades e Ameaças, e depois avaliar estes aspectos listados. Na Figura 3 é apresentada a Matriz SWOT para o Projeto proposto.

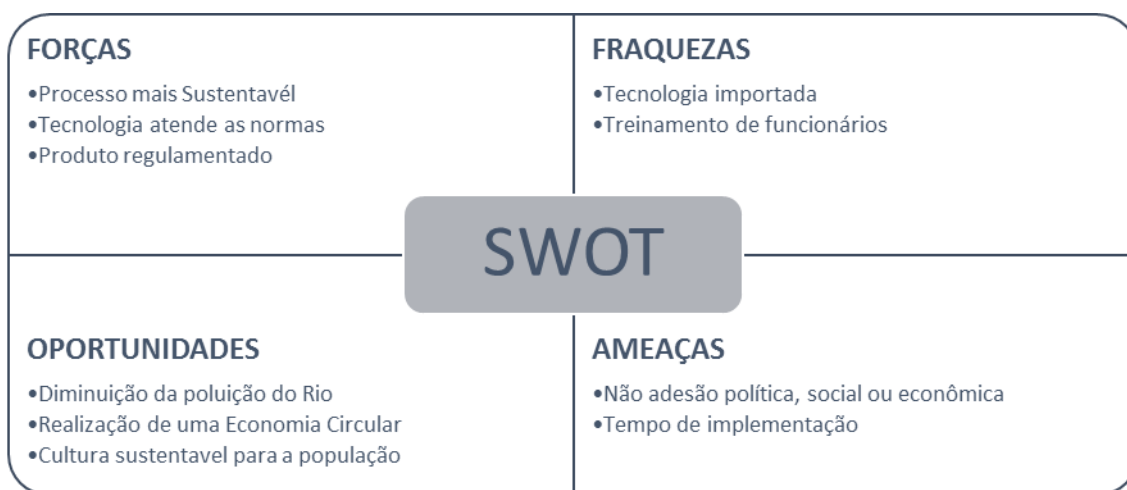


Figura 3 - Matriz SWOT do Projeto, os Autores, 2019.

A partir dos aspectos listados, procedeu-se a análise dos quatro itens da matriz SWOT.

Para o item Forças avalia-se que o Processo de reaproveitamento do gás metano produzido no biodigestor, proposto pelo Projeto, no qual possibilita a geração de energia limpa e o aproveitamento dos resíduos produzidos pela ETE, é mais sustentável se comparado ao processo atualmente praticado na ETE, que não possui digestão anaeróbia do lodo. Além disso, a tecnologia indicada para o processo segue as Normas reguladoras nacionais,

como ABNT NBR 15358, ABNT NBR 12236, e internacionais ASTM e ANSI. Assim como o produto final, combustível biometano que já foi regulamentado no Estado de São Paulo pela deliberação ARSESP Nº 744/17.

Quanto às Fraquezas o Projeto depende de tecnologia importada, na qual o fabricante não apresenta as especificações para uma possível nacionalização. Soma-se a isso, o fato do Projeto não abordar o treinamento de funcionários para operar as novas tecnologias a serem implementadas na planta.

No que se refere às Oportunidades, com a execução do Projeto, não haverá o despejo da carga total de lodo da ETE no Rio Jahu, diminuindo sua contaminação. Além da realização de Economia Circular na cidade. Também incentivando uma cultura mais sustentável para população.

Como Ameaça, o Projeto pode passar por circunstâncias desfavoráveis caso não haja a adesão por parte da companhia que opera a frota de ônibus, da prefeitura ou da própria Sanej. O tempo necessário para que o Projeto proposto seja implantado e se iniciem as operações de forma satisfatória pode ocasionar repercussão adversa ao projeto, tornando-se assim, uma Ameaça.

Em uma análise conjunta dos itens Fraquezas e Ameaças é possível inferir que existe a necessidade de elaboração de estudos e análises no âmbito social, político e econômico para o Projeto proposto, além da necessidade de se desenvolver planos de contingência para contornar as ameaças. Pode-se destacar também o desenvolvimento de um programa de treinamento para os funcionários, minimizando as Ameaças. Estas ações aqui citadas devem ser entendidas como recomendações para o sucesso do projeto.

CONCLUSÃO

É de conhecimento público que a falta de saneamento básico, além de afetar a saúde da população, causa poluição dos corpos d'água. E a poluição do ar dos grandes centros urbanos é principalmente acarretada por poluentes emitidos a partir de veículos automotores. Assim, o grande desafio é a busca por tecnologias limpas com o uso de energia renovável.

Neste contexto, este trabalho cumpre o objetivo principal de propor o aproveitamento energético do biometano, produzido em estação de tratamento de esgotos - ETEs, como fonte de combustível para a frota de ônibus da cidade de Jaú - Estado de São Paulo.

O município de Jaú que tem seus esgotos tratados pelo processo de tratamento biológico de lodos ativados por fluxo de batelada, não tem o tratamento da fase sólida, ou seja, do lodo gerado na ETE. Portanto, não existe o aproveitamento do biogás que um biodigestor geraria com a estabilização biológica do lodo.

Este trabalho propõe e pré-dimensiona as seguintes unidades para o aproveitamento energético do biometano: 2 biodigestores anaeróbios de lodo para produção de biogás, bolha de armazenamento de biogás, container para o enriquecimento de metano e produção de biometano, e bombas de abastecimento de biometano.

Após a realização da estimativa da demanda de biometano pela frota de ônibus urbano do município, de 2.649 m³ biometano/dia, e comparando à estimativa produção de biometano a ser produzida na ETE, de 2.766 m³ de biometano/dia, conclui-se que a produção pode atender a demanda, e que a proposta é tecnicamente viável.

Considerando que a troca do uso de combustível fóssil, o diesel, por biometano, energia renovável, a emissão de CO₂, principal poluente dos gases do efeito estufa emitido pelos veículos automotores, a análise ambiental apresentou-se favorável ao uso do biometano.

Desta forma, conclui-se pela viabilidade técnica e ambiental do aproveitamento de aproveitamento energético do biometano. Quanto à análise realizada utilizando a matriz SWOT, recomenda-se planos de contingência para contornar as ameaças apresentadas. Além de estratégias e programas para minimizar as fraquezas apresentadas. Como por exemplo, um programa de treinamento para os funcionários e uma apresentação apontando os benefícios do projeto, para que haja uma maior adesão das partes interessadas.

Recomenda-se também que sejam elaborados projetos básicos e executivos para que os parâmetros e premissas adotados no pré-dimensionamento sejam confirmados e detalhados. Além disso, sugerimos que na revisão dos Planos de Saneamento Básico e Plano de Mobilidade do município sejam incorporadas e estudadas as proposições preconizadas utilizadas neste trabalho.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Águas de Jahu. Grupo Águas do Brasil. Disponível em: <https://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-jahu/a-concessionaria/quem-somos/>. Acesso em: 13 set. de 2019.
2. ANA. Agência Nacional de Água. Atlas Esgotos - Despoluição de Bacias Hidrográficas. 2017 Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em 21 set. de 2019.
3. CETESB. BIOGÁS. 2019. São Paulo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/biogas/reatores/>. Acesso em: 27 abr. 2019.
4. CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios. Belo Horizonte: UFMG, 2007. v. 5.
5. CONSTANT, M., NAVEAU, H. Biogas: End Use in the European Community. New York: Elsevier Science Publishing Co., 1989. 211p.
6. IBGE. CONHEÇA CIDADES E ESTADOS DO BRASIL. Jaú. Panorama. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/jau/panorama>. Acesso em: 28 set. de 2019.
7. JORDÃO, E.P., Pessoa, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 7ª edição, 2014.
8. Metcalf, Eddy. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. Tradução Ivanildo Espanhol e José Carlos Mierzwa. 5ª Edição. AMGH Editora Ltda. Porto Alegre. 2016.
9. Mobilize Brasil. MOBILIDADE URBANA COM GÁS NATURAL E/OU BIOMETANO. disponível em: <https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/novo-onibus-movido-a-biometanognv-da-scania.pdf> . Acesso em: 7 out. de 2019.
10. Nossa São Paulo. Corredores de ônibus em São Paulo registram pior velocidade média dos últimos 4 anos em 2017. 05 de Janeiro de 2018. Disponível em: <https://www.nossasaopaulo.org.br/2018/01/05/corredores-de-onibus-em-sao-paulo-registram-pior-velocidade-media-dos-ultimos-4-anos-em-2017/>. Acesso em: 09 out. de 2019.
11. Parlamento Europeu. Atualidades. Emissões de gases com efeito de estufa por país e setor (Infografia). 07-03-2018. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20180301STO98928/emissoes-de-gases-com-efeito-de-estufa-por-pais-e-setor-infografia>. Acesso em: 12 abr. de 2019.
12. PECORA, V. Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Instituto de Eletrotécnica e Energia). São Paulo, USP, 2006.108f.
13. PlanMobJahu. Plano de Mobilidade Urbana de Jaú. Diagnóstico. Disponível em: <http://www.jau.sp.gov.br/plano-mobilidade-jahu>. Acesso em: 20 set. de 2019.
14. PMSB. PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO - ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL - ESGOTAMENTO SANITÁRIO - DRENAGEM URBANA E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS - GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Prefeitura Município de Jaú. Dezembro/2013. disponível em: <http://www.saemja.jau.sp.gov.br/saneamento/plano-de-saneamento-basico-jahu-final.pdf>. Acesso em: 20 set. de 2019.
15. PROBIOGÁS. Biometano Como Combustível veicular. Coletânea de publicações do probiogás, Brasília, 2016. Disponível em: https://www.giz.de/giz_biogas_como_combustivel_digital_simples . Acesso em: 8 abr. 2019.
16. PROCLIMA. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Aquecimento do planeta . Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/aquecimento-do-planeta/>. Acesso em: 8 abr. de 2019.
17. PROSAB, Projeto. Campos, J.R. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro. ABES, 1999. 464.. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2019.
18. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional – MDR/Secretaria Nacional de Saneamento SNS. 2019.
19. SUZUKI, Ana et al. Uso de biogás em motores de combustão interna. Revista brasileira de Tecnologia aplicada nas ciências Agrárias, Vol.4, N°1, págs.221 a 237. 2011.
20. WUEBBLES, Donald J. Atmospheric methane and global change. Earth-science reviews 57. 2002.