

BÁRBARA IJANO SILVA

Análise de implantação de um biodigestor anaeróbico
estudo de caso: moradia estudantil da UNESP – Campus Guaratinguetá

Guaratinguetá - SP
2019

Bárbara Ijano Silva

Análise de implantação de um biodigestor anaeróbico
estudo de caso: moradia estudantil da UNESP – Campus Guaratinguetá

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Henrique M. Araújo

Guaratinguetá - SP
2019

S586a	<p>Silva, Barbara Ijano Análise de implantação de um biodigestor anaeróbico estudo de caso: moradia estudantil da UNESP - Campus de Guaratinguetá / Barbara Ijano Silva – Guaratinguetá, 2022. 25 f : il. Bibliografia: f. 23-25</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022. Orientador: Prof. Dr. Fernando Henrique M. Araujo</p> <p>1. Biodigestor. 2. Biogás 3. Gerenciamento de resíduos. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 628.54</p>
-------	---

Luciana Máximo
Bibliotecária CRB-8/3595

BARBARA IJANO SILVA


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADA EM ENGENHARIA MECÂNICA"


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS

Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. FERNANDO HENRIQUE M. ARAÚJO
Orientador(a)/UNESP-FEG


Prof.ª Dra. THAIS SANTOS CASTRO
UNESP-FEG


Eng. MSc. FÁBIO ROBERTO VIEIRA
Membro Externo

Julho 2019

Em primeiro lugar agradeço à Deus pela minha vida.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Fernando Henrique M. Araújo*.

Aos meus pais, que sempre incentivaram meus estudos.

E aos meus amigos pelo suporte durante todos os anos de faculdade.

RESUMO

Tendo em vista os reajustes orçamentários que a UNESP (Universidade Estadual Paulista) tem sofrido ao longo dos últimos anos e o aumento de consumo de gás de cozinha que a Moradia Estudantil do Campus Guaratinguetá vem adquirindo após a aquisição de fogões industriais (necessário tanto ao contexto dos estudantes residentes quanto à realidade do Campus em questão, o qual não possui refeitório), este trabalho tem por objetivo demonstrar uma opção de um projeto benéfico nas esferas econômica e sócio-educacional que possibilite uma aplicação cidadã ao tema “uso racional de energia” dentro da universidade. A análise propõe verificar a potencialidade da produção de biogás a partir de resíduos orgânicos e do esgoto da Moradia Estudantil e, por conseguinte sugere a implantação de um biodigestor. Como resultado, busca demonstrar a viabilidade de projeto, sem perder o foco na questão socioambiental o qual a universidade está inserida.

PALAVRAS-CHAVE: Biodigestor. Gás. Biogás. Reator RAFA. Digestão anaeróbica.

ABSTRACT

Considering the budget adjustments of the university UNESP (Universidade Estadual Paulista) has been submitted over the last years and the consume increasement of GLP gas from the Campus Guaratinguetá Student Housing has been presented after the acquisition of industrial stoves ((necessary for the context of social scholarship of the resident students and the reality of the Campus in question, which does not have free restaurant), the objective of this research is to demonstrate an option of a beneficial project in the economic and socio-educational spheres that allows a citizen application to the theme "rational use of energy" within the university. The analysis proposes to verify the potentiality of biogas production from organic waste and from the Campus Student Housing sewage and, therefore, suggests the implantation of a biodigester. As a result, it seeks to demonstrate the feasibility of design, without losing focus on the socio-environmental issue that the university is inserted.

KEYWORDS: Biodigester. Gas. Biogas. RALF reactor. Anaerobic digestion.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVOS GERAIS	8
1.2	JUSTIFICATIVAS	8
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	INTRODUÇÃO AOS BIODIGESTORES	9
2.2	A DIGESTÃO ANAERÓBICA E A PRODUÇÃO DE BIOGÁS	10
2.3	BIODIGESTORES	13
2.3.1	Reator anaeróbio de fluxo ascendente – RAFA	14
3	METODOLOGIA	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5	CONCLUSÃO	22
	REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem por objetivo a partir de uma análise teórica, dimensionar um biodigestor adequado a Moradia Estudantil da UNESP Guaratinguetá, e, verificar sua viabilidade técnica e econômica.

1.2 JUSTIFICATIVAS

Mudanças no estilo de vida acompanharam o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, a urbanização, a revolução tecnológica e mudanças nos modos de produção e consumo. Estas alterações ocasionaram um aumento na produção dos resíduos sólidos, tanto em quantidade como em diversidade (GOUVEIA, 2012). No Brasil, um levantamento realizado pela ABRELPE (Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) indicou que de todo o resíduo sólido produzido no país em 2018, 59,1% foram destinados à aterros sanitários, 22,9% à aterros controlados e 18% à lixões (ABRELPE, 2017). Enquanto no quesito esgoto, 55% da população ainda não tem acesso (SNIS, 2017).

Alternativas sustentáveis para o manejo dos resíduos domésticos e esgoto, aliadas à conscientização de redução de consumo da população junto ao esforço do Estado em investir em projetos públicos eficazes que possam dar suporte legal à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010), a qual prevê como ação principal a prevenção e a redução na geração de resíduos ou a Lei Pro-Águas (Lei nº 11.445/2007), a qual estipula normas para o tratamento de esgoto doméstico, são necessárias ao cenário atual de produção de lixo.

Exposto isso, a busca por soluções locais que possibilitem a difusão de conhecimento e avanços em pesquisas benéficas tanto no viés cidadão quanto no viés econômico insere a universidade pública em um panorama viável à iniciativa por respostas à problemática.

O presente trabalho apresenta um estudo de dimensionamento de um biodigestor e busca trazer uma solução de projeto para a questão dos resíduos doméstico da UNESP Guaratinguetá. A escolha da pesquisa está sustentada nas teorias e análises já existentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO AOS BIODIGESTORES

O biogás é um produto resultante da fermentação, na ausência do ar, de dejetos animais, resíduos vegetais e de lixo orgânico industrial ou residencial, em condições adequadas de umidade. Em suma composição, o biogás basicamente é uma mistura de gases contendo principalmente metano e dióxido de carbono, encontrando-se ainda em menores proporções gás sulfídrica e nitrogênio (DEGANUTTI et al.,2002).

Segundo Costa (2011), o metano, como principal constituinte do biogás, valida o produto como ótimo recurso energético. Isto porque, este elemento possui um elevado poder calorífico, algo que torna viável a sua queima para a produção combinada de energia térmica e elétrica (cogeração). Quando liberado diretamente para a atmosfera, o seu efeito é nocivo visto que, o metano apresenta um potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao dióxido de carbono. Quando a digestão anaeróbia é efetuada em biodigestores construídos especialmente para esse efeito, a mistura gasosa produzida pode ser usada como combustível.

A vantagem do biogás quando comparado a outros combustíveis como gás natural, é o fato deste ser uma fonte de energia renovável, uma vez que é produzido pela degradação de resíduos orgânicos. Um exemplo de sua potencialidade em relação aos combustíveis fósseis, segundo o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB (2003), é o percentual de 70% de metano que confere ao biogás um poder calorífico de aproximadamente 23.380 kJ/m³ ou 6,5 kW/m³. Para efeito comparativo, o poder calorífico do gás natural é de 37.300 kJ/m³ ou 10,4 kW/m³. A Tabela 1 mostra a equivalência entre o volume de biogás, em condições normais de temperatura e pressão, e outros combustíveis.

Desta forma, torna-se de grande relevância a propagação e utilização de formas de produção de bioenergias em pequenas propriedades familiares, como o biogás, que pode ser utilizado no acionamento de fogões residenciais e geradores elétricos ou ainda fornecendo biofertilizante para propriedade (DEGANUTTI et al, 2002).

Tabela 1 - Equivalência entre o biogás e outros combustíveis.

Combustível	Volume Equivalente (1 m ³ de Biogás a 25° C e 1 atm)
Querosene	0,342 l
Lenha (10% de umidade)	1,450 kg
GLP (25°C e 1 atm)	0,396 l
Óleo Diesel	0,358 l
Gasolina	0,312 l

Fonte: PROSAB (2003)

2.2 A DIGESTÃO ANAERÓBICA E A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Historicamente, Thomas Shirley em 1667 foi o primeiro a descobrir o biogás. Porém, somente tempos mais tarde foi apresentada à sociedade científica por Ulysse Gayson (aluno de Louis Pasteur) a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, sob condição de temperatura em 35°C. Nesta produção foi possível obter 100 litros de gás por m³ de matéria (STACHISSINI, 2014).

Desde então, conciliada à evolução em estudos e pesquisas em energia renovável, a digestão anaeróbia tem sido usada como alternativa para a remoção de altas concentrações de matéria orgânica presente em resíduos biológicos (NIELSEN; ANGELIDAKI, 2008). Sendo que, das diversas formas de biomassas pesquisadas, podem ser citadas: resíduos sólidos urbanos, resíduos da agropecuária e agroindústria, esgoto, carcaça de animais. (EL-DEIR, 2014).

A digestão anaeróbia (ou degradação anaeróbia) é um processo biológico natural caracterizado pela degradação da matéria orgânica através da interação de microrganismos, na ausência de oxigênio livre. Os compostos orgânicos complexos que integram a este processo anaeróbico são principalmente: carboidratos, proteínas e lipídeos. Já os produtos finais do processo são compostos inorgânicos sendo o dióxido de carbono, o amônio e o metano os mais relevantes. Vale ressaltar que o processo também libera pequenas quantidades de outros gases e gera uma pequena quantidade de lodo resultante de uma parte da matéria que apesar de ser orgânica biodegradável, tem degradação mais difícil (MOSEY, 1983).

Os microrganismos que participam no processo de digestão anaeróbia podem ser divididos em três grandes grupos de bactérias, cada um com comportamentos fisiológicos diferentes. São eles:

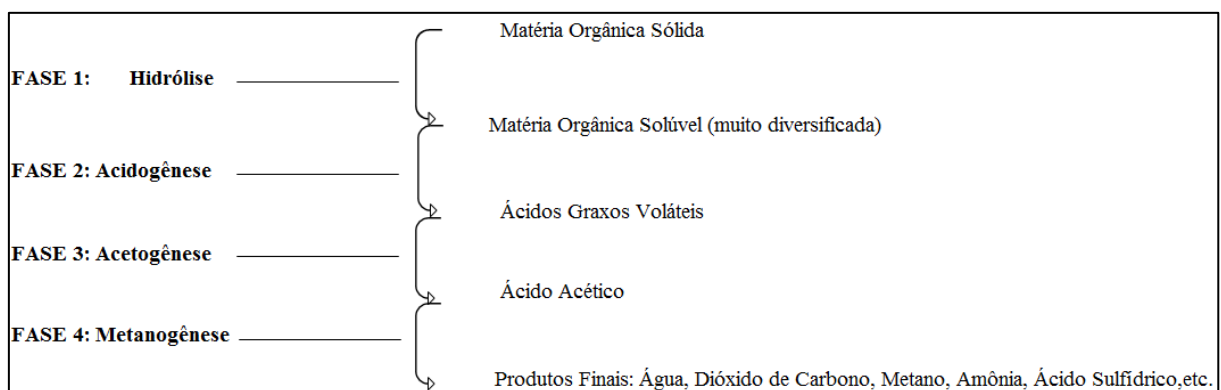
1) Bactérias Fermentativas: através do processo de hidrólise, transformam polímeros em monómeros, produzindo assim ácido acético, gás hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos, tais como a glicose.

2) Bactérias Acetogênicas: possibilitam a obtenção dos produtos produzidos pelas bactérias fermentativas (ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono).

3) Bactérias Metanogênicas: utilizam os produtos finais do segundo grupo como substrato. Algumas destas bactérias usam o ácido acético, transformando-o em metano e dióxido de carbono, enquanto outras produzem metano por meio da redução do dióxido de carbono.

A bioquímica do processo de digestão anaeróbia divide-se em quatro etapas principais, conforme se apresenta no esquema da Figura 1.

Figura 1 - Representação esquemática do processo de digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Costa, (2011).

Na primeira fase, hidrólise, as bactérias fermentativas hidrolíticas convertem inicialmente o material orgânico particulado em composto solúvel de menor peso molecular. Subsequentemente, estes compostos são hidrolisados em monômeros que serão utilizados na próxima fase pelas bactérias fermentativas (METCALF E EDDY, 1991).

Na segunda fase, fermentação (ou acidogênese), os produtos solúveis da hidrólise são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas e sendo convertidos em compostos mais simples, como ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio, amônio e sulfeto de hidrogênio (COSTA, 2011).

Na terceira fase, acetogênese, as bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na segunda fase em um substrato apropriado para as bactérias metanogênicas (quarta fase). Os produtos produzidos pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o ácido acético. Durante a formação dos ácidos acético, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH no meio aquoso diminua. Esse é uma das fases mais delicadas do processo, pois é necessário manter o equilíbrio para que a quantidade de hidrogênio gerado seja consumida pelas bactérias responsáveis pela próxima fase (COSTA, 2011).

Na quarta fase, metanogênese, o gás metano é produzido através das bactérias metanogênicas que reduzem quimicamente o acetato a metano e dióxido de carbônico ou, dependendo a espécie da bactéria, o gás carbônico em metano e água (METCALF E EDDY, 1991).

A digestão anaeróbia é um processo que envolve vários microrganismos que convivem num ambiente em que um produto metabólico de um microrganismo é o substrato de outro. Portanto, para que os processos químicos ocorram de maneira coordenada, existem fatores ambientais a serem controlados. De acordo com PROSAB (2003), os principais são:

- Temperatura: especialmente as bactérias metanogênicas são sensíveis a oscilações de temperatura, portanto é essencial não haver variações abruptas no sistema. É indicado que a faixa ideal para a produção do biogás mantenha-se entre 35°C a 45°C, podendo também adotar-se uma variação de 50°C a 60°C.

- Alcalinidade: certas bactérias ao produzirem ácidos, influenciam no decaimento do pH do processo. Este fator interfere na alcalinidade em espécies, em especial a metanogênica, que necessitam de menor taxa de acidez para sobreviver (faixa de pH entre 6,5 a 8,0). Em sistemas anaeróbicos, a neutralização decorre da presença de bicarbonatos no meio.

- Teor de água: biodigestores devem apresentar um teor de água entre 60% a 90% do conteúdo total, sendo que, quanto menor o percentual de água, melhor a tendência de o biodigestor ser classificado com 'alto teor de sólidos totais'.

- Nutrientes: para que as necessidades de fósforo e nitrogênio das bactérias sejam supridas, o substrato deve apresentar a seguinte relação semelhante à de compostagem:

$$\frac{C}{N} \leq 30 \quad (1)$$

Sendo:

N: quantidade efetiva disponível de nitrogênio;

C: quantidade efetiva disponível de carbono.

2.3 BIODIGESTORES

O biodigestor pode ser definido como um aparelho destinado à decomposição da biomassa para que, a partir desta reação, obtenha-se a produção biogás. Isto fornecendo condições propícias para que um grupo especial de bactérias (metanogênicas) degrade o material orgânico, e assim libere gás metano (ou biogás) ao sistema (GASPAR, 2003).

Existem vários tipos de biodigestores, mas, em geral, todos são compostos, resumidamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para alocar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenamento do biogás. A Figura 2 mostra um modelo representativo da visão interna de um reator (modelo lagoa coberta), onde é possível verificar os componentes básicos do equipamento.

Segundo Pecora (2006), há diversas variáveis a se considerar na escolha do modelo e do tamanho ideal de biodigestor, tais como: o tipo da matéria orgânica de entrada, características como a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio), as condições locais do solo, capital e custo de manutenção, alta eficiência compatibilizada com custos e operacionalidade, necessidade energética da propriedade e disponibilidade de matéria-prima.

Em vias de projeto, existem inúmeros modelos de biodigestores padronizados, sendo os principais: Indiano, que por questões técnicas é utilizado em instalações de grande porte e chinês, aplicado em instalações de pequeno porte. Ambos exigem um fluxo de substrato constante de concentração de sólidos totais (ST) menores ou iguais a 8%, algo encontrado principalmente no setor rural – dejetos de animais (DEGANUTTI et. al, 2002).

Figura 2 - Representação esquemática de um biodigestor.



Fonte: Steinmetz A. et al. (2019).

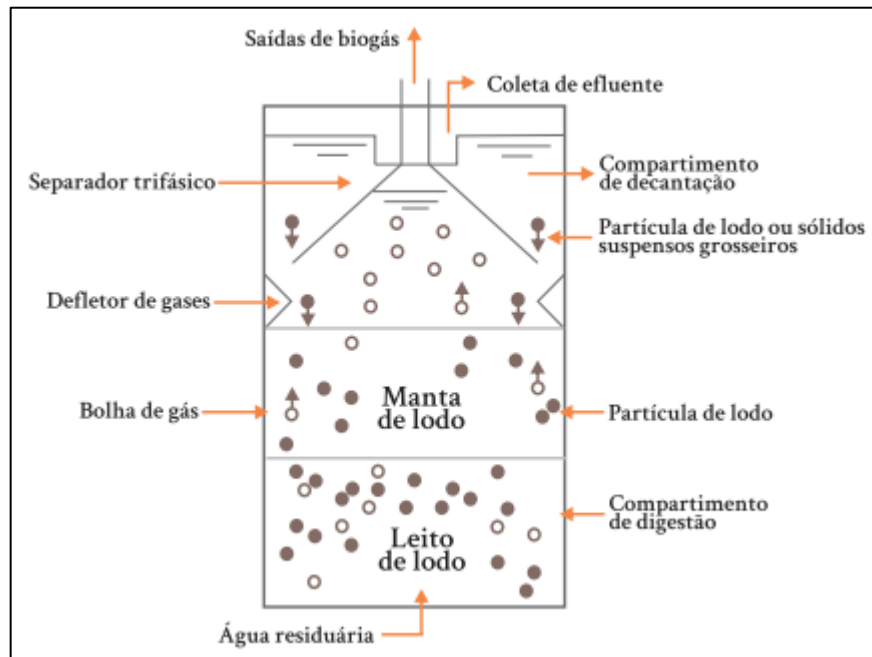
Como o foco desta monografia está na possibilidade de produção de biogás através de resíduos domésticos, o estudo teórico dos biodigestores se restringe ao conhecimento aplicável à discussão, especificamente o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente - RAFA, equipamento mais utilizado para o tratamento deste tipo de resíduo (PECORA, 2006).

2.3.1 Reator anaeróbio de fluxo ascendente – RAFA

O modelo de biodigestor RAFA, sigla em inglês UASB (*Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*), de acordo com Coelho et al. (2006), consiste de um tanque o qual se localiza o sistema biodigestor de fato e, um sedimentador individual, na região superior, para a separação do gás e dos sólidos.

O princípio do biodigestor RAFA, conforme Figura 3, baseia-se no fluxo ascendente do efluente a ser tratado, que é alimentado pelo fundo do reator, atravessa um leito de biomassa ativa, e é descartado após passar por um sistema de placas defletoras colocadas no topo do biodigestor onde se separa as fases líquida, sólida e gasosa. O decantador interno permite que as partículas de lodo retornem à zona de digestão, assegurando o tempo de retenção adequada de sólidos e a obtenção de altas concentrações de lodo anaeróbio no biodigestor (PECORA, 2006).

Figura 3 - Esquema de funcionamento de um biodigestor/reator tipo RAFA.



Fonte: Steinmetz A. et al. (2019).

Em vias de viabilidade de projeto para o estudo de caso, Busato (2004) afirma que as principais vantagens e desvantagens do biodigestor RAFA, tendo como premissa condições ambientais adequadas para o processo químico, são:

Vantagens:

- Dimensionamento compacto, com baixa demanda de área;
- Baixo custo de implantação e operação;
- Baixa produção de lodo;
- Baixo consumo de energia;
- Possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralisações.

Desvantagens:

- Possibilidade de maus odores – no caso de esgoto doméstico, se maus projetados;
- Baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas;
- Necessidade de uma etapa de pós-tratamento.

3 METODOLOGIA

Este trabalho seguiu a metodologia de Furtado *et al.* (2017). O projeto consistiu em dimensionar um biodigestor anaeróbico em um condomínio no interior do Paraná. Alguns parâmetros utilizados nesta pesquisa foram atualizados para fornecer melhor precisão de informação.

Etapa 1 – Estimativa de quantidade de biogás produzido

Para estimar a produção de biogás, inicialmente foi necessário coletar informações básicas para cálculo, tais como: frequência de alunos, volume coletado de esgoto e volume de resíduos sólidos domiciliares.

- Frequência de alunos: Foram coletados dados da frequência de pessoas no prédio ao longo do ano. O prédio residencial em questão está localizado na cidade de Guaratinguetá, São Paulo. Possui 3 andares, 6 quartos por andar, e uma cozinha também por andar. Cada quarto possui seu respectivo banheiro e é dimensionado para 3 estudantes. Assim, a capacidade máxima do edifício é de 54 (cinquenta e quatro) moradores. Todavia, a quantidade de moradores oscila durante o período letivo e não letivo. Na época do estudo (2018) um levantamento realizado junto aos estudantes da delegação do edifício identificou uma média de frequência de estudantes conforme Tabela 2.

Tendo em vista que a análise de viabilidade deste projeto deve considerar a produção de biogás para dar suporte ao consumo durante os meses de maior frequência de moradores no local, este trabalho adotará a média considerando este período, 54 pessoas.

- Volume coletado de esgoto: A produção total do biogás para este prédio foi presumida tomando os valores de resíduos orgânicos e esgoto. Para estimar a quantidade apenas de esgoto produzido, foi utilizado o último valor de referência, ano de 2016, constado pela Série Histórica do SNIS (Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento) da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Ministério das Cidades, a qual a concessionária de água e esgoto do local, publicou as informações constadas na Tabela 3.

Baseando-se nas informações da Tabela 3, foi possível estimar um total diário de 0,13m³ de esgoto produzido por habitante da cidade.

- Resíduos sólidos domiciliares: Além do resíduo de esgoto, foram considerados no estudo os resíduos sólidos domiciliares (lixo orgânico) gerados pelos moradores. Para estimar a quantidade produzida, foi utilizado o último valor de referência, ano 2016, do Plano Municipal de Saneamento, outorgado pela Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Governo do Estado de São Paulo. A cidade de Guaratinguetá apresentou uma estimativa de produção diária em 2018 de 86,27 toneladas de resíduos sólidos domiciliares. Portanto, em média, uma pessoa da cidade produz 790 g de lixo por dia.

Compreende-se que nem toda a produção de resíduos sólidos apresenta a volatilidade necessária para a produção de biogás. Neste projeto foi adotado o valor de Browne (2013), de composição 27,6% SV.

Para a determinação da quantidade de biogás produzido a partir do volume de resíduos provenientes do esgoto e do lixo domiciliar, foi utilizada a mesma referência de Da Rocha (2016), o qual o fator de conversão indica para cada 1000 kg de sólidos voláteis a geração de 400 m³ de metano.

Tabela 2 – Média de Alunos no Período Letivo e Não-Letivo

Mês	Pessoas por Mês
Janeiro	5
Fevereiro	5
Março	54
Abril	54
Maio	54
Junho	54
Julho	20
Agosto	54
Setembro	54
Outubro	54
Novembro	54
Dezembro (média 12 e 54)	30
Média de Pessoas Mês Letivo	54
Média de Pessoas Mês Não-Letivo	7,5

Fonte: Autora.

Tabela 3 – Dados Consolidados SNIS: Água e Esgoto - SAEG - 2016

Código do Município	351840
Município	Guaratinguetá
Estado	SP
Ano de Referência	2016
Prestadores	[35184011] Companhia de Serviço de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá – SAEG
Serviços	Água e Esgoto; Res. Sólidos.
População total atendida com esgotamento sanitário (Habitantes)	109.547
ES005 - Volume de esgotos coletado (1.000 m ³ /ano)	5.451,82

Fonte: Adaptado de SNIS (2016).

Etapa 2 – Dimensionamento do biodigestor

Seguindo a metodologia em questão, o dimensionamento do biodigestor Equação (2) foi dado por:

$$V=Q \cdot \text{HRT} \quad (2)$$

Sendo:

Q [m³.d⁻¹]: vazão volumétrica de substrato por dia;

HRT [d]: tempo de retenção hidráulica da biomassa no digestor em dias;

V [m³]: volume.

O volume total do biodigestor de fluxo ascendente é determinado a partir do volume calculado pela Equação (2), somado ao volume de biogás produzido a partir da biomassa empregada. A área de cada módulo e a largura do reator e do módulo do biogás são obtidas pelas Equações (3) e (4), respectivamente.

$$A_{\text{reator}} = V \cdot H^{-1} \quad (3)$$

$$L_1 = \sqrt{(A_{\text{reator}})} \quad (4)$$

Sendo:

A_{reator} [m²]: área do reator;

H [m]: altura do reator;

L₁ [m]: largura do reator.

Conforme metodologia aplicada os cálculos de dimensionamento, de um reator UASB em escala real consideram como valores comumente utilizados para o dimensionamento:

- HRT: tempo de retenção hidráulica da biomassa no digestor: 8 dias;

- H: altura do reator: entre 3m e 5m. Foi adotado 4,5m.

Etapa 3 – Estimativa de custo prévio

Em vias de viabilidade econômica, foi considerado dado estimativo prévio de Jordan et al. (2004), que indica um investimento inicial de R\$ 20.000,00 em um biodigestor com capacidade para produzir 150 m³.d⁻¹.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metodologia aplicada na Etapa 1, possibilitou quantificar a produção diária de resíduos sólidos e esgoto no prédio em proporção ao número de habitantes por período, para assim ser possível determinar a necessidade diária de biogás para a geração de energia. Estas informações foram tabuladas conforme Tabela 4.

Os resultados trazem dados relevantes ao diálogo socioambiental do Campus, indicando uma estimativa de produção de esgoto de 1950,72 m³/ano e 12 toneladas/ano de resíduos sólidos.

Tabela 4 – Estimativa de Produção de Esgoto e Lixo Doméstico por Dia e por Mês na Moradia Estudantil – UNESP - Campus Guaratinguetá

Mês	Pessoas	Esgoto (m ³ /dia)	Esgoto (m ³ /mês)	Lixo (kg/dia)	Lixo (kg/mês)
Janeiro	5	0,65	20,15	3,95	122,45
Fevereiro	5	0,65	18,2	3,95	110,6
Março	54	7,02	217,62	42,66	1322,46
Abril	54	7,02	210,6	42,66	1279,8
Maio	54	7,02	217,62	42,66	1322,46
Junho	54	7,02	210,6	42,66	1279,8
Julho	20	2,6	80,6	15,8	489,8
Agosto	54	7,02	217,62	42,66	1322,46
Setembro	54	7,02	210,6	42,66	1279,8
Outubro	54	7,02	217,62	42,66	1322,46
Novembro	54	7,02	210,6	42,66	1279,8
Dezembro	30	3,835	118,885	23,305	722,455
			Esgoto (m ³ /ano)	Lixo (kg/ano)	
Montante Anual			1950,715	11854,345	

Fonte: Autora.

Um levantamento junto aos moradores indicou que o consumo de gás GLP na moradia estudantil durante o considerando o período letivo, onde a demanda é maior, gira em torno de 1,5 cilindro de gás GLP de 45 kg por mês.

Em comparação com a Tabela 5, a quantidade de biogás produzida no processo de digestão dos resíduos sólidos orgânicos e esgoto é pequena em relação à necessidade diária (consumo de gás GLP) requerida para o uso energético na cozinha. No entanto, a

implementação do reator RAFA pode contribuir diretamente no tratamento dos resíduos doméstico orgânicos, promovendo uma alternativa à produção de lixo indicada na Tabela 4, além da utilização do gás na geração de energia.

Tabela 5 – Dados de Produção de Esgoto e Lixo Orgânico por Dia e Ano no Prédio

Total Produzido Por Dia	
Estimativa de Produção de Biogás Total (m ³ /dia)	5,30
Equivalência diária em GLP (L) (1 m ³ Biogás/0,396 L de GLP)	2,10
Total Produzido Por Ano	
Estimativa de Produção de Biogás Total (m ³ /ano)	1936,29
Estimativa de Produção de Biogás Total (L) (1 m ³ /0,396 L de GLP)	766,77

Fonte: Autora.

A metodologia aplicada na Etapa 2 possibilitou dimensionar o reator RAFA, chegando nas seguintes limitações:

Tabela 6 – Dimensionamento do Reator UASB

A _{reator} (m ²)	9,43
L1 (m)	3,07
V(m ³)	42,44

Fonte: Autora.

Por fim, utilizando-se uma análise análoga à Etapa 3, para a produção de 5,3m³.d⁻¹ o investimento inicial seria em torno de R\$ 1.000,00. Todavia, levando-se em conta os ajustes tributários e a inflação no Brasil, seria interessante projetar este valor de acordo com os índices econômicos vigentes.

5 CONCLUSÃO

O projeto de implantação do biodigestor é interessante à medida que introduz no âmbito universitário um objeto de pesquisa resoluto a questões sócia-ambientais. Os equipamentos necessários à montagem do sistema estão disponíveis no mercado e a tecnologia envolvida para a construção de um biodigestor RAFA é relativamente simples e de baixa complexidade tanto de custo quanto operacional.

A utilização do biodigestor pode ser uma solução importante à questão do lixo produzido no local, pois, à medida que se tem uma necessidade em separar resíduos orgânicos e não orgânicos, o estímulo à reciclagem de lixo se torna mais intenso e coleta seletiva mais eficiente.

Além disso, o interesse da Universidade em buscar e aplicar práticas e modelos que possam solucionar questões de alto impacto socioambiental pode influenciar não somente âmbito acadêmico como também pode se estender ao mercado e até mesmo a programas governamentais.

Refletindo sobre a questão da demanda de gás GLP do prédio, um levantamento junto aos moradores indicou que o consumo do gás de cozinha no período com maior frequência de pessoas gira em torno de 1,5 cilindros de gás 45 kg por mês. Portanto, em sua capacidade de produção máxima, a implantação do biodigestor compensaria aproximadamente um mês deste custo durante o ano.

Os biodigestores são bons meios de tratamentos de resíduos e esgoto independentes, por isso não devem ficar restritos a apenas uma análise específica de projeto da faculdade, e sim devem ser expandidos para as demais estruturas do Campus e da UNESP.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 15.ed. São Paulo, 2017. Disponível em: https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf. Acesso em: 13 out. 2018.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: 24º diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf. Acesso em: 16 mai. 2019.
- BROWNE, J. D.; MURPHY, J. D. Assessment of the resource associated with biomethane from food waste. **Applied Energy**, v. 104, p. 170-177. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912008100>. Acesso em: 06 dez. 2018.
- BUSATO, R. **Desempenho de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente como tratamento de efluente de reator UASB**: estudo de caso da ETE de Ibituva. 2004. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Ambientais, Curitiba, 2004. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/1589>. Acesso em: 06 dez. 2018.
- CAPASSI, C. M. *et al.* Dimensionamento de um reator UASB para o tratamento de águas residuárias de suinocultura. **InterfaceHS Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 8, n. 2, p.19-39, 2013.
- CASSINI, S. T. (coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 210 p. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabStulio.pdf>. Acesso em: 13 out 2018.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos**. São Paulo: CETESB, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/residuos-solidos/residuos-urbanos-saude-construcao-civil/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 12 dez. 2018.
- COELHO, S. T. *et al.* Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL. 6., 2006, Campinas. **Anais [...]**Campinas: Scielo proceedings, 2006. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100070&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 12 set. 2018.
- COSTA, R. J. R. **Produção e aplicação de biogás**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia) - Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2011.
- DEGANUTTI, R. *et al.* Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL. 4., 2002, Campinas. **Anais [...]** Campinas:

Scielo proceedings, 2002. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/328889884_BIODIGESTORES_RURAIIS_MODEL_O_INDIANO_CHINES_E_BATELADA. Acesso em: 12 dez. 2018.

ELDEIR, S. G. (org.). **Resíduos sólidos: perspectivas e desafios para a gestão integrada**. Recife: EDUFRPE, 2014. 267 p.: il.

FURTADO, A. C.; NOGUEIRA, F. P.; ANDO, J. O. H.; FRIGO, J. P.; BORNE, K.; SILVA, J. R. Dimensionamento de um biodigestor: Aproveitamento de resíduos urbanos para a geração de biogás. *In*: ROSS, B. Z. L.; CARNEIRO, C.; POSSETTI, G. R. C. (orgs.).

Eficiência Energética no Saneamento. Curitiba, PR: Hannover Empresarial, 2016. v. 1, p. 81-90. Disponível em:

https://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/publicacoes/Livro-Eficiencia_Energetica_no_Saneamento.pdf. Acesso em: 13 out. 2018.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**.

2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GOUVEIA, N. 2012. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1503-1510.

JORDAN, R.A. *et al.* Comparativo econômico do uso de uma bomba de calor para aquecimento e resfriamento de água em laticínios em relação ao aquecedor elétrico e o sistema de refrigeração convencional. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais [...]**. Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering. Treatment, disposal, and reuse**. 3. ed. Singapura: McGraw-Hill, Inc. International Edition, p.1334. 1991.

MOSEY, F. E. **Mathematical modelling of the anaerobic digestion process: regulatory mechanisms for the formation of short-chain volatile acids from glucose**. **Water Science and Technology**, London, v. 15, p. 209-232, 1983.

NAZARO, M. S. **Desenvolvimento de um biodigestor residencial para processamento de resíduos sólidos orgânicos**. Orientador: Marcio Antonio Andrade Nogueira. 2016. 105 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/166781>. Acesso em: 12 dez. 2018.

NIELSEN, H.B.; ANGELIDAKI, I. Strategies for optimizing recovery of the biogas process following amônia. **Bioresour Technol**, Oxford, v. 99, n. 17, p. 7995-8001, 2008.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: estudo de caso**. 2006.

Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em:

<https://repositorio.usp.br/item/001542064>. Acesso em: 18 set. 2018.

ROCHA, C. M. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares**. Orientadora: Sue Ellen Costa Bottrel. 2016. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental//files/2014/02/TCC-camila-final-pdf.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2018.

STACHISSINI, M. G. **Estudo sobre a implantação de um sistema biodigestor em uma propriedade rural em Mamborê – PR**. 2014. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

STEINMETZ, A.; AMRAL, A. C. do.; KUNZ, A. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 43-43. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1108617>. Acesso em: 06 mai. 2019.

TURDERA, M. V.; YURA, D. Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de dourados. *In*: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Anais** [...] Campinas: Scielo Proceedings, 2006. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100062&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 06 dez 2018.