

VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NAS FOSSAS SÉPTICAS BIODIGESTORAS

VIABILITY OF BIOGAS PRODUCTION IN BIODIGESTER SEPTIC SÉPTICAS

Beatriz Fernandes Barbosa Lima¹
Ivânia Soares de Lima²
João Sérgio Nobre Duarte Cruz³

RESUMO

O saneamento básico, dentre diversos aspectos que compreendem a saúde pública, abrange inúmeros métodos de tratamento de esgoto. Os métodos convencionais de sistemas sépticos não visam minimizar impactos ambientais, assunto de extrema importância pelo fato da construção civil se tratar de um dos setores mais poluentes no país. Em contrapartida o sistema de fossas sépticas biodigestora permite o tratamento das fezes depositadas no vaso sanitário por meio da biodigestão anaeróbica. No final deste processo é gerado o biogás, um biocombustível constituído de metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), gás sulfídrico (H_2S) e outros gases em menores proporções. Contudo, só se torna combustível eficiente quando o teor de CH_4 for superior ao de CO_2 . O rendimento de metano em um biodigestor depende das condições ideais para as bactérias metanogênicas efetuarem as etapas de reações. Estes microrganismos se desenvolvem melhor com os parâmetros da biomassa controlados. Portanto, a biomassa adicionada no biodigestor deve ser escolhida, podendo ser resíduos da indústria alimentícia, restos de alimentos, fezes ou lodo. O aproveitamento destas biomassas, além de ter promovido inúmeros benefícios ambientais, tem favorecido, também, o social com geração de rendas. Dessa forma, o projeto se torna viável no tripé da sustentabilidade (ambiental, social e econômico), pois biogás pode substituir o gás liquefeito de petróleo (GLP). Neste trabalho, cujo caráter da pesquisa é descritivo, os objetivos específicos avaliar a viabilidade de implantar o sistema na zona urbana, em três situações diferentes, e o objetivo geral consiste na realização do projeto para a situação de maior viabilidade.

Palavras-chave: Saneamento básico. Biodigestores. Gás de cozinha. Metano.

ABSTRACT

Basic sanitation, among several aspects that include public health, covers numerous methods of sewage treatment. Conventional methods of septic systems are not intended to minimize environmental impacts, a matter of the utmost importance because civil construction is one of the most polluting sectors in the country. On the other hand, the biodigester septic tank system allows the treatment of feces deposited in the toilet through anaerobic biodigestion. At the end of this process is generated biogas, a biofuel consisting of methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2), sulphide gas (H_2S) and other gases in smaller proportions. However, it only becomes fuel efficient when the CH_4 content is higher than that of CO_2 . Methane yield in a biodigester depends on the ideal conditions for methanogenic bacteria to perform the reaction steps. These microorganisms develop better with controlled biomass parameters. Therefore, the

biomass added in the biodigester should be chosen, and may be waste from the food industry, food waste, feces or swum. The use of these biomasses, besides having promoted numerous environmental benefits, has also favored the social with income generation. Thus, the project becomes viable on the tripod of sustainability (environmental, social and economic), because biogas can replace liquefied petroleum gas (LPG). In this work, whose research character is descriptive, the specific objectives evaluate the feasibility of implementing the system in the urban area, in three different situations, and the general objective is to carry out the project for the situation of greater viability.

Keywords: Sanitation. Biodigesters. Cooking gas. Methane.

Submetido em 11 de novembro de 2019 e aprovado em 27 de dezembro de 2019.

¹ Graduação em Engenharia Civil; Centro Universitário FACOL; bia_lima_10@hotmail.com

² Doutorado em Tecnologias Energéticas Nucleares; Universidade Federal de Pernambuco; ivaniasoaresdelima@gmail.com

³ Doutorado em Engenharia Civil; Instituto Superior Técnico; j.sergio.cruz@gmail.com

27 de dezembro de 2019

1 INTRODUÇÃO

A fossa séptica biodigestora trata o esgoto proveniente do vaso sanitário através da decomposição anaeróbia das fezes por meio de bactérias metanogênicas, obtendo como resultado o biogás e o biofertilizante. Além da eficiência no processo, essa solução tecnológica torna-se ainda mais viável em locais sem coleta ou unidade de tratamento de esgoto, realidade presente até nas grandes cidades, seja em áreas de crescimento desordenado ou nas zonas rurais. O tratamento do esgoto além de impedir que o mesmo seja descartado clandestinamente (a céu aberto ou através de ligação direta ao rio) permite que, por consequência, não haja contaminação do lençol freático e dos próprios rios, preservando a saúde daqueles que dependem diretamente da água disponível nestes locais. Além disso, as famílias que dispuserem desse tipo de fossa em suas residências e que sobrevivam da agricultura familiar, por exemplo, aumentarão suas produtividades por meio do biofertilizante produzido no sistema, rico em minerais e não nocivos à saúde humana, diferente dos agrotóxicos comercializados atualmente. Também haverá o benefício econômico através do biogás (principal foco do estudo) produzido no sistema.

O processo é livre de odores, não procriando insetos e/ou animais indesejados (baratas, moscas, ratos, etc) e evitando suas doenças transmissíveis. Além do baixo custo com manutenção que consiste em água e esterco bovino, o material de construção é comumente encontrado, a mão de obra e a instalação são consideradas simples e o valor estipulado para uma fossa séptica que atenda uma demanda de até 5 pessoas é, de acordo com a Embrapa, cerca de R\$1.000.00.

Dessa forma, o sistema encarrega-se de amenizar os impactos ambientais causados pelo descarte dos resíduos sólidos residenciais ou até mesmo de outros sistemas de fossas que não dispõem de tratamento e destinação adequada do produto final deste desenvolvimento. O impacto ambiental também é reduzido na substituição do gás liquefeito de petróleo (GLP) pelo biogás, subproduto da fossa séptica. Sabendo que o GLP vem de uma fonte não renovável (o petróleo) e, apesar de ser em pequenas porcentagens, emite gases poluentes no seu processo de queima, a sua substituição pelo biogás se torna ainda mais viável, pois o biogás é um produto biodegradável e, no sistema proposto, será resultante de um tratamento de resíduos que, até então, seriam descartados de modo degradativo ao meio ambiente.

Além disso, a substituição proposta traz, também, benefícios financeiros, visto que não haverá gastos na aquisição de GLP a partir do momento que o biogás passar a ser utilizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Processos químicos do sistema da fossa séptica biodigestora

2.1.1 Biogás

Segundo Araújo (2017), o biogás é produzido a partir da digestão anaeróbia¹ de matéria orgânica por bactérias. É encontrado na forma gasosa e sua composição consiste em: hidrocarboneto metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e outros compostos como hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas e oxigênio. A concentração de metano varia de acordo com as condições em que o biogás foi produzido.

Oliveira e Gomes (2008) definem o biogás como um combustível com a queima de forma limpa e renovável, podendo ser utilizado como fonte de energia alternativa e/ou combustível.

2.1.2 Produção do biogás

A produção do biogás ocorre em meio apropriado onde as bactérias metanogênicas² digerem a matéria orgânica, produzindo o combustível (DERUBEIN E STEINHAUSER, 2011). Esse meio requer condições físicas e químicas específicas para que as bactérias se desenvolvam no interior do biodigestor, levando em consideração o pH, temperatura e a relação carbono/nitrogênio da biomassa. Dessa forma, a digestão da matéria orgânica ocorre em quatro etapas principais: hidrólise, fermentação, oxidação anaeróbica e formação de metano e subprodutos (biogás).

2.1.2.1 Hidrólise

Silva e Bortoli (2017) definem a hidrólise como a etapa em que as moléculas da matéria orgânica são quebradas em moléculas menores para que possa ocorrer a digestão dessa matéria pelas bactérias presentes no biodigestor que são responsáveis por segregar enzimas que irão romper as moléculas de proteína, ocasionando a formação de subprodutos com álcoois, ácidos graxos e açúcares simples. Essa quebra das moléculas permite que os microrganismos absorvam pequenas partes da matéria orgânica, aproveitando a energia contida nelas. O tipo de material e sua estrutura estão diretamente relacionados à velocidade

¹ Ambiente com ausência de oxigênio.

² Bactérias que possuem capacidade de sobreviver em condições adversas, locais com grande presença de sal, extremamente ácidos, baixa umidade, ausência de oxigênio, temperaturas elevadas ou baixas. Possuem a capacidade de produzir gás metano.

desse processo.

2.1.2.2 *Fermentação*

É realizada conforme o material orgânico é digerido e à disponibilidade de bactérias no biorreator, havendo continuação na quebra das moléculas (MURTO et al., 2004). As reações que ocorrem nesta fase formam os ácidos divididos em ácidos gordos, orgânicos³; álcoois e amoníaco, também são formados o hidrogênio e CO₂. Nesta etapa, os ácidos graxos provenientes da etapa anterior não são quebrados e todos os produtos formados dependem diretamente dos microrganismos presentes e dos fatores ambientais.

2.1.2.3 *Oxidação anaeróbica ou acetogênese*

As moléculas formadas nas etapas anteriores são rompidas, através da oxidação anaeróbica, em moléculas menores e o material que foi degradado é convertido, pelas bactérias acetogênicas, formando hidrogênio, ácido acético e CO₂. As bactérias metanogênicas são necessárias nesta etapa para consumir o hidrogênio, visto que as bactérias acetogênicas não resistem a elevadas quantidades dele (ARAÚJO, 2017).

2.1.2.4 *Formação de Metano e biogás*

Etapa conhecida por metanogênese por ser responsável pela formação do metano, composto principal do biogás e a substância de maior interesse em todo o processo. Os subprodutos das etapas anteriores são necessários para a formação do metano, no entanto os microrganismos metanogênicos são mais sensíveis às interferências (perturbações de alterações no pH e substâncias tóxicas, sujeitas a alteração ao longo das etapas), comparados aos microrganismos das fases anteriores, pelo fato de não pertencerem ao mesmo grupo de microrganismos (*Archaea*) (AMARAL et al., 2019, p. 17).

2.1.3 Purificação do biogás

A purificação do biogás consiste na dissolução de sulfeto de hidrogênio (H₂S) e dióxido de carbono (CO₂) através da lavagem com água pressurizada, para que haja a remoção destes gases.

De acordo com Abatzoglou e Boivin (2009), os principais fatores que devem ser considerados

³ Ácido acético, butírico e láctico.

no quesito de potencial calorífico do biogás são: o grau de pureza e a concentração de gás metano.

2.1.4 Biodigestão anaeróbica e biodigestores

2.1.4.1 *Biodigestão anaeróbica*

Santos (2016) explica a biodigestão anaeróbica como o processo que envolve a decomposição da matéria orgânica em determinado meio sem a presença do oxigênio, tendo como resultado um composto constituído, o biogás, e um resíduo líquido rico em minerais, o biofertilizante.

Nesse processo, as bactérias metanogênicas ao se alimentarem da biomassa irão liberar, no processo de digestão, o biogás. Para isso é necessário que o meio esteja com os parâmetros necessários para a sobrevivência e proliferação dessas bactérias, esses parâmetros são: ausência de oxigênio, pH equilibrado, temperatura equilibrada, dentre outros fatores.

2.1.4.2 *Biodigestores*

De acordo com Magalhães (1986), os biodigestores são equipamentos herméticos e impermeáveis onde se deposita matéria orgânica para que ocorra a fermentação anaeróbica⁴ em determinado tempo de detenção, ocorrendo o processo bioquímico conhecido por biodigestão anaeróbica. O resultado desse processo é a formação de gases, principalmente metano e dióxido de carbono, e biofertilizante.

A estrutura do biodigestor é definida por Pinto (2008) como uma câmara cilíndrica, vertical ou superficial (acima do solo), com uma campânula que acumula o gás desprendido da digestão da biomassa, conhecido por gasômetro.

No reservatório do biodigestor é armazenada a biomassa, o gasômetro armazena o biogás que, por sua vez, após ser retido na parte livre do biodigestor pode ser canalizado para uso.

Segundo Samulak *et al.* (2010), algumas vantagens do uso de biodigestores são: baixo custo de implantação e operacional; simples controle, operação e manutenção; eficaz remoção de variáveis categorias de poluentes; baixos requisitos de área; possui elevada vida útil e a possibilidade de recuperação dos subprodutos (biogás e biofertilizante).

2.1.4.2.1 *Classificação dos biodigestores*

2.1.4.2.1.1 *Biodigestor contínuo*

⁴ Em ausência de oxigênio.

O abastecimento de biomassa no sistema é feito diariamente, sendo a descarga proporcional à sua entrada.

2.1.4.2.1.2 *Biodigestor intermitente*

É utilizada a capacidade máxima de biomassa, sendo retida até a biodigestão completa. Após esse processo, é retirada dos restos da digestão para ser realizada nova recarga.

2.1.5 Biomassa

Qualquer material passível de decomposição através da ação de variados tipos de microrganismos pode ser definido por biomassa. Sob condições específicas de temperatura, pH, relação carbono/nitrogênio, nível de umidade, quantidade de bactérias por volume de biomassa e presença ou não de oxigênio, a biomassa decomposta pelas bactérias metanogênicas irá produzir o biogás.

De acordo com Seixas et al., (1980) primeiro deve-se escolher o modelo de biodigestor, em seguida observar a quantidade de biomassa disponível. Dessa forma, pode-se calcular a capacidade de produção de biogás após instalação do biodigestor.

2.1.5.1 *Tipos de biomassa*

2.1.5.1.1 *Biomassa líquida*

Resulta das “culturas energéticas” e abrange uma série de combustíveis líquidos, por exemplo: o etanol obtido pela fermentação de hidratos de carbono⁵, biodiesel obtido através de óleos de colza ou girassol e o metanol produzido pela síntese do gás natural.

2.1.5.1.2 *Biomassa gasosa*

Presente nos efluentes agropecuários resultantes da agroindústria e do meio urbano e em aterros de resíduos sólidos urbanos. Esses resíduos resultam da degradação anaeróbia da matéria orgânica e são compostos pela mistura de metano e gás carbônico.

⁵ Exemplo: açúcar, amido, celulose.

2.1.5.1.3 *Biomassa sólida*

Sua fonte são os resíduos agrícolas, abrangendo substâncias vegetais e animais, resíduos florestais e a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

2.1.6 Fossas sépticas biodigestoras

“A Fossa Séptica Biodigestora é formada por um conjunto de, no mínimo, três (03) caixas d’água de fibra de vidro de 1000 litros conectadas por tubulações que compõem a tecnologia de tratamento do esgoto doméstico de uma residência de até cinco (05) pessoas. O sistema é ligado à tubulação da saída do vaso sanitário, recebendo o efluente proveniente das descargas (fezes e urina), classificado tecnicamente como ‘água negra’. O esgoto proveniente das pias, lavabos, chuveiros, ralos, área de serviço e cozinhas, identificado como ‘água cinza’, não deve ser lançado na Fossa Séptica Biodigestora pois possui sabões, detergentes e gorduras que prejudicam o processo de tratamento, além de tratar-se de um resíduo líquido muito diluído” (EMBRAPA, 2017).

O funcionamento desse tipo de fossa ocorre por meio da fermentação anaeróbica pelos microrganismos presentes no esgoto, seguindo as condições anteriormente mencionadas (temperatura, pH, tempo de permanência dos nutrientes, etc). Após consumir a matéria orgânica, os microrganismos transformam o esgoto bruto em esgoto tratado (efluente) que pode ser utilizado como fertilizante ao solo. No início do processo deve-se aplicar uma mistura de cinco (05) litros de esterco bovino⁶ fresco e cinco (05) litros de água, devendo ser repetido uma vez por mês. Essa aplicação deve ser feita devido ao fato do esterco possuir uma seleção de bactérias que aumentam a eficiência, potencializam o tratamento, reduzem odores e influenciam na qualidade do líquido que sairá do sistema, além de degradarem a matéria orgânica e transformá-la em biogás.

As duas primeiras caixas chamam-se ‘módulo de fermentação’ e são os locais em que irá ocorrer a biodigestão anaeróbica pelas bactérias. A última caixa, também chamada de caixa coletora, armazena o efluente já estabilizado, podendo ser retirado para utilização. Todas as caixas devem estar seguramente vedadas para que sejam evitadas possíveis variações de temperatura.

2.1.7 Viabilidade técnica e econômica das fossas sépticas biodigestoras

⁶ As principais bactérias presentes no esterco bovino são: celulolíticas (responsáveis por fermentar carboidratos estruturais), hemicelulolítica (responsáveis por digerir componentes da parede celular), pectinolíticas (fermentam a pectina), amilolíticas (fermentam os carboidratos não-estruturais, o amido) e ureolíticas (hidrolisam a uréia e liberam amônia).

A fossa séptica biodigestora trata o esgoto proveniente do vaso sanitário através da decomposição anaeróbica das fezes por meio de bactérias metanogênicas, obtendo como resultado o biogás e o biofertilizante. Além da eficiência no processo, essa solução tecnológica torna-se ainda mais viável em locais sem coleta ou unidade de tratamento de esgoto, realidade presente até nas grandes cidades, seja em áreas de crescimento desordenado ou nas zonas rurais. O tratamento do esgoto além de impedir que o mesmo seja descartado clandestinamente (a céu aberto ou através de ligação direta ao rio) permite que, por consequência, não haja contaminação do lençol freático e dos próprios rios, preservando a saúde daqueles que dependem diretamente da água disponível nestes locais. Além disso, as famílias que dispuserem desse tipo de fossa em suas residências e que sobrevivem da agricultura familiar, por exemplo, aumentarão suas produtividades por meio do biofertilizante produzido no sistema, rico em minerais e não nocivos à saúde humana, diferente dos agrotóxicos comercializados atualmente. Também haverá o benefício econômico através do biogás produzido no sistema.

O processo é livre de odores, não procriando insetos e/ou animais indesejados (baratas, moscas, ratos, etc) e evitando suas doenças transmissíveis.

O sistema é composto por três caixas interligadas uma à outra. Ao entrar, o esgoto passa pelo processo de biodigestão, reduzindo a carga de agentes biológicos considerados nocivos à saúde humana. O tempo desse processo irá variar dependendo da temperatura e utilização da fossa. Na terceira caixa do sistema haverá o acúmulo do líquido, que poderá ser usado como biofertilizante.

“A fossa biodigestora desenvolvida pela EMBRAPA tem maior vantagem em relação ao tanque séptico e a fossa verde. Ela utiliza o efluente no solo na forma de fertirrigação; caso não queira utilizar o efluente pode se montar uma vala de infiltração ou um sumidouro onde o efluente penetra no solo, desde que se analise com antecedência a vulnerabilidade do lençol freático. A fossa biodigestora atende a legislação, seu custo e área construída são menores se comparados ao tanque de evapotranspiração e não há necessidade de manutenção.” (Teixeira et al., 2018)

3 METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida tem caráter descritivo, tendo como base execuções e planejamentos de fossas sépticas biodigestoras aplicados em zona rural pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa) e adequando o sistema para novas aplicações, provando que mesmo em área urbana o sistema possui sua viabilidade. Foi realizada revisão de literatura, coleta de

dados quantitativos e qualitativos e estudo em campo.

Foram consideradas três situações (locais) para aplicação do sistema: o Centro Universitário FACOL (UNIFACOL), a cidade universitária governador Marco Maciel (CDUGMMA) e o condomínio Estação do Sol localizado na cidade de Recife-PE, apresentadas no tópico 3.1.

Nos dois primeiros casos foram realizadas estipulações de valores para dimensionar o sistema e análise subjetiva com a finalidade de estudar até que ponto se tornaria viável a aplicação deste projeto. Para o condomínio foi realizada análise objetiva, com estudo de campo, obtenção de informações por meio de questionário aplicado ao síndico e dimensionamento com base nas informações obtidas.

Todos os cálculos para o dimensionamento foram consultados na Norma Brasileira NBR 7229/92 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos e na Norma Brasileira NBR 5626:1998 – Instalação predial de água fria, devido ao fato de não haver uma norma técnica específica para sistemas de fossas sépticas biodigestoras, as normas convencionais foram utilizadas a fim de se obter valores precisos para dimensionar o sistema de forma que atenda à sua demanda.

A única situação a qual concluiu a fase de projeto do sistema foi o condomínio, devido a obtenção de todas as informações necessárias para cálculo. Tendo em vista que o sistema convencional é aplicado apenas em zona rural, o projeto foi todo adaptado à realidade de uma edificação residencial, considerando sua demanda, sistema de esgoto atual, fossas atuais e tubulações, dimensionando o sistema novo de forma que atenda à contribuição de esgoto atual e que faça uso das fossas e tubulações que possam ser reaproveitadas para minimizar custos.

3.3 Trabalho de campo: escolha dos locais.

3.3.1 Centro Universitário Facol (UNIFACOL)

O estudo voltado à UNIFACOL visa a implantação de uma fossa séptica biodigestora ligada aos banheiros do térreo da Universidade, especificamente os que ficam ao lado da quadra esportiva da universidade.

A escolha desses banheiros se dá ao fato de serem os mais próximos à cozinha do refeitório que também é utilizada para o curso de gastronomia. Dessa forma, a tubulação de saída do biogás produzido pela fossa será ligada diretamente à cozinha, para substituição do GLP utilizado nos fogões.

3.3.2 Cidade Universitária Governador Marco Maciel (CDUGMMA)

O CDUGMMA está localizado no Loteamento Conceição II, ao lado do Parque de Exposições e Vaquejada da cidade de Vitória de Santo Antão. Composto apenas por pavimento térreo, possui 08 (oito) banheiros, frequentado regularmente por funcionários e estagiários, visitado por estudantes e encontra-se em fase de desenvolvimento. Dispõe nos seus arredores da mata ciliar do Rio Itapacurá e do Riacho Galiléia. A cidade universitária além de preservar essa mata ciliar, tem o projeto urbanístico da plantação de mais de 10 mil mudas de árvores. Lá também se desenvolve o CINTEP – Centro Integrado de Tecnologia e Pesquisa.

Logo, por ser um local berço para o desenvolvimento científico atrelado a preservação ambiental, torna-se receptível do recebimento do sistema de fossa séptica biodigestora que partilha das mesmas ideologias.

3.3.3 Condomínio Estação do Sol

O condomínio Estação do Sol, atualmente, possui um sistema de fossa séptica convencional (Imagens 1 e 2). A proposta é substituir o atual sistema por um que seja mais viável do ponto de vista ambiental e econômico. Foi realizada a coleta de dados por meio de um questionário fornecido ao síndico do condomínio, respondido entre os dias 05 e 06 de agosto de 2020, cuja finalidade consistiu em obter dados e informações precisas sobre o atual sistema de esgoto do local, para efetuar os cálculos para substituição dele.

Com este questionário pôde-se obter as informações de que: o condomínio possui dez torres de oito andares, com quatro apartamentos por andar. No oitavo andar existem quatro coberturas. Os apartamentos possuem cinco cômodos, as coberturas pares possuem sete, as coberturas ímpares possuem oito e os apartamentos térreos possuem sete, com exceção dos apartamentos térreos das torres 04, 05 e 10 que não possuem área externa frontal, possuindo apenas seis cômodos.

Cada apartamento possui um banheiro e cada cobertura possui dois banheiros. Existem quatro caixas de gordura e quatro caixas de esgoto por torre. O volume das caixas de esgoto é de 1x1x1m. Atrás da torre 04 existe uma fossa séptica e ao lado da mesma há uma cisterna de 35.000 litros. Atualmente existem dois poços ativos no condomínio.

O volume de biomassa retirado nas caixas de esgoto de cada torre difere uns dos outros, porém são retirados, em média, 44.000 metros quadrados de biomassa de cada. A remoção dessa biomassa é feita a cada quatro meses e custa R\$5.000,00 (cinco mil reais). O síndico também respondeu que teria interesse em reduzir este custo com a limpeza substituindo as caixas de esgoto por fossas sépticas biodigestoras e substituir o GLP (gás liquefeito de petróleo) utilizado no condomínio pelo biogás que seria produzido nas fossas sépticas

biodigestoras.

A média de moradores permanentes em cada torre é de 95%, não há apartamentos desocupados nem atualmente, nem até três meses antes da aplicação do questionário. Em relação a quantidade média de visitantes em cada torre nos finais de semana o síndico não soube informar. Quanto ao uso de GLP, em média são consumidos de 1.500 a 1.700 kg do gás por mês. São armazenados 8 botijões de gás no condomínio, cada um com 190 kg (Imagem 3).

Cada torre possui quatro caixas, sendo duas para fezes e duas para gorduras. Existe uma fossa séptica para cada três torres, responsável por canalizar apenas as fezes das 10 torres, totalizando 4 fossas (Imagem 4). Por fim, há uma fossa central (Imagem 5), com três compartimentos: para fezes, urina e um compartimento com brita para filtrar a urina e destiná-la a rede de esgoto.

Figura 1 – Condomínio Estação do Sol e alguns de seus sistemas de fossa séptica.



Fonte: Autoral, 2020.

Figura 2 – Fossas sépticas do edifício.



Fonte: Autorial, 2020.

Figura 3 – Local para armazenamento do gás e suas tubulações.



Fonte: Autorial, 2020.

Figura 4 – Fossas sépticas responsáveis por canalizar apenas as fezes.



Fonte: Autoral, 2020.

Figura 5 – Fossa central.



Fonte: Autoral, 2020.

A tubulação aparente, de cor amarela, é referente à distribuição do gás de cozinha (GLP). Nota-se que essa tubulação está próxima aos tanques, o que se torna propício para um sistema de fossa séptica biodigestora neste local, visto que a válvula de saída do gás produzido no sistema poderá ser ligada à tubulação de fornecimento de gás dos apartamentos.

3.4 Levantamento

Consiste no dimensionamento dos resíduos produzidos pela fossa, com a finalidade de dimensioná-la para atender a demanda. Todas as equações e considerações apresentadas estão de acordo com a Associação brasileira de normas técnicas: ABNT NBR 7229/93 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos e com auxílio da ABNT NBR 5626:1998 – Instalação predial de água fria, para estipular o número de pessoas no edifício no caso do seu uso máximo. A consideração dessas normas se dá devido ao fato de não existir uma norma técnica específica para fossa séptica biodigestora.

3.5 Cálculo

Para a contribuição de resíduos na fossa, por pessoa, será seguida a Equação 01: $N \times C =$ Contribuição por pessoa em litro por dia (L/dia), onde:

N = número de contribuintes.

C = contribuição de despejos, em litros/pessoa \times dia ou em litro/unidade \times dia, seguindo a Figura 6.

Para o cálculo do volume de contribuição mensal do sistema, será utilizada a Equação 02:

$V_u = 100 \times N \times (C \times T + K \times L_f)$, onde:

N = número de contribuintes.

C = contribuição de despejos, em litros/pessoa \times dia ou em litro/unidade \times dia, seguindo a Figura 6.

T = tempo de detenção hidráulica, em dias, seguindo a Figura 7.

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco, seguindo a Figura 8.

L_f = contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa \times dia ou em litro/unidade \times dia, seguindo a Figura 9.

Figura 6 - Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (Lf)	
		C	Lf
1. Ocupantes permanentes			
- residência			
padrão alto	pessoa	160	1
padrão médio	pessoa	130	1
padrão baixo	pessoa	100	1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- alojamento provisório	pessoa	80	1
2. Ocupantes temporários			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30
- escritório	pessoa	50	0,20
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
- bares	pessoa	6	0,10
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2	0,02
- sanitários públicos ^(A)	bacia sanitária	480	4,0

^(A) Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio esportivo, etc.).

Fonte: ABNT, 1993.

Figura 7 – Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: ABNT, 1993.

Figura 8 – Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	$t \leq 10$	$10 \leq t \leq 20$	$t > 20$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: ABNT, 1993.

Figura 9 – Profundidade útil mínima e máxima por faixa de volume útil.

Volume útil (m ³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: ABNT, 1993.

4 RESULTADOS

4.3 Centro universitário Facol (UNIFACOL)

Considerando a universidade um prédio de ocupantes temporários, classificado como “escolas (externatos) e locais de longa permanência”, estipulando que 150 pessoas por dia utilizem os banheiros escolhidos, tem-se:

$$N \times C = 150 \times 50 = 7500 \text{ L/dia}$$

Considerando a temperatura média do mês mais frio em Vitória de Santo Antão entre 15°C e 25°C, então:

$$T = 0,75 \text{ dias}$$

Considerando, na Tabela 3, o intervalo de entre limpeza a cada dois anos, para a faixa de temperatura maior que 20°C:

$$K = 97$$

$$L_f = 0,2 \text{ (Tabela 1)}$$

Obtém-se a seguinte equação: $V_u = 100 + 150 \times (50 \times 0,75 + 97 \times 0,2) = 8635 \text{ L}$ ou $8,635 \text{ m}^3$

Devido ao fato de o volume demandado ser de 8635 litros, serão adotadas 3 caixas d'água de 3000 litros, readequando o sistema para suportar os despejos sem transbordar⁷.

O dimensionamento não implica que o projeto se torne viável para o local, ainda se faz necessário avaliar a área livre e construída, disposição dos banheiros, entre outros fatores, para concluir a viabilidade de aplicação do sistema.

4.4 Cidade universitária Governador Marco Maciel (CEDUGMMA)

⁷ Nota: o sistema está sendo dimensionado levando em consideração que 100 pessoas ao total utilizem o banheiro no período de 01 (um) dia, podendo haver variação desse valor para mais ou para menos ao longo de 01 (um) mês. Este valor é estipulado. Para um valor preciso, deverá avaliar o fluxo de pessoas ao longo desse período, podendo alterar os resultados das equações apenas com substituições.

Considerando a cidade universitária como um prédio de ocupantes temporários, classificado como “escolas (externatos) e locais de longa permanência”, estipulando que 100 pessoas por dia utilizem os banheiros escolhidos, tem-se:

$$N \times C = 100 \times 50 = 5000 \text{ L/dia}$$

Considerando a temperatura média do mês mais frio em Vitória de Santo Antão entre 15°C e 25°C, então:

$$T = 0,75 \text{ dias}$$

Considerando, na Tabela 3, o intervalo de entre limpeza a cada dois anos, para a faixa de temperatura maior que 20°C:

$$K = 97$$

$$L_f = 0,2 \text{ (Tabela 1)}$$

$$\text{Obtém-se a seguinte equação: } V_u = 100 + 100 \times (50 \times 0,75 + 97 \times 0,2) = 6690 \text{ L ou } 6,69 \text{ m}^3$$

Devido ao fato da demanda ser de 6690 litros, serão adotadas 3 caixas d'água de 3000 litros, readequando o sistema para suportar os despejos sem transbordar⁸.

Assim como mencionado no cálculo para a UNIFACOL, apenas o dimensionamento não significa que o sistema seja, de fato, viável para ser aplicado no CDUGGMA. Outros fatores ainda devem ser avaliados, como: área livre e área construída, disposição (nível) dos banheiros, etc.

4.5 Condomínio Estação do Sol

Obtendo o número de pessoas pela Equação 01, obtém-se:

⁸ Nota: o sistema está sendo dimensionado levando em consideração que 100 pessoas ao total utilizem o banheiro no período de 01 (um) dia, podendo haver variação desse valor para mais ou para menos ao longo de 01 (um) mês. Este valor é estipulado. Para um valor preciso, deverá avaliar o fluxo de pessoas ao longo desse período, podendo alterar os resultados das equações futuramente apenas com substituições por novos valores.

$$N_p = (3 \times 0 + 2 \times 1 + 0) \times 4 \times 9 = 32$$

O prédio é uma edificação de ocupantes permanentes de padrão médio (Tabela 1), sendo a contribuição por pessoa de 130L/habitante×dia, obtendo-se:

$$N \times C = 32 \times 130 = 4160 \text{ L/dia}$$

Considerando a temperatura média do mês mais frio em Recife entre 15°C e 25°C, então:

$$T = 0,75 \text{ dias}$$

Considerando, na Tabela 3, o intervalo de ente limpeza a cada dois anos, para a faixa de temperatura maior que 20°C:

$$K = 97$$

$$L_f = 0,2 \text{ (Tabela 1)}$$

Obtém-se a seguinte equação (Equação 02):

$$V_u = 100 + 32 \times (130 \times 0,75 + 97 \times 0,2) = 3840,8 \text{ L ou } 3,84 \text{ m}^3$$

Devido ao fato da demanda ser de 3840,8 litros, serão adotadas 3 caixas d'água de 1500 litros, readequando o sistema para suportar os despejos sem transbordar. Essas considerações são feitas para para cada 01 (um) bloco do condomínio.

Porque não é viável aplicar um único sistema para o condomínio inteiro:

$$N_p = (3 \times 0 + 2 \times 1 + 0) \times 4 \times 8 = 32, \text{ multiplicando por 10, devido a quantidade de blocos: } 32 \times 10 = 320$$

Logo:

$$V_u = 100 + 320 \times (130 \times 0,75 + 97 \times 0,2) = 37508 \text{ L ou } 37,5 \text{ m}^3$$

Não há produção de caixa d'água de 12500 L, para suportar o volume calculado, portanto serão adotadas caixas d'água de 1500 litros, como calculado anteriormente.

4.5.1 Materiais

Com base no dimensionamento do sistema indicado pela EMBRAPA (2017), são necessários os seguintes materiais para execução da fossa séptica biodigestora, apresentados na Tabela 5 com suas respectivas referências apresentadas na Tabela 6.

Tabela 1 - Materiais necessários: março de 2020.

MATERIAL HIDRÁULICO		
ITEM	MATERIAL	QTDE.
1	175 g. cola para tubo plástico, com pincel	1 pote
2	Adaptador com flange 25 mm, soldável	2
3	Adaptador com flange 50 mm x 1 1/2	1
4	Adaptador de 50 mm para 25 mm	1
5	Bastão selante de poliuretano	1
6	Borracha para vedação das tampas	12 m
7	Caixa d'água polietileno 1.500 L com tampa, sem furos	2
8	CAP esgoto 100 mm	2
9	Conexão "Tê" interno preto 3/4 com rosca	3
10	Joelho esgoto 100 mm	2
11	Joelho interno duplo preto 3/4 com rosca	1
12	Lixa d'água número 80	2
13	Luva esgoto 100 mm	4
14	Mangueira conduíte lisa preta 3/4 (espessura 2mm)	10 m
15	Parafuso fenda 3/8 com porca e arruela	6
16	Registro esfera 50 mm soldável	1
17	T (Tê) esgoto 100 mm	2
18	Tubo 50 mm soldável	30 cm
19	Tubo soldável 25 mm	2 m
20	Tubos de esgoto PVC 100 mm x 6 m	2
21	Válvula de retenção para esgoto 100 mm	1
22	Biodigestor	1
FERRAMENTAS		
23	Arco de serra	1
24	Chave de tubo	1
25	Furadeira elétrica	1
26	Serra copo 100 mm	1
27	Serra copo 30 mm	1
28	Serra copo 50 mm	1
29	Trena de 5 metros	1

Fonte: Autoral, 2020.

Tabela 2 - Valores referidos aos materiais necessários.

ITEM	REF. PESQUISADA	PREÇO UNI.	TOTAL
1	Cola PVC Tigre pote com pincel 175g para cano tubo e conexão	R\$ 19,00	R\$ 19,00
2	Adaptador soldável com flange anel para caixa d'água 25 mm marrom - tigre	R\$ 14,89	R\$ 29,78
3	Adaptador Com Flange PVC Marrom 50 mm x 1.1/2" com Anel - Amanco	R\$ 26,10	R\$ 26,10
4	Luva de Redução Soldável PVC Marrom 50 mm x 25 mm - Tigre	R\$ 5,30	R\$ 5,30
5	Selante De Poliuretano Constrution Branco 300 MI - Sikaflex - Sika	R\$ 46,49	R\$ 46,49
6	Borracha Porta - Kombi 1957/ - Metro - Preta	R\$ 24,60	R\$ 295,20
7	Caixa D'água de Polietileno com Tampa 1.500L Azul - Fortlev	R\$ 1.061,00	R\$ 2.122,00
8	Cap PVC Branco 100 mm – Krona	R\$ 3,45	R\$ 6,90
9	Tê roscável soldável 3/4" Tigre	R\$ 5,90	R\$ 17,70
10	Joelho 90° para Esgoto PVC Branco 100 mm - Tigre	R\$ 5,60	R\$ 11,20
11	Joelho Interno Duplo 90° Para Mangueira 3/4" - Bianplast	R\$ 7,31	R\$ 7,31
12	Folha De Lixa D'água - T223 - Norton (80)	R\$ 1,18	R\$ 2,36
13	Luva para Esgoto PVC Rígido Branco 100 mm - Tigre	R\$ 4,80	R\$ 19,20
14	Mangueira Preta para Irrigação marca Votoplast 3/4" x 2 mm x 100 metros	R\$ 110,00	R\$ 110,00
15	Parafuso Sextavado Aço 3/8x1 com Porca e Arruela 4 Peças - Fixtil	R\$ 8,10	R\$ 16,20
16	Registro Esfera Vs Soldável 50mm – Tigre	R\$ 43,80	R\$ 43,80
17	Tê Curto para Esgoto PVC Rígido Branco 100 mm - Tigre	R\$ 14,40	R\$ 28,80
18	Tubo PVC Marrom Soldável 50 mm x 3 m - Amanco	R\$ 34,50	R\$ 34,50
19	Tubo Soldável 25mm com 3 Metros Marrom - Fortlev	R\$ 8,99	R\$ 8,99
20	Tubo Para Esgoto PVC Branco 100 mm x 6 m - Tigre	R\$ 47,90	R\$ 95,80
21	Válvula de Retenção para Esgoto 100 mm - Amanco	R\$ 103,00	R\$ 103,00
22	Fossa Séptica Biodigestor 1.500L 1,78mx1,30m Azul Polietileno Fortlev	R\$2.420,63	R\$ 2.420,63
FERRAMENTAS			
23	Arco De Serra Fixo Básico 12	R\$ 12,85	R\$ 12,85
24	Chave Grifo 12 Polegadas para Cano e Tubo - Comercialize	R\$ 29,97	R\$ 29,97
25	Parafusadeira e Furadeira Philco Force PPF02MF 12V com maleta 50 acessórios – bivolt	R\$ 159,99	R\$ 159,99
26			
27	Jogo de Serra Copo p/ Madeira 19 a 127mm 12 Peças MTX	R\$ 29,50	R\$ 29,50
28			
29	Trena Curta Plástica 5 Metros Emborrachada Sparta 3131255	R\$ 8,15	R\$ 8,15
TOTAL			R\$5.710,72

Fonte: Autoral, 2020.

4.5.2 Projeto

O novo sistema foi projetado seguindo os dimensionamentos realizados e as condições preexistentes do atual sistema do condomínio. É considerado que o novo sistema seja locado onde se encontra a atual fossa central de maneira que ela seja aproveitada para a nova situação. A composição do sistema ainda mantém o uso de 3 caixas d'água, porém se readaptando para a atual formação do condomínio: substituindo a primeira caixa d'água que seria inserida, manteve-se a fossa central fazendo o uso dela como a primeira caixa do

sistema. Considera-se que deve ser inserida uma válvula nela para que possa fazer a manutenção com esterco bovino e água mensalmente. No fim do sistema deve ser colocado um reservatório com Hidróxido de sódio (NaOH), de pequeno volume, apenas para que o gás bruto (biogás) passe por ele, onde o gás metano seguirá para a tubulação e os outros gases, que não devem fazer parte do processo de combustão dos fogões do condomínio, ficarão retidos. Esse reservatório deve possuir tampa removível para que com o passar do tempo o Hidróxido de sódio possa ser trocado e para que na ocorrência de algum problema, a manutenção seja de fácil acesso. Dessa forma, foi realizado o comparativo (em projeto), do sistema atual e do qual seria o sistema substituto (Figura 10).

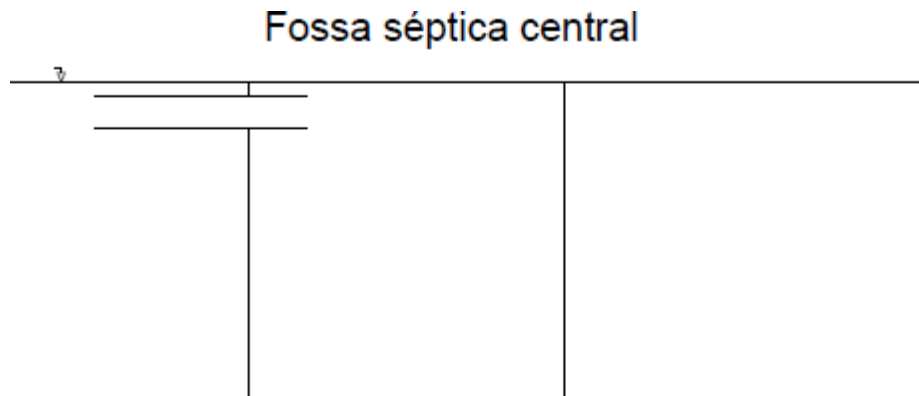
Figura 10 – Comparação entre o sistema atual (acima) e o sistema estudado (abaixo).



Fonte: Autoral, 2020.

A fossa séptica central (Figura 11) é composta por apenas uma caixa, onde os resíduos são recebidos separadamente.

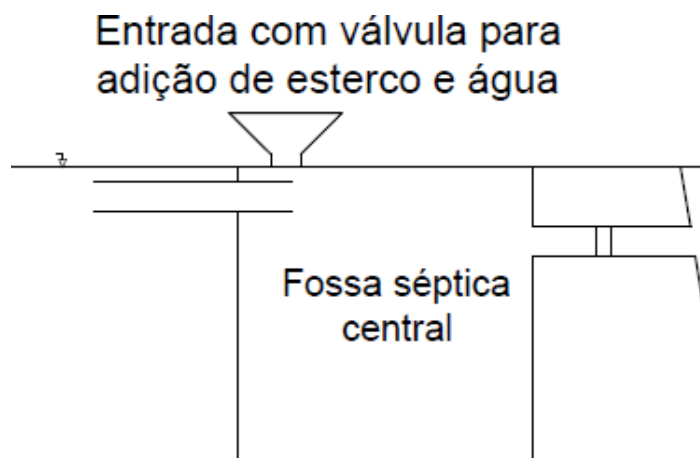
Figura 11 – Representação da caixa de esgoto atual (central): uma única caixa que recebe os resíduos sólidos separadamente.



Fonte: Autoral, 2020.

No novo sistema, a fossa central deverá receber uma válvula de manutenção para ser depositado mensalmente o esterco e a água, responsáveis pela manutenção do sistema. Nessa etapa já será dado início ao processo de biodigestão por meio das bactérias metanogênicas (Figura 12).

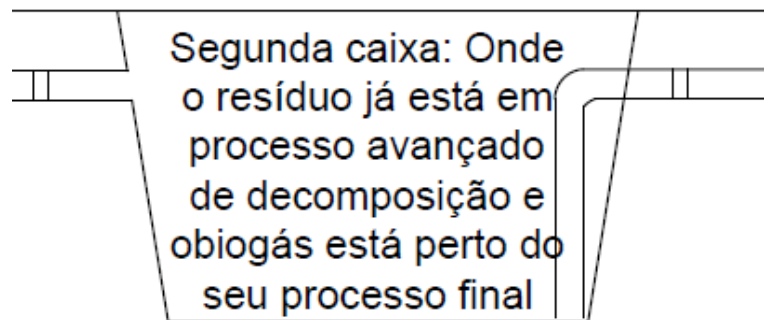
Figura 12 – Representação da entrada do novo sistema.



Fonte: Autoral, 2020.

A segunda caixa do sistema (caixa d'água de fibra que deverá ser comprada pronta para uso) será responsável pela etapa onde os resíduos estarão em decomposição avançada, já havendo produção do gás bruto (Figura 13).

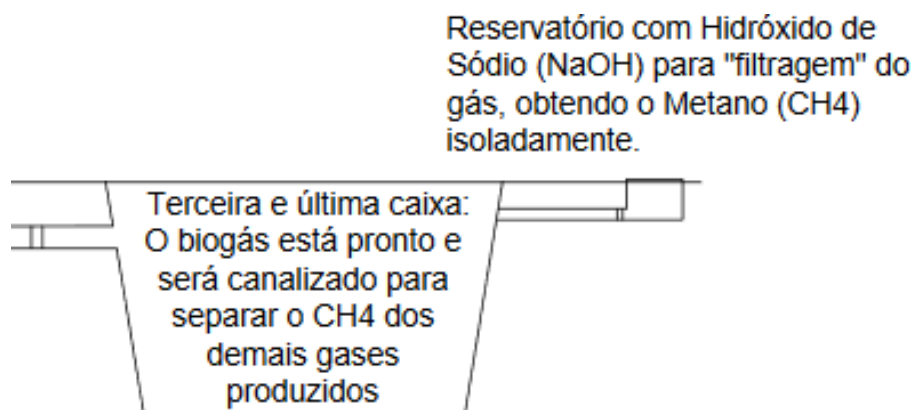
Figura 13 – Segunda caixa do sistema: onde o resíduo já se encontra em processo avançado de decomposição, perto de sua etapa final (produção de biogás).



Fonte: Autoral, 2020.

A terceira caixa é responsável pela última etapa do sistema de produção do gás, onde o biogás se encontra pronto e será canalizado para um reservatório com Hidróxido de sódio onde o gás será “filtrado”, apenas o CH_4 prosseguirá para o armazenamento (onde se encontra atualmente os botijões de GLP do condomínio), e os demais gases que não são próprios para a queima e uso doméstico ficarão no reservatório que poderá ser esvaziado em períodos de manutenção por possuir tampa removível.

Figura 14 – Última etapa do sistema de produção do gás, onde se encerra o processo biológico do sistema e o biogás poderá ser destinado ao processo de filtração para que apenas o CH_4 seja destinado ao armazenamento.



Fonte: Autoral, 2020.

5 DISCUSSÃO

A implantação da fossa para todos os banheiros da universidade se torna inviável visto que, além do terreno da Unifacol ser todo em área construída, também existe ampliação da entrada principal (Nova etapa) que não foi concluída.

O sistema da fossa séptica biodigestora é formado por 03 (três) caixas d'água acopladas entre si com o acréscimo das tubulações, esse sistema leva em consideração o uso residencial (um número restrito de pessoas). Para atender a demanda da instituição, seria necessária a instalação de diversos sistemas, o que requer uma área considerável. Sendo assim, pelo fato dessa área ser obrigatoriamente abaixo do nível de todos os banheiros (considerando que o banheiro mais abaixo localiza-se no subsolo, próximo a igreja da universidade) seria necessário demolir o atual laboratório de engenharia e arquitetura, a fonte, a igreja e a escadaria, para que os sistemas pudessem ser enterrados nestes locais. Dessa forma, por mais que a produção do biogás trouxesse benefícios, o custo para sua instalação, nestas condições, e o fato de haver setores importantes da faculdade neste local, torna inviável sua implementação.

A implantação da fossa para todos os banheiros do CDUGMMA se torna viável pelo fato da área construída não ter sido finalizada, havendo espaço para implantação do projeto, sendo assim não será necessário demolir área construída como é o caso da universidade. Além do local disponibilizar de vasta área livre (não construída), possui também fácil acesso ao esterco (utilizado na manutenção da fossa) devido à atividade agropecuária realizada nas proximidades. Seria necessário apenas, para fins de projeto, o controle de frequência/ocupação de pessoas para um dimensionamento mais preciso para que não haja problema no futuro com a demanda de resíduos na fossa.

A proposta de aplicação do sistema no condomínio Estação do Sol é a única que atende aos requisitos de informações, viabilidade técnica, econômica e ambiental, tornando-se a única a qual o estudo pode atingir sua etapa final referente ao projeto da fossa séptica biodigestor adequada ao local.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, como respondido pelo síndico do condomínio estudado, são feitas manutenções a cada 4 (quatro) meses, no valor de R\$5.000,00 (cinco mil reais) cada manutenção. Considerando a primeira manutenção no mês de janeiro e a última em dezembro, são gastos R\$20.000,00 (vinte mil reais) anualmente em manutenção do atual sistema.

São utilizados, no condomínio, cerca de 1.700 kg de GLP por mês. O preço do GLP industrial

e comercial (sem tributos, à vista e na moeda nacional) referente ao botijão de 13 kg equivale à R\$2.081,90⁹ (dois mil, oitenta e um reais e noventa centavos). Isso significa, que 190 kg (quantidade referente a um cilindro de armazenamento do condomínio) equivale a R\$30.427,76 (trinta mil, quatrocentos e vinte e sete reais e setenta e seis centavos), totalizando um gasto de cerca de R\$243.422,00 com GLP para enchimento de todos os botijões.

Caso seja empregado o sistema de fossa séptica biodigestora, a manutenção passará a ser mensal. Como foi mencionado anteriormente neste trabalho, a fossa séptica biodigestora requer em sua manutenção a adição de esterco bovino e água na proporção de 1:1, seguindo a recomendação da Empraba, utilizando 5 litros de água e 5 litros de esterco. Considerando o preço médio de 5 litros de esterco bovino R\$15,00 e considerando o valor de 5 litros d'água R\$0,03 (três centavos), o valor da manutenção será em média R\$15,03 reais por sistema. Tendo em vista que o condomínio possui 10 torres, este valor passará a ser R\$150,30 (cento e cinquenta reais e trinta centavos) por mês totalizando R\$1.803,60 (mil oitocentos e três reais e sessenta centavos) por ano, resultando em uma economia de R\$18.196,40 (dezoito mil, cento e noventa e seis reais e quarenta centavos) por ano, viabilizando economicamente a substituição do sistema.

Para trabalhos futuros almeja-se estudar a quantidade de biogás produzido no sistema e sua qualidade para que assim seja obtido o valor de CH₄ que poderá ser utilizado, logo, também será obtido o valor (em reais) economizado ao substituir o GLP.

⁹ Valor referente ao comércio do GLP no estado de Pernambuco.

REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, N. e BOIVIN, S. **A review of biogás purification processes**. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* V.3, 2009, pp. 42-71.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5626/1998**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998. 41 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7229/1993**: Projeto, construção e operação de sistemas e tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993. 15 p.
 AMARAL, A. C. D., et all. O processo de biodigestão. In: EMBRAPA (Org). *Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato*. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 13-26.

ARAÚJO, Ana Paul Caixeta. Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico. 2017. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal e Uberlândia, Uberlândia. 2017.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley & Sons, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Memorial descritivo**: montagem e operação da fossa séptica biodigestor. 2017. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi0qJKA9-3sAhVIGbkGHbW4C8YQFjAAegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.embrapa.br%2Fbusca-de-publicacoes%2F-%2Fpublicacao%2F1081476%2Fmemorial-descritivo-montagem-e-operacao-da-fossa-septica-biodigestora&usg=AOvVaw1g_sa3ahEzXhNtuCrxUofN. Acesso em: 03 mar. 2020.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás**: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, 1986. 120 p.

MURTO, M., et all. Impact of Food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure. *Journal of Environmental Management*, v.70, p.101-107, 2004.

OLIVEIRA, K. T. L. L.; GOMES, R. A. **Contribuições da Recuperação do Biogás de Aterro Sanitário**: uma análise para Goiânia. *Boletim Trimestral Conjuntura Econômica Goiânia*, 2008.

PINTO, Paulo Henrique Mendonça. **Tratamento de fecalária em biodigestor anaeróbico para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação**. Orientador: Claudio Cabello. 2008. (Mestrado em agronomia) – Faculdade de ciências agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

SAMULAK, R., BITTENCOURT, J. V. M., PILATTI L. A., KOVALESKI, J. L. **Biodigestor como opção para tratamento de resíduos agroindustriais**. 2010. Encontro Paranaense de Empreendedorismo e Gestão Empresarial. Anais. Ponta Grossa, p.1- 10.

SANTOS, Ícaro Victor Valério de Souza. **Biodigestão anaeróbica dos resíduos da agroindústria de citrus em consórcio com dejetos suínos**. Orientador: Elton Lima Santos. 2016. 49f. Dissertação (Mestrado em energia de biomassa) – Centro de ciências agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2016.

SEIXAS et all. **Construção e Funcionamento de Biodigestores**. Brasília, EMBRAPA - DID, 1980. 60p. (EMBRAPA - CPAC. Circular técnica, 4).

SILVA, M. I.; BORTOLI, A. D. L. Modelagem e simulação do processo de formação do biogás. *IN: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA, 37.*, 2017, São José dos Campos. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: Lume, 2018. p. 2 – 4. Disponível em: <https://normas-abnt.espm.br/index.php?title=Evento>. Acessado em: 03 mar. 2020.

TEIXEIRA, L. E., et all. **Avaliação de custo e eficiência de três opções de tratamento de esgoto doméstico para unidade familiar na zona rural**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia civil) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe, Aracajú, 2018.