

# **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DO USO DE BIODIGESTOR NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO DE RESIDÊNCIAS POPULARES DA CIDADE DE CONCEIÇÃO DA BARRA-ES**

Kelly Coutinho Ferreira<sup>1</sup>, Rodrigo Carvalho Barbosa<sup>1</sup>, Sérgio dos Santos Olegário<sup>1</sup>; Béverson Beltrame Reis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Acadêmicos de Engenharia Civil - Multivix – São Mateus-ES

<sup>2</sup>Especialista – Docente Multivix – São Mateus-ES

## **RESUMO**

Este estudo consiste numa análise da viabilidade técnica, financeira e ambiental do uso de sistema de biodigestor para coleta e tratamento primário de esgoto doméstico em residências de pequeno porte, a fim de substituir o uso de fossas sépticas na cidade de Conceição da Barra/ES. Os biodigestores foram inventados na Índia do século XIX e mais de um século mais tarde surgiram no Brasil. Estes sistemas são alternativas sustentáveis para coleta e tratamento primário do esgoto doméstico. Os métodos utilizados para pesquisa foi basicamente uma revisão bibliográfica, com caráter descritivo exploratório, e levantamento de preço. Para análise do modelo mais viável para o proposto pelo estudo, foram considerados os custos de instalação, as características, dentre outros fatores, de cada modelo. Portanto, a substituição do sistema de fossas sépticas por sistemas de biodigestores pré-fabricados ou do modelo chinês, no município de Conceição da Barra/ES é viável tanto técnica, quanto econômica e ambientalmente, visto que reduz os danos ao meio ambiente, pode extinguir a necessidade de contratação de serviço de limpeza (limpa-fossa) e gerar biogás (que pode ser fonte energética e substituir o uso de gás ou carvão/lenha) e biofertilizante (utilizado em plantações e hortas). Acredita-se que a viabilidade econômica irá variar conforme o tipo de sistema escolhido para substituição, dada pelas diferenças de custo de construção, instalação e manutenção.

Palavras-Chave: biodigestore; esgotamento sanitário; esgoto doméstico. biogás. biofertilizante.

## **ABSTRACT**

This study consists of an analysis of the technical, financial and environmental feasibility of using a biodigester system for the collection and primary treatment of domestic sewage in small-sized residences, in order to replace the use of septic tanks in the city of Conceição da Barra/ES. Biodigesters were invented in India in the 19th century and more than a century later they appeared in Brazil. These systems are sustainable alternatives for the collection and primary treatment of domestic sewage. The methods used for the research were basically a bibliographic review, with an exploratory descriptive character, and a price survey. For analysis of the most viable model for the one proposed by the study, the installation costs, characteristics, among other factors, of each model were considered. Therefore, replacing the septic tank system with prefabricated biodigesters systems or the Chinese model in the municipality of Conceição da Barra/ES is technically, economically and environmentally feasible, as it reduces damage to the environment, can extinguish the need to hire a cleaning service (cesspool cleaner) and generate biogas (which can be an energy source and replace the use of gas or coal/firewood) and biofertilizer (used in plantations and vegetable gardens). It is believed that economic viability will vary according to the type of system chosen for replacement, given the differences in cost of construction, installation and maintenance.

Keywords: biodigester; sanitary sewage; domestic sewage. biogas. biofertilizer.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, o volume de esgoto tratado no Brasil, no ano de 2019, corresponde a 49,1% do volume estimado de esgoto gerado e 78,5% do coletado (BRASIL, 2019). Em vários municípios, como Conceição da Barra – ES, alguns bairros da cidade de São Mateus – ES, como Guriri, e em áreas rurais, não há rede pública de coleta e tratamento de esgoto (ETE's), sendo utilizados outros sistemas como fossas sépticas, fossas negras, sumidouros ou, até mesmo, são despejados em rios, lagos ou córregos.

Alguns destes sistemas alternativos são prejudiciais para o meio ambiente, pelo despejo de esgoto sem tratamento, provocando a contaminação do solo, do lençol freático e de cursos d'água, além de serem nocivos também para a saúde da população, pois propicia a proliferação de insetos, conseqüentemente de doenças (como hepatite, amebíase, malária, diarreia) (RIBEIRO; ROOKE, 2010), além do desconforto devido ao mau cheiro.

As fossas sépticas são “tanques” de alvenaria que servem de tratamento primário do esgoto doméstico e industrial e evita o contato destes com o solo, porém, possui alto custo (SOUZA, 2015). Em comunidades mais carentes, é mais comum a fossa negra ou despejo do esgoto diretamente na rede pluvial, causando impactos negativos para o meio ambiente e para a saúde da sociedade. Há despejo irregular de esgoto em cursos de água em municípios capixaba Vila Velha, São Mateus e Vitória, e a até mesmo na capital paulista. É o caso do Córrego da bica, em São Mateus – ES, e o Rio Tietê, em São Paulo – SP.

Assim, buscando a melhoria da qualidade de vida e condição de esgotamento sanitário destas comunidades, esta pesquisa baseia-se através de uma pesquisa bibliográfica descritiva exploratória, a qual estuda os biodigestores como alternativa para tal objetivo, ponderando os benefícios, custos, especificações e processo construtivo adequado, visto que várias são as vantagens do uso de fossas biodigestoras, como “redução da carga de matéria orgânica lançada no meio ambiente, controle da proliferação de insetos e emissão de odores ofensivos e desagradáveis (...) melhor aproveitamento dos dejetos de natureza orgânica” (ARAÚJO, 2017). As fossas biodigestoras são tipos de sistemas alternativos de coleta e tratamento primário de esgoto por meio da digestão aeróbia da biomassa presente no esgoto doméstico.

A pesquisa possui como objetivo analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental, bem como a eficiência de um sistema de tratamento de esgoto doméstico por biodigestor, numa residência de pequeno porte, descrevendo e analisando este tipo de sistema, e comparando-o aos sistemas de fossas, sumidouros e filtros biológicos.

O levantamento e coleta de dados foram realizados por análise de documentos primários, secundários e terciários, bem como tomada de preço. O tratamento dos dados se dará de maneira qualitativa, com representações em imagens e tabelas.

Após a revisão bibliográfica e determinação dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto, descrição do sistema de biodigestores e detalhamento dos tipos e suas diferenças, foram comparados os benefícios e custos a fim de analisar a viabilidade de substituição de sistemas alternativos por biodigestores.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

O saneamento básico é um direito garantido por lei ao cidadão brasileiro, sem ele não só sua saúde como também o meio ambiente pode ser prejudicado. A falta de saneamento adequado é a principal causa de diarreia e morte de crianças com menos de 5 anos de idade (BRASIL, 2019).

Um dos serviços do saneamento sanitário é o esgotamento sanitário, que consiste no caminho e tratamento recebido pelo esgoto, desde sua geração e coleta nas edificações até sua disposição final adequada, bem como na disponibilização e manutenção de infraestruturas e operacionais (BRASIL, 2007).

Esgoto sanitário, segundo a Norma Técnica NBR 9648 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário (ABNT, 1986), são compostos, principalmente, de esgotos domésticos (água de higiene e necessidades fisiológicas humanas provenientes das edificações) e industriais (resultantes de processos industriais) e de água de infiltração e de contribuição pluvial parasitária.

Conforme Nuvolari et al. (2011), a água compõe quase totalmente o esgoto sanitário, sendo apenas 0,1% composto por sólidos que, em grande maioria, são matérias orgânicas em decomposição que propicia proliferação de microrganismos presentes nas fezes humanas, podendo estes ser, ou não, patogênicos. Desta pouca quantidade de sólidos, 75% é matéria orgânica, podendo também ser produtos tóxicos, como metais pesados provenientes do esgoto industrial, e o esgoto doméstico

possuírem diversas outras substâncias como sabões, gorduras, ligamentos de carnes, vermes, plástico, areia e diversos outros.

Segundo a Lei Nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007, que estabelece diretrizes para o saneamento básico, os sistemas de saneamento básico possíveis são descritos no Artigo 3º, itens XIV a XIX, enfatizando-se o esgotamento sanitário têm-se

XIV - serviços públicos de saneamento básico de interesse comum: serviços de saneamento básico (...) em que se verifique o compartilhamento de instalações operacionais de infraestrutura de abastecimento de água e/ou de esgotamento sanitário entre 2 (dois) ou mais Municípios (...);

XV - serviços públicos de saneamento básico de interesse local: funções públicas e serviços cujas infraestruturas e instalações operacionais atendam a um único Município;

XVI - sistema condominial: rede coletora de esgoto sanitário, assentada em posição viável no interior dos lotes ou conjunto de habitações, interligada à rede pública convencional em um único ponto ou à unidade de tratamento, utilizada onde há dificuldades de execução de redes ou ligações prediais no sistema convencional de esgotamento;

XVII - sistema individual alternativo de saneamento: ação de saneamento básico ou de afastamento e destinação final dos esgotos, quando o local não for atendido diretamente pela rede pública;

XVIII - sistema separador absoluto: conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar exclusivamente esgoto sanitário;

XIX - sistema unitário: conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar conjuntamente esgoto sanitário e águas pluviais” (BRASIL, 2007).

Há também os casos de operação irregular, as quais não obedecem às determinações legais e ambientais, como é o caso da disposição inadequada de esgoto em canais fluviais e fossas rudimentares (buracos, fossas negras, etc.) que possibilitam a contaminação da população por doenças transmitidas pela urina, fezes e água, como hepatite, cólera, salmonelose, verminoses, entre outras (EMBRAPA, 2021).

As fossas negras consistem em escavações simples e sem revestimento, como mostrado na Figura 1, em que são despejados os esgotos domésticos, o que provoca a contaminação do solo e de águas subterrâneas pelos resíduos absorvidos pelo solo, além de os restos de resíduos que permanecem na fossa serem nocivos à saúde da população e ao meio ambiente (FAUSTINO, 2007, apud. SOUZA, 2015).

Figura 1: Fossa Negra



FONTE: SOUZA (2015).

Semelhantes às fossas negras, as fossas secas consistem em escavações rasas, com ou sem revestimento, com cobertura de laje, um orifício e uma “casinha”, como apresentado na Figura 2, muito comum m roças e fazendas antigamente (SOUZA, 2015). Este tipo de fossa para dejetos sem uso de água, basicamente recebem as fezes e urina humanas e papel higiênico.

Figura 2: Representação de fossa Seca.



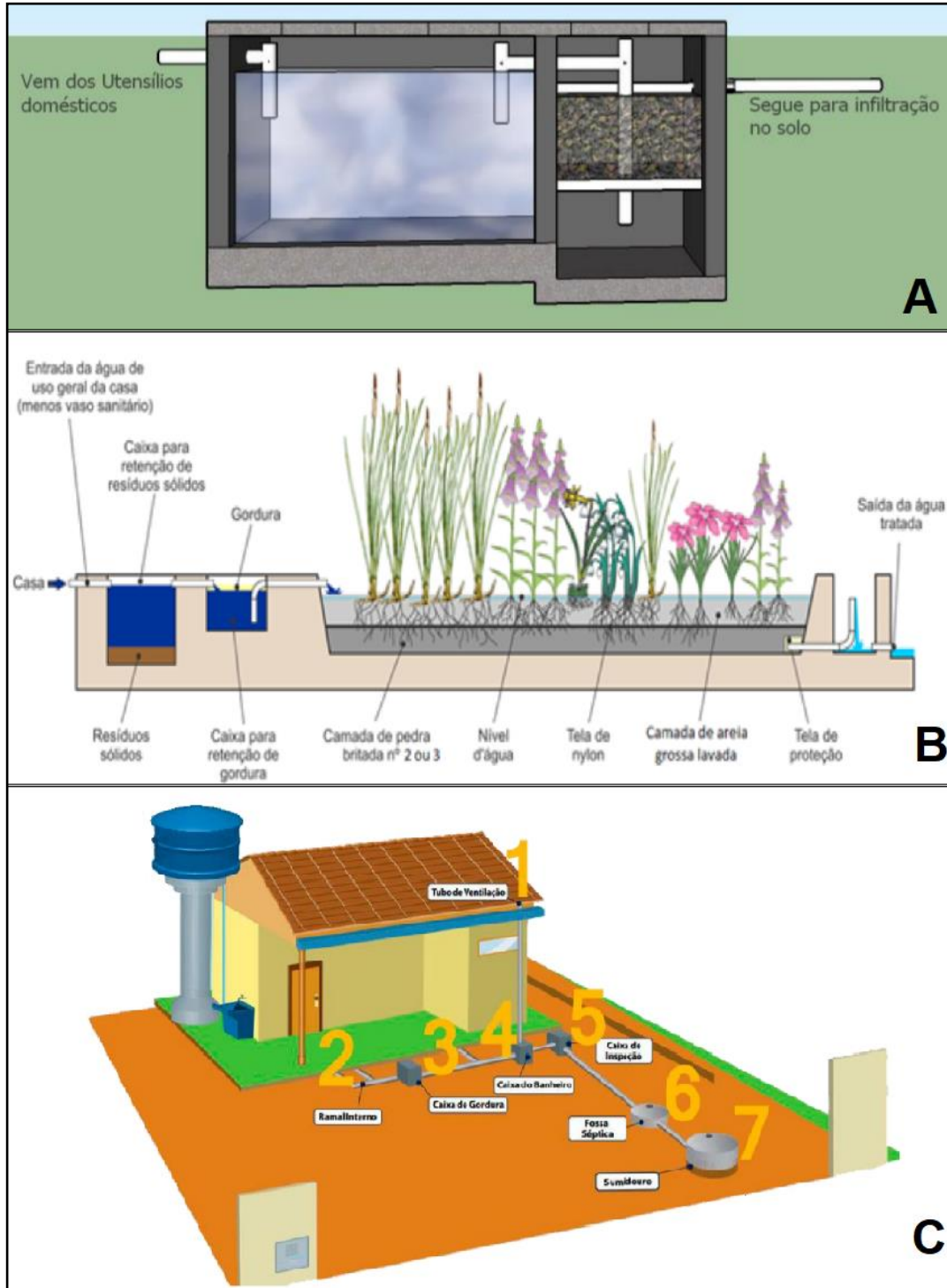
FONTE: TONETTI et al (2018).

O sistema condominial ao qual a Lei se refere, geralmente trata-se de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE's), definida pela NBR 12209/92 – Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário como um “conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares e acessórios e sistemas de utilidades cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento” (ABNT, 1992).

Alguns outros sistemas, como fossas sépticas, filtros biológicos e biodigestores estão inseridos nos sistemas individuais alternativos da Lei supracitada. As fossas sépticas são tanques ou escavações construídas de alvenaria, com isolamento e impermeabilidades eficientes e, além de não permitir que os dejetos entrem em contato e sejam absorvidos pelo solo, realiza um tratamento primário de esgoto doméstico e industrial por meio de decantação (SOUZA, 2015). Os sumidouros são um sistema que geralmente faz parte das fossas sépticas e servem para “descarga” da parte líquida do esgoto, que também pode ocorrer por valas de infiltração. Os filtros biológicos também podem ser acoplados às fossas sépticas como um sistema de tratamento secundário, estes consistem em tanque cilíndrico, quadrado ou retangular, construído com um sistema suficientemente impermeável, durável e que atenda as especificações de projeto (como alvenaria e argamassa armada) e detém de um “leito filtrante, que poderá ser em brita, seixo rolado ou outro material que exerça a função desejada” (FUNASA, 2013).

Outro sistema alternativo é o jardim filtrante que se constitui de “um pequeno lago com pedras, areia e plantas aquáticas, onde o esgoto é tratado” (BRITO, 2017), é utilizado principalmente pelas “suas propriedades de remoção e retenção de nutrientes, processamento da matéria orgânica e resíduos químicos, e redução das cargas de sedimentos descartados nos corpos receptores (EMBRAPA, 2021), além do baixo custo e fácil manutenção. É possível visualizar estes três sistemas na Figura 3, em que apresenta esquemas de filtro biológico (4 – a), jardim filtrante (4 – b) e fossa séptica (4 – c).

Figura 3: Sistemas alternativos individuais – (A) Fossa séptica com filtro biológico, (B) jardim filtrante e (C) fossa séptica com sumidouro.



FONTE: Compilado pelo autor (FUNASA, 2013; EMBRAPA, 2021; SOUZA, 2015).

## 2.2 BIODIGESTORES

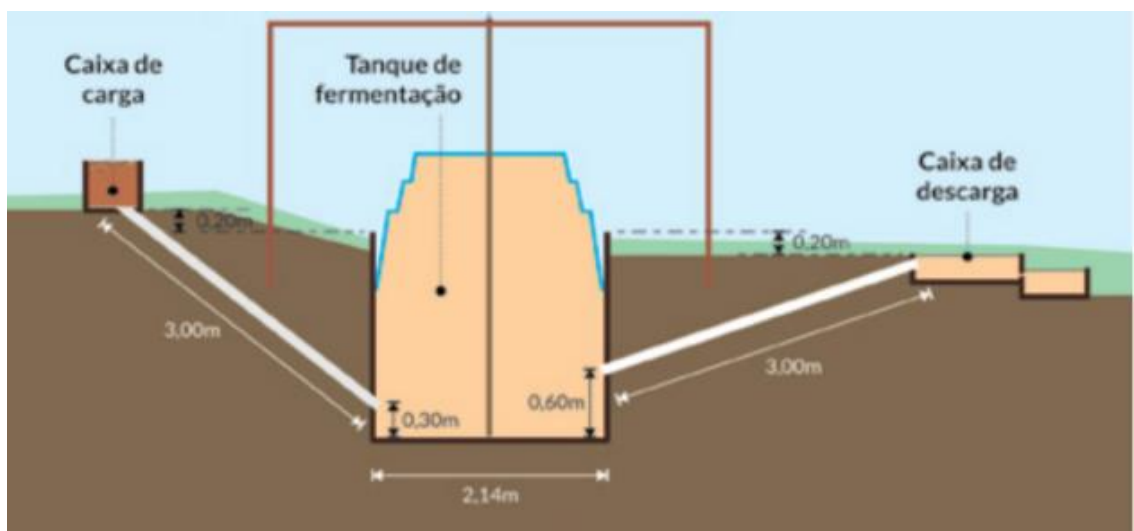
Os biodigestores são sistemas antigos, cuja primeira instalação voltada para produção de gás combustível se deu somente em meados do século XIX – mais especificamente, em 1857, na Índia –, pesquisas realizadas décadas depois resultaram na disseminação desta metodologia para o tratamento dos dejetos de animais, produção de biogás e utilização de biofertilizante (PERMINIO, 2013). Segundo Klumb (2019), foi implementado no Brasil em 1970.

Para Permínio (2013), o biodigestor é um aparelho simples, composto por uma câmara fechada, própria para que a biomassa depositada seja degradada por bactérias metanogênicas, liberando gás metano neste processo. Comumente, a biomassa são dejetos de animais. Filho (2012) afirma que os biodigestores no Brasil é, principalmente, um uso da zona rural para o tratamento de dejetos suínos e bovinos e aproveitamento do biogás e biofertilizante gerados, por exemplo, na região nordeste, em que é utilizado o biodigestor sertanejo para o desenvolvimento rural.

Mirko (2003, apud OLIVEIRA, 2018) define este tipo de sistema como “câmaras hermeticamente fechadas, onde, através de digestão anaeróbica, os resíduos são decompostos oferecendo como produto o biogás e o biofertilizante”, o que corresponde às definições dos outros dois autores citados.

Conforme pode ser visto na Figura 4, o sistema de biodigestor é composto por três partes principais: caixa de carga, caixa de descarga e tanque de fermentação (onde se encontra a câmara de armazenamento de biogás) (KLUMB, 2019).

Figura 4 - Componentes do biodigestor



FONTE: Adaptado de Klumb (2019).



As bactérias metanogênicas são as que consomem, durante o metabolismo, hidrogênio (hidrogenotróficas) e as que consomem compostos de metil (metilotróficas) e que produzem gás metano (SANTOS, 2011).

Para melhor compreensão do processo de decomposição da matéria orgânica, pode-se tomar como exemplo este processo no meio aquático, como o esgoto. Basicamente, quando há presença de oxigênio dissolvido (oxigênio presente na água) o ambiente é propício para os organismos aeróbios, ao passo que este é consumido, não é reabastecido, como no caso dos biodigestores, e começa se esgotar (menos de 0,5 mg/L), os microrganismos facultativos agirão a partir de condições aeróbias e, ao ser consumido o que restar do oxigênio dissolvido, o ambiente será adequado para os microrganismos anaeróbios, cujo consumo das matérias orgânicas não dependem de oxigênio (NUVOLARI et al., 2011).

Além das condições de sobrevivência e alimentação, os elementos gerados nestes processos e a reação química do processo de respiração são diferentes.

O Quadro 1 demonstra o processo de respiração dos seres aeróbios e anaeróbios em estágios diferentes.

Quadro 1: Relação de Reações Químicas do processo de respiração de microrganismos

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + E^{673 \text{ kcal}}$	Reação Química da respiração de microrganismos aeróbios
$CH_3COOH + SO_4^{2-} + 2H^+ \rightarrow H_2S + 2 H_2O + 2CO_2$	Reação Química da respiração de microrganismos anaeróbios – Dessulfatação
$4H_3 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2 H_2O$	Reação Química da respiração de microrganismos anaeróbios – Metanogênese Hidrogenotrófica
$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$	Reação Química da respiração de microrganismos anaeróbios – Metanogênese Hidrogenotrófica

FONTE: Nuvolari et al. (Adaptado, 2011).

Perminio (2013) ressalta que não é o biodigestor, propriamente dito, que gera o biogás, este apenas proporciona um ambiente adequado para que as bactérias metanogênicas, e que este sistema se compõem, apesar de vários tipos diferentes, de um tanque e um gasômetro (ou campânula, responsável pelo armazenamento do gás gerado).

Klumb (2019) lista alguns benefícios do uso de biodigestores: i) contribui para a conservação do meio ambiente; ii) são economicamente viáveis, devido à economia com compra de botijas de gás; iii) contribuem para a agricultura, pois o biofertilizante e esterco curtido aumentarem a fertilidade do solo; e iv) auxilia na saúde, visto que não há

exposição à fumaça, por não haver queima de lenha ou carvão, e, quando implementados em fazendas, facilita na limpeza de currais e chiqueiros. Além disso, Permínio (2013) afirma que o custo de fabricação é baixo e demonstra eficiência considerável.

### 2.3 TIPOS DE BIODIGESTORES

Existem vários tipos/modelos de biodigestores. Como visto, os pioneiros deste sistema são os chineses e indianos e possuem seus próprios modelos, e existem também o tipo batelada, contínuo, de lona.

Os principais modelos existentes são o chinês e o indiano, e podem ser observados na Figura 5 e Figura 6, respectivamente. O primeiro é rústico, construído em alvenaria, fica quase completamente enterrado no solo, sua pressão varia conforme produção e consumo do biogás, sendo que normalmente funciona em alta pressão, já o segundo modelo é mais funcional comparado ao chinês, isto, pois, “pode ser adaptado ao clima local e ao tipo de solo” (feito pela variação da relação diâmetro-profundidade) e por sua construção ser mais simples: consiste em um “poço”, geralmente moldado em ferro, coberto por uma tampa cônica (campânula flutuante, cuja função é o controle da pressão e regulação da emissão o biogás) (PERMINIO, 2013).

O Quadro 2 aponta com mais detalhes as diferenças e semelhanças entre os dois modelos quando comparados entre si, desde os materiais de construção, até o custo.

Quadro 2: Comparação entre o biodigestor modelo chinês e modelo indiano.

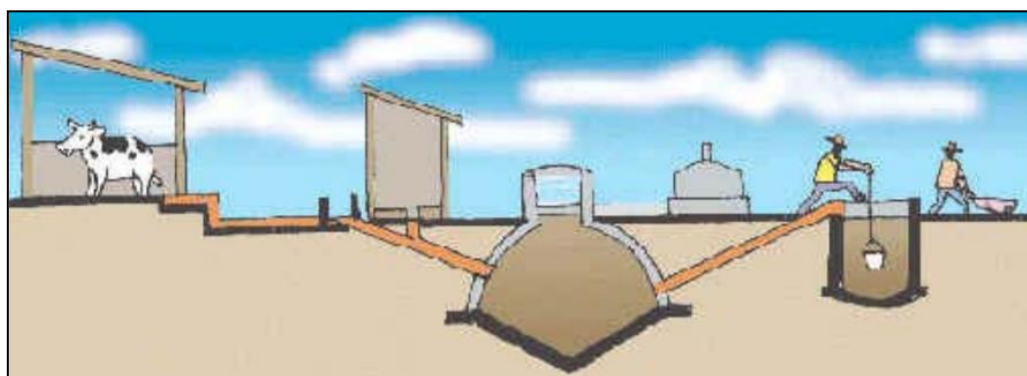
ESPECIFICAÇÕES	MODELO CHINÊS	MODELO INDIANO
<b>Materiais</b>	Tijolo, cimento, concreto, ferro, areia, pedra.	
<b>Sistema</b>	Abastecimento periódico, esvaziamento não periódico.	Abastecimento e esvaziamento periódicos.
<b>Possibilidade de Auto Instalação</b>	Necessita de habilidades como pedreiro, mas pode ser montado inteiramente pelo usuário.	A câmara de gás deve ser feita em oficina metalúrgica, mas pode ser montado pelo usuário.
<b>Isolamento Térmico</b>	Feito sob a terra, com bom isolamento natural e temperatura relativamente constante, mas pode ser melhorado quando construídos sob currais ou estábulos, por exemplo.	Há perdas de calor através da câmara de gás metálica, dificuldade de isolamento, menos indicado para climas frios.
<b>Perda de Gás</b>	Deve-se proteger a parte superior com materiais impermeáveis e não porosos; dificuldade em	Sem problemas.

	obter estanqueidade.	
<b>Matérias-primas utilizadas</b>	Esterco, dejetos humanos e outros restos orgânicos (incluindo materiais fibrosos).	Esterco, excrementos e materiais fibrosos acrescentados como aditivos.
<b>Tempo de digestão</b>	40 – 60 dias	
<b>Produtividade</b> (l/m <sup>3</sup> do volume do digestor/dia)	De 150 a 350 L/m <sup>3</sup> /dia. Podendo produzir até 600L/m <sup>3</sup> /dia quando perfeitamente estanque.	De 400 a 600L/m <sup>3</sup> /dia
<b>Manutenção</b>	Deve ser limpo uma ou duas vezes por ano.	Deve-se pintar a câmara de gás uma vez por ano.
<b>Custo</b>	Razoavelmente baixo.	Maior, dependendo do custo da campânula.
<b>Possíveis melhorias</b>	Abóbada impermeável, adoção de agitadores, montagem de aquecimento.	Campânula inoxidável, melhoria no isolamento térmico da mesma.

FONTE: BARRERA (Adaptado, 1993, apud. PERMINIO, 2013).

Segundo Oliveira (2018) o modelo indiano não é indicado para o tratamento de esgoto, pois há possibilidade de visualização dos dejetos suspensos. Barrera (1993, apud. PERMINIO, 2013) afirma que a quantidade de biofertilizante em ambos os modelos é considera igual.

Figura 5: Biodigestor - Modelo Chinês.



FONTE: AVELLAR, CARROCI E SILVEIRA (2003, apud. PERMINIO, 2013).

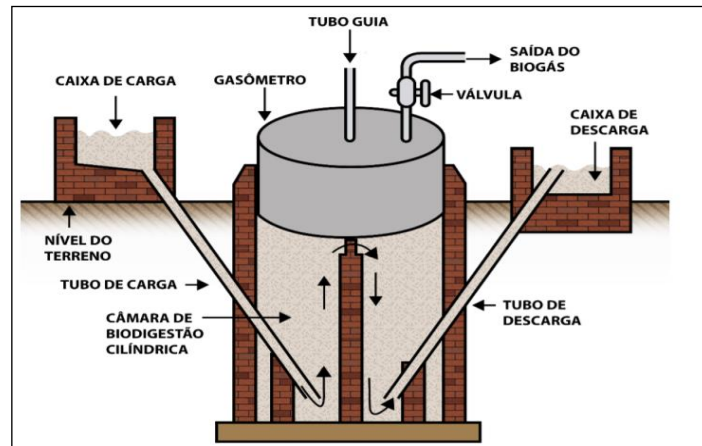
O modelo de batelada é de fácil operação e o biogás gerado pode ser mantido no próprio local ou em um gasômetro conectado, como demonstrado na Figura 7. Entretanto, é um modelo menos prático, visto que os dejetos são inseridos, mantidos durante a fermentação anaeróbia, removidos os materiais residuais após a finalização do processo e o digestor é aberto e limpo e então é novamente introduz-se mais substrato (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Junqueira (2014, apud. OLIVEIRA, 2018) é mais utilizado em locais cuja geração de biomassa seja periódica, como em “granjas avícolas de corte, em que o

esterco é apenas coletado após a venda das aves e limpeza do galpão”. Conforme a matéria utilizada, o período de retenção hidráulica pode variar de 30 a 60 dias (OLIVER, 2008, apud. FILHO, 2012).

Figura 6: Biodigestor - Modelo indiano

FONTE: OLIVEIRA (2018).

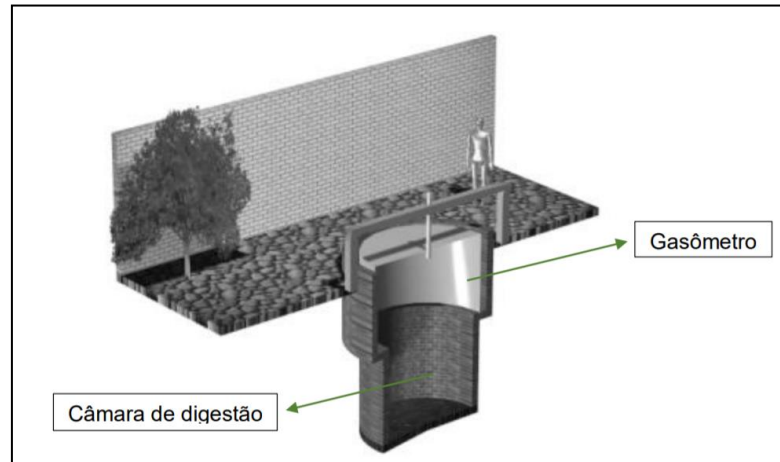


FONTE: OLIVEIRA (2018).

Diferentemente do modelo batelada, o biodigestor contínuo dispõe de abastecimento de matéria-prima continuamente, produzindo biogás e biofertilizante de acordo com o volume recebido (deve ser relativamente alto), sendo necessários dutos de conexão e, preferencialmente, matérias-primas de fácil degradação e líquida (OLIVEIRA, 2018).

Pode ser projetado vertical ou horizontalmente. O biodigestor contínuo vertical normalmente é construído submerso no solo, podendo conter uma ou duas câmaras, “a biomassa é descarregada na parte inferior e, devido à diferença de densidade, o biogás produzido se acumula na parte superior” (FILHO, 1981, apud. OLIVEIRA, 2018). O horizontal é típico de locais que apresentem impedimentos de escavações mais profundas, são caracterizados por dimensões de comprimento e largura maiores que a profundidade/altura e também pelo abastecimento da biomassa ocorrer em uma extremidade lateral e o biofertilizante ser “ejetado” na outra (OLIVEIRA, 2018). Os modelos chinês e indiano são biodigestores de alimentação contínua.

Figura 7: Representação de corte tridimensional de biodigestor modelo batelada.



FONTE: OLIVEIRA (2018).

Há ainda o biodigestor de lona, (ou biodigestor da marinha, ou ainda canadense), cuja produção de biogás é consideravelmente maior devido a maior área de exposição ao sol e, como pode ser visto na Figura 8, as campânulas são substituídas por uma cobertura de lona em PVC que, à medida que o biogás é produzido, infla como um balão (TORRES, PEDROSA, MOURA, 2012).

Figura 8: Biodigestor - Modelo da Marinha.



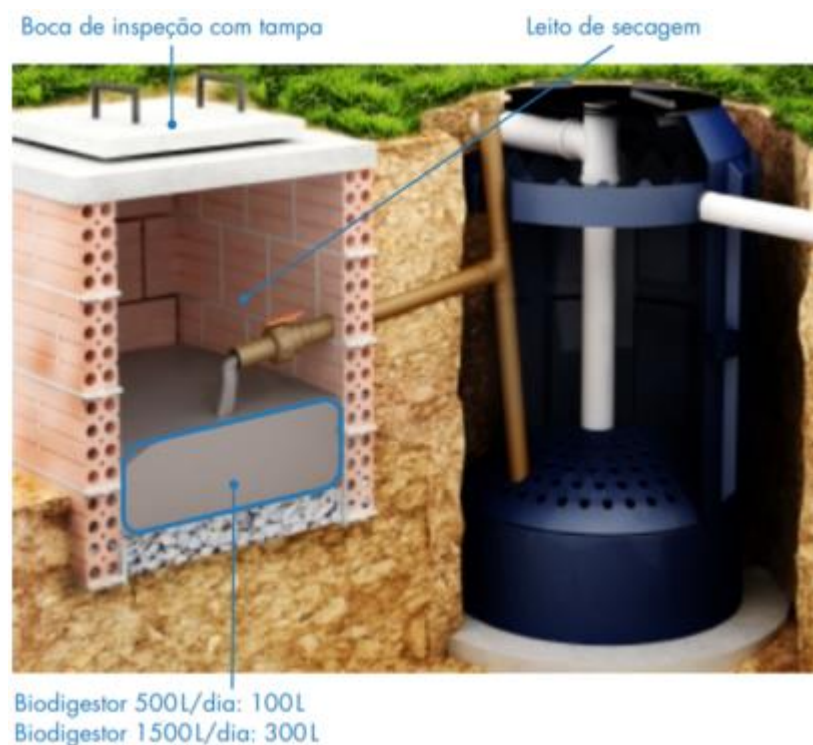
Fonte: Torres, Pedrosa, Moura (2012).

O biodigestor sertanejo, já citado anteriormente, consiste em sistemas de biodigestores do modelo indiano com uso de materiais de baixo custo, criados para o

desenvolvimento rural sustentável no Nordeste Semiárido a fim de combater a pobreza da região (OLIVEIRA, 2018).

Outro modelo são os biodigestores pré-fabricados de polietileno, como os da marca Fortlev e Acqualimp, mostrados na Figura 9. Conforme o Catálogo Técnico do Biodigestor da Fortlev (FORTLEV, 2021), este é um tipo compacto, sem necessidade de muito espaço para instalação, elimina até 80% dos poluentes, não precisa de caminhão limpa-fossa, pode atender residências de até 15 pessoas, dependendo da capacidade de volume de esgoto diário (500 a 1.500L/dia) e a capacidade do leito de secagem, feito em alvenaria varia conforme a capacidade do biodigestor, como pode ser visto na Figura 9.

Figura 9: Sistema com biodigestor pré-fabricado.



FONTE: Torres, Pedrosa, Moura (2012).

### 3 METODOLOGIA

Esta pesquisa possui natureza básica e se desenvolveu inicialmente com base metodológica bibliográfica, de caráter descritivo exploratório.

Gil (2002) sugere que tal metodologia fundamenta-se em materiais já existentes, basicamente livros e artigos que são, respectivamente, fontes primárias e secundárias. Segundo o autor, o objetivo de uma pesquisa descritiva é descrever uma população ou

fenômeno e pode viabilizar uma perspectiva diferente do problema, já a pesquisa exploratória viabiliza maximizar a familiaridade com o problema, a fim de torná-lo mais explícito ou constituir hipóteses (GIL, 2002).

Primeiramente foram coletados dados bibliográficos, utilizando-se de artigos, livros, manuais, normas, apostilas, documentos, legislações e resoluções acerca de saneamento básico, sistemas de esgoto, focando nos biodigestores. A coleta dos dados foi feita predominantemente por meio da *internet*, tendo como base de dados o Google Acadêmico, *Scielo*, repositórios de universidades, revistas online, sites e portais de instituições públicas e privadas acerca do tema (EMBRAPA, OMS, FUNASA, Governo do Brasil, etc), biblioteca online e física da instituição de ensino dos autores.

O estudo tem como referência casas de pequeno porte. Segundo Libânio et al. (2004, apud. SOUZA, 2015), edificações de pequeno porte são aquelas cujas características são: a) possuir até quatro pavimentos; b) inexistência de protensão; c) cargas de uso menores que 3kN/m<sup>2</sup>; d) altura de pilares e espaçamento de vãos, respectivamente, de no máximo 4 metros e 6 metros; e) lajes de até 4 metros o menor vão ou, em caso de balanços, 2 metros. Segundo a classificação da NBR 9077/1993 – Saídas de emergência em edifícios, as edificações são classificadas conforme sua ocupação, podendo ser, por exemplo, comerciais, residenciais, industrial, escolar, dentre outras. As edificações residenciais são sub classificadas conforme o tipo de estrutura e tipo de habitação, como mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação das edificações quanto à sua ocupação.

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamentos em geral
		A-3	Habitações coletivas (grupos sociais equivalentes à família)	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos

FONTE: Adaptado de ABNT (1993).

Neste contexto, para a presente pesquisa foram consideradas edificações residenciais tipo A-1, ou seja, unifamiliar e térreas. Tomou-se como parâmetro as casas de habitação popular do Programa Minha Casa Minha Vida, cuja área útil mínima deve ser de 36 m<sup>2</sup>, quando a área de serviço for externa, ou 38 m<sup>2</sup>, quando a área de serviço for interna, e são compostas por dois dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de

serviço, conforme pode ser visualizado na Figura 9, apresentada anteriormente (BRASIL, 2018).

Tendo como referência o município de Conceição da Barra, no estado do Espírito Santo, visto que o sistema de coleta de esgoto é o de fossa séptica. Segundo a Prefeitura Municipal de Conceição da Barra (2021), o município foi fundado em 1554, emancipado em 1891, é composto por quatro distritos (Conceição da Barra, Braço do Rio, Cricaré e Itaúnas) e, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, possui território de 1.182,587 km<sup>2</sup>, população estimada 31.479 pessoas em 2021 e esgotamento sanitário adequado de cerca de 30%, segundo o censo de 2010 (IBGE, 2021).

Posteriormente ao levantamento bibliográfico, foi realizado também um levantamento de preço, em lojas online, para instalação de um sistema de biodigestor no tipo de residência e no município propostos, comparando com o orçamento padrão de fossas e filtros biológicos, também buscados na internet.

Os dados da pesquisa foram tratados de forma qualitativa, pois se preocupa com aspectos da realidade que não podem ser quantificados (FONSECA, 2002).

#### **4 RESULTADOS**

Segundo a NBR 13969/97 – Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação, a geração de esgoto de uma edificação varia conforme o tipo de prédio e quantidade de ocupantes permanentes e determina que, numa residência de baixo padrão, a contribuição de esgoto por habitante seja de 100 Litros por dia (ABNT, 1997).

De acordo com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE (2009), ao consumir 200L de água por dia, cada pessoa gera em média 150L/dia de esgoto. Considerando a quantidade de 150L de esgoto por pessoa ao dia, estimada pelo SAAE, e uma unidade unifamiliar composta por cinco membros, a quantidade de esgoto gerada é de 750 L/dia.

Para o tratamento complementar do tanque séptico, a norma refere-se ao uso de filtro anaeróbio, filtro aeróbio submerso, valas de filtração e filtros de areia, lagoa com plantas aquáticas, dentre outros tipos de tratamentos complementares ao tanque séptico. Considerou-se para o presente trabalho o filtro anaeróbio, visto que este é definido como “reator biológico onde o esgoto é depurado por meio de microorganismos



não aeróbios, dispersos tanto no espaço vazio do reator, quanto nas superfícies do meio filtrante”, que se assemelha com as definições de biodigestor encontradas na pesquisa (ABNT, 1997).

Através da pesquisa, observaram-se diversos benefícios do uso de biodigestores, tanto em âmbito ecológico, quanto econômico e social. Oliver et al. (2008, apud., ALVES, INOUE, BORGES, 2010), aponta benefícios à saúde humana (melhoria da qualidade do ar no ambiente doméstico) e animal (melhoria das condições sanitárias), ao meio ambiente (preservação vegetal local e melhoria da qualidade do solo) e o aumento da produção (redução da mortalidade animal, aumento de forragem, redução de custos energéticos), quando aplicados em propriedades rurais.

Segundo Calza et al. (2015), os valores referentes à construção e instalação de biodigestores tipo chinês, indiano e marinha, de 20 m<sup>3</sup> (20.000L) são de R\$ 4.052,50, R\$ 5.065,70 e R\$ 2.104,00, respectivamente. Vale ressaltar que o estudo foi realizado tendo em vista a instalação deste sistema em unidades agrícolas, e que o volume apresentado excede significativamente o necessário para uma residência de pequeno porte. Entende-se que os valores podem vir a reduzir no caso de biodigestores de menor dimensão.

De acordo com a pesquisa e levantamento de preço, o custo médio estimado para instalação de um sistema utilizando um biodigestor de 500L e de 1500L, da marca Fortlev, na cidade de Conceição da Barra – ES é, respectivamente de R\$ 4.508,92 e, como pode ser visto detalhadamente na Figura 10 que representa um quadro de composição unitária de preço elaborada pelos autores.

Figura 10: Estimativa do valor de investimento para instalação de biodigestor em Conceição da Barra - ES.

<b>RESUMO BIODIGESTOR 500L</b>		
<b>Discriminação</b>	<b>Taxa (%)</b>	<b>Valores</b>
Mão-de-Obra (A)	157,27%	16,39
Materias (B)		3165,54
Equipamentos (C)		0
Produção da Equipe (D)		1
Custo Horário Total [(A)+(C)]		16,39
Custo Unitário da Execução [(A)+(C)/(D)]=(E)		16,39
Custo Direto Total [(B)+(E)]		3181,93
Bonificação e Despesas Indiretas- BDI	30,90%	983,22
<b>Custo Unitário (adotado)</b>	<b>R\$</b>	<b>4.165,15</b>
<b>RESUMO BIODIGESTOR 1500L</b>		
<b>Discriminação</b>	<b>Taxa (%)</b>	<b>Valores</b>
Mão-de-Obra (A)	157,27%	15,32
Materias (B)		4995,32
Equipamentos (C)		0
Produção da Equipe (D)		1
Custo Horário Total [(A)+(C)]		15,32
Custo Unitário da Execução [(A)+(C)/(D)]=(E)		15,32
Custo Direto Total [(B)+(E)]		5010,64
Bonificação e Despesas Indiretas- BDI	30,90%	1.548,29
<b>Custo Unitário (adotado)</b>	<b>R\$</b>	<b>6.558,93</b>
<b>RESUMO CAIXA DE SECAGEM (90x60x60 cm)</b>		
<b>Discriminação</b>	<b>Taxa (%)</b>	<b>Valores</b>
Mão-de-Obra (A)	157,27%	123,61
Materias (B)		139,01
Equipamentos (C)		0
Produção da Equipe (D)		1
Custo Horário Total [(A)+(C)]		123,61
Custo Unitário da Execução [(A)+(C)/(D)]=(E)		123,61
Custo Direto Total [(B)+(E)]		262,62
Bonificação e Despesas Indiretas- BDI	30,90%	81,15
<b>Custo Unitário (adotado)</b>	<b>R\$</b>	<b>343,77</b>
<b>ESTIMATIVA DO CUSTO TOTAL</b>		
<b>Biodigestor 500L</b>	<b>R\$</b>	<b>4.508,92</b>
<b>Biodigestor 1500L</b>	<b>R\$</b>	<b>6.902,70</b>

Fonte: Autores

As fossas sépticas possuem um valor de investimento variável conforme o tipo de material a ser utilizado em sua construção, e de acordo com Cortes (2018), fica em torno de 7 mil reais o tipo construtivo padrão. Já conforme a ferramenta virtual de pesquisa de orçamentos do site Habitissimo (2021) os valores variam entre R\$ 3.000,00 e R\$ 35.000,00, dependendo da qualidade e tipo de materiais utilizados, duração e dimensão da obra dentre outros fatores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as características de cada modelo apresentado, considerando o tipo de residência estudada e o público-alvo (famílias de renda média/baixa), o modelo mais viável seja o modelo chinês, pois, o mesmo consiste num sistema de abastecimento contínuo cuja produção do biogás e biofertilizante se dá de acordo com o volume de matéria-prima adicionada e apesar de se mostrar relativamente menos funcional ao ser comparado com o modelo indiano, que também é de abastecimento contínuo, se mostra mais viável pelo custo ser mais baixo, seu modo construtivo ser mais acessível (predominantemente alvenaria) e “aceitar” dejetos humanos como matéria-prima um fator importante a ser considerável, visto que a principal matéria-prima considerada no proposto pela pesquisa é o esgoto doméstico (cuja parte sólida é composta quase que totalmente de matéria orgânica, incluindo dejetos humanos). Entretanto, deve-se levar em conta, também, que para utilização do biogás como fonte energética é necessária que haja acompanhamento de profissionais capacitados em condução de gases.

Apesar de o modelo indiano ser mais utilizado no Brasil e considerado mais funcional, de acordo com Permínio (2013), outro fator relevante é que o material utilizado na campânula deste modelo é de ferro e devido à cidade ser litorânea, o nível de deterioração deste material torna-se relevante, podendo aumentar a necessidade da frequência de manutenção (pintura) ou até mesmo substituição em determinado momento, aumentando ainda mais o custo.

Os demais modelos não são atrativos, pois: i) o modelo batelada necessita de abastecimento manual e limpeza conforme produção (entre 30 e 60 dias), tornando-o menos prático para uma residência e mais viável para granjas; ii) o modelo marinha, apesar de maior produção, compreende-se que seja menos viável por necessitar de uma área acima do solo maior e de maior risco (devido a presença de uma lona plástica que pode, eventualmente, se romper); iii) o biodigestor sertanejo, apesar do custo e da acessibilidade dos materiais utilizados, não fica totalmente submerso no solo ocupando uma área do terreno que, possivelmente, não esteja disponível na área urbana (é mais atrativo na zona rural).

Analisando o custo de instalação dos biodigestores pré-fabricados da marca Fortlev, este se mostra benéfico por apresentar maior facilidade de instalação, não necessitar de caminhão limpa-fossa, variação do valor de aquisição conforme sua

capacidade necessidade de área relativamente pequena. Entretanto, deve-se levar em conta que, comparado aos demais sistemas, este não produz e nem armazena biogás (FORTLEV, 2021).

Portanto, a substituição do sistema de fossas sépticas por sistemas de biodigestores pré-fabricados ou do modelo chinês, no município de Conceição da Barra-ES é viável tanto técnica, quanto econômica e ambientalmente, visto que reduz os danos ao meio ambiente, pode extinguir a necessidade de contratação de serviço de limpeza (limpa-fossa) e gerar biogás (que pode ser fonte energética e substituir o uso de gás ou carvão/lenha) e biofertilizante (utilizado em plantações e hortas). Acredita-se que a viabilidade econômica irá variar conforme o tipo de sistema escolhido para substituição, dada pelas diferenças de custo de construção, instalação e manutenção.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_NBR 12209. **Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_NBR 9077. **Saídas de emergência em edifícios**. Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_NBR 13969/97 – Tanques sépticos – **Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos**: Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ALVES, EEN; INOUE, KRA; BORGES, AC. **Biodigestores**: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. In book: Anais de minicurso do II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável (pp.109-126). Ed.: 1. Arka Editora: 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/262565096\\_Biodigestores\\_construcao\\_operacao\\_e\\_usos\\_do\\_biogas\\_e\\_do\\_biofertilizante\\_visando\\_a\\_sustentabilidade\\_das\\_propriedades\\_rurais](https://www.researchgate.net/publication/262565096_Biodigestores_construcao_operacao_e_usos_do_biogas_e_do_biofertilizante_visando_a_sustentabilidade_das_propriedades_rurais)> Acesso em: 15 out. 2021.

ARAÚJO, APC. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. Uberlândia: UFU, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBiog%C3%A1sRes%C3%ADduos.pdf>> Acesso: 28 mai. 2021.

BRASIL. Presidência da República. **Lei Nº 11.445 de 05 de Janeiro de 2007**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm)> Acesso em: 25 abri. 2021.

\_\_\_\_ Ministério das Cidades. Gabinete do Ministro. **Portaria Nº 660 de 14 de Novembro de 2018**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/guest/materia/>>

/asset\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/50484132/do1-2018-11-16-portaria-n-660-de-14-de-novembro-de-2018-50483803> Acesso em 29 set. 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. Disponível em: <[http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico\\_SNIS\\_AE\\_2019\\_Republicacao\\_31032021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Republicacao_31032021.pdf)> Acesso em: 10 abr. 2021.

BRITO, Leonardo. **Esgotamento sanitário para o Núcleo Rural Lago Oeste – Como fazer fossas sépticas**. Brasília: ASPROESTE, 2017. Disponível em: <[http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/11/Cartilha-Esgotamento\\_vers%C3%A3o-3.pdf](http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/11/Cartilha-Esgotamento_vers%C3%A3o-3.pdf)> Acesso em: 20 mai. 2021.

CALZA, LF; et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Eng. agríc.** 35 (6), Nov-Dec 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p990-997/2015>> Acesso em: 20 out. 2021.

CONCEIÇÃO DA BARRA. Prefeitura Municipal. **Informações do Município**. 2021. Disponível em: <<https://conceicaodabarra.es.gov.br/informacoes-do-municipio>> Acesso em: 26 set. 2021.

CORTES, R. **Fossa Séptica: Como Funciona, Preço Médio, Vantagens Ecológicas**. Gestão Educacional: 2018. Disponível em: <<https://www.gestaoeducacional.com.br/fossa-septica-como-funciona/>> Acesso: 15 out. 2021.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Saneamento básico rural**. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.cortearaújo.br/tema-saneamento-basico-rural/sobre-o-tema>> Acesso em: 10 mai. 2021.

FILHO, W.M. **Sistema integrado de tratamento de esgoto e lixo orgânico descentralizado através de biodigestores e a geração de créditos de carbono**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2012. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/147520377.pdf>> Acesso em: 30 abr. 2021.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila. Disponível em: <<http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>> Acesso em: 5 abri. 2021.

FORTLEV. Biodigestor Fortlev. Catálogo Técnico. 2021. Disponível em: <[https://www.fortlev.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Catalogo\\_Tecnico\\_Biodigestor\\_Fortlev.pdf](https://www.fortlev.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Catalogo_Tecnico_Biodigestor_Fortlev.pdf)> Acesso em: 25 out. 2021.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de orientações técnicas para elaboração de propostas para o programa de melhorias sanitárias domiciliares** – FUNASA. Brasília, 2013. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manual\\_msd3\\_2.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_msd3_2.pdf)> Acesso em: 1 mai. 2021.

GIL, Antônio Carlos, 1946 – **Como elaborar projetos de pesquisa** / Antonio Carlos Gil. – 4. ed. – São Paulo: Atlas, 2002.

HABITISSIMO. **Fossa Séptica no Espírito Santo**: Preços e Orçamentos. 2021. Disponível em: <<https://www.habitissimo.com.br/orcamentos/fossa-septica/espírito-santo>> Acesso: 20 out. 2021.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**: Panorama de Conceição da Barra, Espírito Santo. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/conceicao-da-barra/panorama>> Acesso em: 26 set. 2021.

KLUMB, Armindo. **12 passos para construir um biodigestor**. Fundação Banco do Brasil, 2019. Disponível em: <<https://www.fbb.org.br/images/Editais/COPASA/2019/Biodigestor%20Sertanejo.pdf>> Acesso: 4 mai. 2021.

NUVOLARI, A.. **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola / coordenação Ariovaldo Nuvolari – 2ª ed. rev. atualizada e ampl. – São Paulo: Blucher, 2011.

OLIVEIRA, Jéssica Clarisse. **Utilização de um biodigestor para tratamento de esgoto e geração de energia**: um estudo de caso na comunidade de Portelinha, RJ./ Jéssica Clarisse de Oliveira. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10025008.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2021.

PERMINIO, Guilherme Bezerra. **Viabilidade do uso de biodigestor como tratamento de efluentes domésticos descentralizado**. Lavras: UFLA, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/4546/1/Guilherme%20Perminio.pdf>> Acesso em: 20 abr. 2021.

RIBEIRO, JW; ROOKE, JMS. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. Juiz de Fora: UFJF, 2010. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/TCC-SaneamentoSa%C3%BAde.pdf>> Acesso em: 10 set. 2021.

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Esgoto – Curiosidades**. Aracruz, 2009. Disponível em: <<https://www.saaeara.com.br/informacao/esgoto---curiosidades/>> Acesso em: 26 set. 2021.

SANTOS, RAC. **Metanogênicas e biogás**. Rio Claro: UNESP, 2011. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/ib/ceis/mundoleveduras/2011/Metanogênicas.pdf>> Acesso em: 10 set. 2021.

SOUZA, KFO. **Fossas negras**: um problema para o meio ambiente e para a saúde pública. Ariquemes: FAEMA, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.faema.edu.br/bitstream/123456789/531/1/SOUZA%2C%20K.%20F.%20O.%20-%20FOSSAS%20NEGRAS..%20UM%20PROBLEMA%20PARA%20O%20MEIO%20AM>>

BIENTE%20E%20PARA%20A%20SA%C3%9ADE%20P%C3%9ABLICA.pdf> Acesso em: 4 mai. 2021.

SOUZA, JM. **A segurança do trabalho em obras de pequeno porte no município de Parnaíba – PI.** 2015. Disponível em: <[encurtador.com.br/jkyP6](http://encurtador.com.br/jkyP6)> Acesso em: 12 set. 2021.

TONETTI, Adriano Luiz; et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas:** referencial para a escolha de soluções. /Ana Lucia Brasil, Francisco José Peña y Lillo Madrid, et al. -- Campinas, SP.: Biblioteca/Unicamp, 2018. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1cO4nMVULSRQstTNco5EP-V3dWYH43-0n/view>> Acesso em: 25 out. 2021.

TORRES, A; PEDROSA, JF; MOURA, JP. Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais. **Revista Educação Ambiental em Ação**, nº 40. 2012. Disponível em: <<https://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1248>> Acesso: 20 mai. 2021.