



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU RESIDÊNCIA EM
PRÁTICAS AGRÍCOLAS, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL**

ÁDRIA PAMPLONA MIRANDA FREIRE

**SISTEMAS DESCENTRALIZADOS PARA TRATAMENTO DE
ESGOTO EM ÁREA RURAL: ESTUDO DE CASOS**

Niterói, RJ
2022

ÁDRIA PAMPLONA MIRANDA FREIRE

**SISTEMAS DESCENTRALIZADOS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO EM
ÁREA RURAL: ESTUDO DE CASOS**

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Pós-graduação Lato Sensu Curso de Residência em Práticas Agrícolas e Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção de título de especialista em Práticas Agrícolas, Assistência Técnica e Extensão Rural.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Daiane Cecchin

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a. Dirlane de Fátima do Carmo

Niterói, RJ
2022

**Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e
Instituto de Computação da UFF:**

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

F866s Freire, Ádria Pamplona Miranda
SISTEMAS DESCENTRALIZADOS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO EM ÁREA
RURAL: ESTUDO DE CASOS / Ádria Pamplona Miranda Freire. - 2022.
49 f.

Orientador: Daiane Cecchin.
Coorientador: Dirlane de Fátima do Carmo.
Monografia (residência)-Universidade Federal Fluminense,
Escola de Engenharia, Niterói, 2022.

1. Saneamento rural. 2. Sistemas descentralizados de
tratamento de esgoto. 3. Produção intelectual. I. Cecchin,
Daiane, orientadora. II. Carmo, Dirlane de Fátima do,
coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia. IV. Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

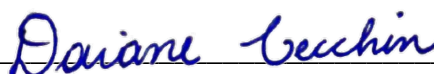
ÁDRIA PAMPLONA MIRANDA FREIRE

**SISTEMAS DESCENTRALIZADOS PARA TRATAMENTO DE
ESGOTO EM ÁREA RURAL: ESTUDO DE CASOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Pós-graduação Lato Sensu Curso de Residência em Práticas Agrícolas e Assistência Técnica e Extensão Rural, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Práticas Agrícolas, Assistência Técnica e Extensão Rural

Aprovada em 08 de novembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA




Prof^ª. Dra. Daiane Cecchin (orientadora)
UFF – Universidade Federal Fluminense



Prof^ª. Dra. Dirlane de Fátima do Carmo (coorientadora)
UFF – Universidade Federal Fluminense



Prof^ª. Dra. Cristina Moll Hüther
UFF – Universidade Federal Fluminense



Prof. Dr. Leonardo da Silva Hamacher
UFF - Universidade Federal Fluminense

Niterói, RJ
2022

Dedico à minha mãe Roseane, ao meu pai Nei e ao meu pai Jorge (*in memoriam*), por
todo incentivo e amor que sempre me deram.

Com todo meu amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças para continuar até o fim.

Aos meu pais, que me dão todo apoio e carinho e principalmente à minha mãe que sempre está ao meu lado para tudo.

À minha orientadora Daiane, por toda orientação e paciência que teve comigo em todo esse processo. À minha Coorientadora, Dirlane, que me mostrou esse tema e me ajudou por todo esse caminho. Obrigada às duas por toda ajuda, paciência, carinho e compreensão.

Ao meu melhor amigo e namorado que sempre foi compreensível em todos os momentos difíceis e por todo apoio e carinho que me deu ao longo desse período.

Aos meus irmãos pelo apoio e cuidado e às minhas amigas por sempre estarem dispostas a me ouvir e me apoiar nos momentos mais difíceis.

Aos meus colegas de curso, que sei o quanto batalharam: obrigada por toda ajuda e troca de experiências.

À UFF pela oportunidade que me foi dada, obrigada a todos os professores que tive durante esse tempo e que acrescentaram à minha vida acadêmica.

Agradeço ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA - Unidade Responsável pelo acompanhamento da execução do objeto do TED: Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo - SAF/MAPA, pela oportunidade e pela bolsa concedida durante todo o curso.

“Toda ação humana, quer se torne
positiva ou negativa, precisa depender de
motivação.” (Dalai Lama)

RESUMO

A falta de acesso a coleta e tratamento de esgoto doméstico na área rural é um obstáculo a ser enfrentado no país, pois oferece riscos à saúde da população local e ao meio ambiente. Sistemas de tratamento de esgoto descentralizados são uma alternativa para esta população carente de saneamento, podendo ainda apresentar oportunidades, gerando recursos produtivos. Assim, este trabalho teve como objetivo comparar sistemas alternativos para tratamento de esgoto doméstico no meio rural, sob os aspectos econômicos e ambientais, visando auxiliar no processo decisório para tratamento descentralizado. A partir de ampla revisão bibliográfica foi realizado levantamento de dados sobre a eficiência dos sistemas tanque de evapotranspiração (TEvap), fossa séptica biodigestora e o biodigestor para tratamento de águas negras e o círculo das bananeiras para águas cinzas, sendo utilizada a matriz SWOT para facilitar a comparação. Os custos entre os sistemas foram similares, variando de 1000 a 2700 reais. Os melhores resultados foram encontrados com o uso do TEvap, com eficiência de remoção da carga orgânica podendo alcançar até 97% e de sólidos totais superior a 83%, com melhoria paisagística local e produzindo alimentos que apresentam segurança para consumo. Entretanto, o TEvap é o sistema que necessita de maior área, dependendo do número de moradores.

Palavras-chave: saneamento rural; tanque de evapotranspiração; círculo das bananeiras; biodigestor; fossa séptica biodigestora

ABSTRACT

The lack of access to collection and treatment of domestic sewage in rural areas is an obstacle to be faced in the country, as it poses risks to the health of the local population and the environment. Decentralized sewage treatment systems are an alternative for this population lacking sanitation, and may also present opportunities, generating productive resources. Thus, this study aimed to compare alternative systems for the treatment of domestic sewage in rural areas, under the economic and environmental aspects, to assist in the decision-making process for decentralized treatment. Based on an extensive bibliographic review, data collection was carried out on the efficiency of the evapotranspiration tank (TEvap), biodigester septic tank, and the biodigester for treating black water and the circle of banana trees for gray water, using the SWOT matrix to facilitate the comparison. The costs between the systems were similar, ranging from 1000 to 2700 reais. The best results were found with the use of TEvap, with organic load removal efficiency reaching up to 97% and total solids above 83%, with local landscape improvement and producing food that is safe for consumption. However, TEvap is the system that needs the largest area, depending on the number of residents.

Keywords: rural sanitation; evapotranspiration tank; banana circle; biodigester; biodigester septic tank.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corte transversal do Tanque de Evapotranspiração, TEvap	13
Figura 2 - Esquema fossa séptica biodigestora composta por caixas d'água.	15
Figura 3 – Imagem de biodigestor do tipo chinês.....	16
Figura 4 - Esquema do círculo das bananeiras.	17

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise da Fossa Séptica Biodigestora por meio da matriz SWOT	21
Quadro 2 – Análise do Tanque de Evapotranspiração por meio da matriz SWOT	22
Quadro 3 – Análise do Biodigestor por meio da matriz SWOT	23
Quadro 4 – Análise do Círculo das bananeiras por meio da matriz SWOT	24
Quadro 5 – Comparação entre as vantagens e desvantagens do Tanque de Evapotranspiração, Fossa Séptica Biodigestora, Biodigestor e Círculo de Bananeiras, apontando o custo de construção de cada um	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1.1. Objetivo geral	5
1.1.2. Objetivos específicos	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1 Saneamento básico no Brasil	7
2.2 Saneamento rural	7
2.3 Saneamento ecológico	9
2.4 Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto.....	10
2.4.1 Tanque de Evapotranspiração.....	12
2.4.2 Fossa Séptica Biodigestora	14
2.4.3 Biodigestor.....	15
2.4.3 Círculo das Bananeiras: Tratamento para efluente de águas cinzas	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.2 Levantamento de dados	18
3.2 Análise SWOT	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
4.1 Análise SWOT de cada um dos tratamentos descentralizados escolhidos	20
4.1.1 Matriz SWOT - Fossa séptica biodigestora	20
4.1.2 Matriz SWOT – Tanque de Evapotranspiração.....	21
4.1.3 Matriz SWOT – Biodigestor.....	23
4.1.4 Matriz SWOT – Círculo das Bananeiras	23
4.2 Comparação entre os sistemas descentralizados abordados	24
4.2 Comparação entre as eficiências dos sistemas de tratamento analisados	27
5. CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXOS	36

1. INTRODUÇÃO

O saneamento básico no Brasil ainda é um dos grandes entraves para a qualidade de vida do brasileiro, sendo o tratamento de esgoto uma limitação tanto na zona urbana como na rural, com cerca de 47 % da população sem acesso a coleta de esgotos (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2020). A falta de coleta de esgoto sanitário e o consequente despejo indevido estão entre as principais causas da contaminação de águas doces, limitando a captação e uso para abastecimento, oferecendo riscos a população local e ao meio ambiente (FIGUEIREDO, 2019; IBGE, 2021). Assim, se na área urbana ainda há uma dificuldade de acesso ao tratamento de esgoto na área rural essa falta de acesso torna-se ainda mais acentuada. Dados divulgados do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) de 2019, nas áreas rurais, (59,5%) aproximadamente 24 milhões de pessoas, não possuem acesso adequado a água e 22 milhões de pessoas (79,42%) não possuem cobertura adequada de serviço de esgotamento sanitário e 30 milhões (76,6%) não têm acesso à coleta de lixo (BRASIL, 2019).

Entre os principais entraves ao acesso ao tratamento de esgoto, estão o alcance de políticas públicas e a falta de investimento no setor de saneamento básico, o que prejudica a qualidade da água fornecida e a eficiência da rede de distribuição, resultando em prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública (FIGUEIREDO, 2019; IBGE, 2021).

Conforme dados coletados em 2017 e publicados no Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB (BRASIL, 2019), as alternativas mais utilizadas em domicílios rurais são fossas rudimentares (48,6%), fossas sépticas (32,0%) e despejos sem tratamento em valas, rios, lagos, mar ou outro destino (11,7%), demonstrando assim a necessidade de orientação e direcionamento dos moradores dessas localidades. Esses despejos inadequados de esgoto podem afetar a qualidade da água, contribuindo para a escassez desse recurso essencial e, portanto, limitante para várias atividades. Deve-se ressaltar ainda, que o meio rural desempenha um papel importante no que tange aos recursos hídricos, visto que a maioria das nascentes se encontram nessas regiões. Dessa forma, a qualidade desse recurso também depende de sua manutenção, ressaltando a necessidade do tratamento de esgotos.

Assim, para a população rural brasileira, soluções sustentáveis de saneamento poderiam contribuir na melhoria das condições de saúde, aumentando a oferta de serviços públicos adequados (COSTA, 2014). As alternativas mais adequadas para o tratamento de esgoto no meio rural são as descentralizadas, visto que pelo isolamento dessas áreas é inviável

um sistema de coleta direcionando para estações no meio urbano. Como ressaltado por Braga (2011), os aglomerados rurais são distantes dos centros urbanos e é comum a dispersão das casas, ou seja, distâncias consideráveis entre uma e outra, o que dificulta o atendimento convencional, seja para abastecimento de água, seja para coleta e tratamento de esgoto. Diante dessas especificidades locais, dificilmente uma rede centralizada de água e esgoto, que funcione para as áreas urbanas, chegará até as áreas rurais.

Com isso, cabe então aos próprios produtores rurais a implantação e manutenção dos sistemas de tratamento de esgotos (FIGUEIREDO, 2019) e alternativas que sejam tecnicamente eficientes, economicamente viáveis, de fácil construção tornam-se relevantes, principalmente se configurarem como oportunidades e não apenas como custos.

Atualmente, há várias alternativas de sistemas de tratamento de esgoto descentralizado que podem ser implementados, porém é necessário antes de tudo escolher o modelo adequado levando em consideração as características e necessidades de cada local, como quantidade de pessoas na propriedade, recursos financeiros, a viabilidade econômica e social do projeto assim como a sustentabilidade deste (PIRES, 2012). Dito isto, é importante incentivar a geração de conhecimento, coleta de dados sobre essas áreas e, posteriormente, investir em planejamento e implementação de soluções adaptadas às necessidades locais, conectar as comunidades rurais aos tomadores de decisão no campo do saneamento básico, criando em conjunto, soluções adaptadas e que sejam adequadas aos modos de vida local (IAS, 2022).

Considerando que, em geral, não há políticas públicas para a coleta e tratamento de esgoto nestes locais e dependerá do investimento do gerador. É possível então, transformar a realidade do serviço de saneamento básico na área rural investindo em soluções adaptadas e de baixo custo, com tecnologias que facilitam a captação e aproveitamento da água pluvial e a implementação de sistemas de tratamento e reuso de esgoto. A partir das dificuldades encontradas no panorama nacional para o acesso da população rural, até mesmo da população urbana, que não pode ser atendida por sistemas convencionais de coleta e tratamento de esgoto, como os moradores de comunidades, justifica-se o levantamento de técnicas disponíveis para o tratamento de esgoto, que sejam simples e acessíveis, buscando melhorar a qualidade de vida da população e diminuir a contaminação do solo, minimizando também a poluição de corpos hídricos com o despejo irregular de efluentes.

O levantamento desses dados permitirá identificar opções que sejam de baixo investimento, de fácil acesso, com operação simplificada, para universalização do saneamento básico. Pretende-se com este trabalho então, levantar dados técnicos de eficiência de remoção de carga orgânica, custos de implantação, tendo como base trabalhos experimentais já

realizados, simplificando o acesso do produtor à informação, direcionando para uma melhor escolha do sistema de tratamento de esgoto descentralizado, que seja mais adequada às condições locais, além de difundir alternativas sustentáveis e acessíveis à pessoas que encontram-se também em locais sem acesso à esgoto mesmo que não sejam em áreas rurais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- ✓ Comparar sistemas descentralizados de tratamento de esgoto utilizando como estudo de caso: Fossa Séptica Biodigestora, Tanque de Evapotranspiração, Biodigestor e círculo das bananeiras; avaliando a viabilidade técnica e econômica

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Levantar dados sobre eficiência de remoção de Demanda Bioquímica e de Demanda Biológica de Oxigênio, bem como de sólidos, dos sistemas analisados;
- ✓ Avaliar as forças e fraquezas, potencialidades e ameaças de cada um dos sistemas escolhidos;
- ✓ Comparar os sistemas escolhidos

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Saneamento básico no Brasil

O saneamento básico é garantido como direito de todos pela lei federal de nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007). Porém o tratamento de esgoto no Brasil ainda é um grande entrave para o amplo atendimento do saneamento básico.

A composição dos esgotos domésticos é formada por aproximadamente 99,9% de água e o restante da fração é constituído por sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, além de microrganismos, sendo a necessidade do tratamento dos esgotos imposta por essa fração de 0,1% (VON SPERLING, 1995). Portanto, o esgoto doméstico não tratado é uma importante fonte poluidora, considerando que apenas 53,2% dos municípios possuem coleta de esgoto, e desses, apenas 46,3% tratavam o efluente gerado, conforme dados coletados em 2017 (SNIS, 2018).

Deve-se ressaltar ainda que o acesso a saneamento básico é marcado por diversas desigualdades, tanto entre as regiões do país como entre estados de uma mesma região, entre municípios dentro de um mesmo estado, entre municípios pequenos e grandes municípios, entre ricos e pobres, entre brancos e negros, entre rural e urbano (IAS, 2020).

De acordo com dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020), aproximadamente 84,4% da população encontra-se vivendo em área urbana e 15,6% na área rural. Esses dados são do último Censo, realizado em 2010, o que significa que estão desatualizados podendo haver mudanças nos valores pelo último censo, que está sendo realizado neste segundo semestre de 2022.

Proporcionar saneamento básico adequado para toda a população é um dos maiores desafios do Brasil para os próximos anos. Atualmente o país tem 86 milhões de habitantes que possuem acesso precário à água e 107 milhões de pessoas que não têm acesso devido a coleta e tratamento de esgoto ou possuem fossas rudimentares (IAS, 2020).

Dados apresentados pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) em 2019, mostram que a coleta e tratamento do esgoto concentram-se principalmente nas cidades mais populosas, com diferenças significativas nos municípios menos populosos, com até 20 mil habitantes (IBGE, 2020). Os dados demonstram também uma desigualdade em relação à cobertura de esgotamento sanitário nas zonas urbana e rural: de todos os municípios com o serviço, apenas 16,7% informaram que tinham rede em toda a área urbana e rural, ou parcial na área rural (IBGE, 2020).

O marco legal do saneamento foi assinado em 2020 como resultado de uma busca de alternativas tanto para minimizar, quanto para sanar o problema do saneamento. A nova legislação, aprovada pelo Congresso Nacional e sancionada pela Presidência da República em julho de 2020, veio para modernizar e adicionar segurança jurídica e previsibilidade necessária para atrair investimentos privados expressivos para o setor. Os objetivos do marco legal do saneamento são definir novas alternativas de financiamento e mecanismos para garantir os serviços de saneamento básico em todo o País até 2033, visando garantir assim 99% da população com acesso a abastecimento de água e 90%, a coleta e tratamento de esgoto (GOV, 2022). Torna-se ainda mais urgente o investimento na área de saneamento, buscando soluções e alternativas para resolução do problema.

Alguns resultados já puderam ser observados, tendo sido garantidos R\$ 72,2 bilhões com nove leilões de concessão de serviços, além de obter resultados positivos para 19,3 milhões de pessoas em 212 municípios. Já em 2021, o setor de saneamento básico garantiu aproximadamente R\$ 42,8 bilhões em investimentos. No mesmo ano, o Governo Federal, por meio do Ministério do Desenvolvimento Regional, realizou 137 obras de saneamento e retomou 290 empreendimentos que levarão água e esgoto tratados a aproximadamente 7,5 milhões de pessoas. (TAE, 2022)

2.2 Saneamento rural

De acordo com o último censo realizado pelo IBGE em 2010, a população rural no Brasil é formada por aproximadamente 30 milhões de pessoas, 15,65% da população do país, podendo ser um número maior atualmente. A área rural é caracterizada por ter menor acesso à saneamento, sendo que 25 % dessa população rural vive em extrema pobreza (RESENDE; FERREIRA; FERNANDES, 2018). Sabe-se que a porcentagem de esgoto tratado é maior em cidades mais populosas e urbanas, explicitando ainda que esse serviço está mais presente nas áreas urbanas do que rurais, contando com apenas 16,7% dos municípios afirmando que possuíam rede de esgoto na área urbana e rural, ou em partes da área rural (IBGE, 2020).

A população da área rural sofre com a precariedade dos serviços de tratamento de resíduos sólidos, de drenagem e manejo das águas pluviais, de abastecimento de água e esgotamento sanitário em grande escala. Essa falta de investimentos no setor de saneamento básico no território rural implica em violação de direitos humanos e impacta na dignidade de comunidades historicamente invisibilizadas, como indígenas, ribeirinhos, quilombolas e camponeses (IAS, 2022).

Assim, em locais que possuem baixa densidade populacional, as redes de coleta de esgoto não existem ou não são suficientes para toda a área, levando à necessidade de adoção de soluções diferenciadas para a instalação e operação de sistemas de saneamento básico (TONETTI *et al.*, 2018). O despejo inadequado do esgoto doméstico é caracterizado, principalmente, pela alta quantidade de matéria orgânica. Quando lançado diretamente em algum rio, o esgoto doméstico acaba por se estabilizar ou ser assimilado pelo meio líquido, devido aos processos de autodepuração com transformações químicas, físicas e biológicas, onde a matéria orgânica é oxidada, tornando-se compostos de menor toxicidade. Deve-se ressaltar, porém, que quando despejados em quantidades elevadas, o ambiente fica sobrecarregado e ocorre um desequilíbrio em suas reações (VICQ, 2014). A vazão do corpo hídrico também interferirá na autodepuração, dependendo da carga lançada.

Com isso, na zona rural, a disposição inadequada do esgoto doméstico é grave, pois estas localidades não dispõem de infraestrutura para tratamento (FREITAS, 2015). Devido a inacessibilidade de acesso a tratamento de esgoto na área rural, as chances de contaminação por doenças são maiores. Dados divulgados pelo “Atlas do Saneamento”, lançado pelo IBGE (2021), mostraram que as Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI), foram responsáveis por cerca de 0,9% de todos os óbitos ocorridos no Brasil entre 2008 e 2019, o que equivale em média a 11,2 mil mortes por ano. Entre as mortes ocorridas, 21,7% foram por doenças infecciosas e parasitárias no Brasil, sendo esse percentual maior nas Regiões Centro-Oeste (42,9%) e Nordeste (27,1%). Doença de Chagas, diarreias, disenteria, foram as principais causas de morte, o que representa aproximadamente 81,5% das mortes por DRSAI neste período de 2008 a 2019 (IBGE, 2021).

Assim, é essencial a criação de alternativas que possam minimizar esses riscos. Ações relacionadas ao saneamento rural constituem uma forma de minimizar as emissões de cargas poluidoras, de conservar a qualidade dos recursos hídricos e de, conseqüentemente, desenvolver socioeconomicamente a região, uma vez que exercem impactos recíprocos (de caráter epidemiológico e ambiental) (COELHO, 2017).

Alternativas como a implementação de sistemas de esgoto descentralizado aumentam a segurança tanto da saúde da população quanto do ambiente. Nesse sentido, opções de tratamento de esgoto no meio rural, como a utilização de sistemas ecológicos, se adequam à realidade rural, tanto pela facilidade de reuso do efluente, alguns geram biofertilizantes e pelo baixo custo da produção com a reutilização de materiais da construção (TEIXEIRA, 2018).

2.3 Saneamento ecológico

A diferença do saneamento ecológico para o sistema convencional é que, enquanto o convencional é linear, trata o efluente e descarta posteriormente na natureza, nos sistemas de saneamento ecológico haverá o tratamento e a reutilização do efluente, realizando o aproveitamento do ciclo de nutrientes naturalmente. Com isso, o saneamento ecológico mostra-se como uma visão alternativa e sustentável para economia ambiental, onde promove-se o correto manuseio e destinação dos dejetos humanos e de animais como subprodutos, com garantia de segurança sanitária e encerramento do ciclo dos nutrientes, integrando-o à natureza e às condições sociais de cada território (MACHADO, 2019).

O saneamento ecológico mostra-se mais viável financeira e ecologicamente do que o de uso convencional, não somente devido ao menor custo de investimentos no sistema, mas também ao possibilitar a geração de recursos através das atividades produtivas realizadas nestes. Diferentes sistemas descentralizados fazem parte do saneamento ecológico, que, além de trazer benefícios ao meio ambiente e moradores locais, fortalecem as comunidades e incentivam o trabalho em conjunto, podendo ser mais seguro do que os sistemas convencionais, além de menos poluidores, ocasionando na redução de gastos municipais com cuidados com saúde e despoluição ambiental, gerando benefícios e receitas locais diversas, incluindo até mesmo a dinamização do turismo (ESREY, 1998).

Outra perspectiva é a de inclusão social que esses sistemas trazem, relacionando ao envolvimento da comunidade com o projeto, criando uma conexão das pessoas com a natureza sob a perspectiva da educação ambiental, ou seja, surge na prática uma nova consciência ambiental (MACHADO, 2019).

O ecosaneamento é uma atitude com abordagem sistêmica e tem como objetivo fechar os ciclos de nutrientes e água com o menor gasto possível de energia e matéria, contribuindo assim para um desenvolvimento sustentável (LANGERGRABER, 2005).

Algumas diferenças significativas entre o saneamento ecológico e o saneamento básico convencional são que o saneamento convencional considera os dejetos e águas residuais como rejeitos que devem ser tratados e dispostos de forma adequada posteriormente enquanto o ecológico considera que estes devem ser reaproveitados, protegendo assim os recursos naturais (MACHADO, 2019). No convencional não há separação das águas no tratamento e trata o ciclo de nutrientes e da água de forma linear e aberta, além de considerar principalmente os aspectos técnico/econômicos enquanto no saneamento ecológico é considerado principalmente o entorno, ou seja, os aspectos sociais, ambientais, culturais e técnico/econômicos. No saneamento ecológico a água é separada em dois tipos, sendo águas

negras e águas cinzas, para depois haver o aproveitamento, sendo caracterizado como tecnologia social (MACHADO, 2019). As águas negras são aquelas produzidas na bacia sanitária com descarga, e que contém fezes, urina, água, produtos químicos e, ocasionalmente, papel higiênico, possuindo o maior potencial de poluição e contaminação. As águas cinzas são compostas pelo restante de todos os efluentes do domicílio e contém água, matéria orgânica, produtos químicos, gorduras, sabão, fibras, cabelos (CATALOSAN, 2018).

Enquadra-se também no saneamento ecológico uma denominação como saneamento focado em recursos, focado em manter o ambiente saudável tanto para a natureza quanto para as pessoas. O Objetivo do saneamento focado em recursos, é manter esse ambiente saudável para todos enquanto evita os efeitos nocivos do despejo inadequado do esgoto doméstico (resíduos, fezes, urina, águas servidas), com isso, os sistemas naturais são utilizados para conseguir neutralizar a potencial contaminação pelos efluentes, aproveitando os recursos (água e nutrientes) para a manutenção de sistemas produtivos, melhorando e garantindo a segurança alimentar, ambiental e econômica, a partir dos arredores da residência (CATALOSAN, 2018).

Para o sucesso desses sistemas, é necessário fechar os ciclos da água, matéria orgânica e nutrientes, de forma semelhante ao que acontece em ambientes naturais, assim, é importante separar, os diversos tipos de efluentes, para tratar cada um de acordo com suas próprias características, para aproveitar ao máximo seus potenciais, antes ou ao invés de despejá-los diretamente ao meio ambiente. Como destino final, mesmo depois de tratados, é comumente mais adequada a disposição no solo do que lança-los nas águas. No solo há uma diversidade bem maior de organismos decompositores de matéria orgânica, além de um ambiente mais propício ao tratamento de diversas substâncias presentes no esgoto, pois alguns dos elementos que são poluentes para a água são benéficos e fontes de nutrientes para as plantas e outros organismos vivos, lembrando sempre que deve haver tratamento adequado antes de qualquer tipo despejo (CATALOSAN, 2018).

Tanto no saneamento convencional, quanto no ecológico há alternativas que permitem o seu emprego de forma descentralizada, o que é mais adequado para o meio rural.

2.4 Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto

Os sistemas descentralizados de tratamento de esgoto são aqueles em que a coleta, o tratamento e a disposição final ou reuso do esgoto ocorrem em área próxima à sua geração, diferenciando-se dos sistemas centralizados, que são os sistemas comumente utilizados em zonas urbanas (TONETTI *et al.*, 2018), em que o material é coletado e encaminhado para

local de tratamento comum. Em zona rural o modelo centralizado não é viável pela falta de economia de escala e pela baixa densidade populacional que geralmente ocorre (LIRA; CÂNDIDO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). Os sistemas locais, utilizados para esgotos domésticos unitários, caracterizam-se por realizar o tratamento de águas residuárias geradas em residências individuais. Tais sistemas podem ser aplicados com ou sem separação de efluentes. Quando a separação de efluentes é adotada, as águas negras são direcionadas para o tratamento anaeróbio enquanto as águas cinzentas podem ser submetidas a tratamento e posterior reutilização (MESQUITA, 2019).

Os sistemas descentralizados de tratamento de águas residuais devem atender tanto a saúde humana e animal, quanto à saúde ambiental, sendo geralmente de custo baixo, fáceis de construir e de fácil manutenção (TRAVIS *et al*, 2012).

No meio rural, sistemas descentralizados biológicos são alternativas interessantes, principalmente os anaeróbios, sendo algumas das vantagens: o baixo custo para sua implantação, a contribuição para a sustentabilidade local, a redução da contaminação do solo e corpos hídricos locais, a melhoria da qualidade de vida, podendo alguns tipos de metodologias adotadas ajudar na produção de alimentos e valorização do paisagismo local (TONETTI *et al.*, 2018).

Entretanto, também há sistemas descentralizados, que são amplamente adotados e que apresentam falhas para o tratamento adequado dos esgotos, tais como a fossa rudimentar e a fossa séptica. Muito utilizada no meio rural, a fossa rudimentar não é um método indicado devido ao risco de contaminação do solo, do lençol freático e das águas dos poços, podendo causar diversas doenças em quem entra em contato com estas águas (FREITAS, 2015).

A fossa rudimentar trata, basicamente, de um buraco escavado no solo, onde o esgoto dos domicílios é lançado (EMATER, 2021). É a forma mais utilizada para destinação do esgoto doméstico nas propriedades rurais e em aglomerados urbanos que não possuem rede pública de coleta de esgoto. Dados do último censo do IBGE (2011) mostram seu predomínio em cerca de 64% dos domicílios rurais, enquanto as fossas sépticas chegam a 16%. Além do risco de contaminação apontado anteriormente com consequente risco de doenças, há ainda o comprometimento da segurança alimentar na produção de alimentos (EMATER, 2021).

No entanto, há alternativas de tratamento descentralizado que permitem o adequado tratamento de esgoto sanitário e podem ser consideradas tecnologias sociais. Tecnologias sociais são um conjunto de técnicas e metodologias que visam a participação ativa da sociedade, e com isso, busca a solução de problemas locais garantindo a saúde, desenvolvimento e inclusão social da comunidade. As tecnologias sociais são baseadas nas

necessidades e nos estilos de vida locais, de forma a se adequar, considerando condições financeiras, culturais e educacionais. (OLIVEIRA, 2017)

Algumas das principais tecnologias alternativas para o tratamento descentralizado de esgotos, conhecidas e realizadas atualmente no Brasil, são: Fossa séptica biodigestora, Biodigestor, Tanque de Evapotranspiração (também conhecido como bacia de evapotranspiração ou fossa verde) e Círculo das bananeiras.

2.4.1 Tanque de Evapotranspiração

O tanque de evapotranspiração (TEvap) é um sistema de tratamento de águas negras com utilização de plantas, sendo uma alternativa sustentável aos sistemas de tratamento comumente empregados. Trata-se de um tanque retangular impermeabilizado, dimensionado de acordo com a quantidade de pessoas residentes na propriedade, preenchido com diferentes camadas de substrato e na sua superfície plantam-se espécies vegetais de crescimento rápido e que demandam alto volume de água, como por exemplo taioba (*Xantho-soma sagittifolium*) e banana (*Musa sp*), que é a mais utilizada (GALBIATI, 2009). É necessário frisar que não é indicado o plantio de tubérculos, raízes e plantas que produzam frutos que fiquem em contato direto com o solo.

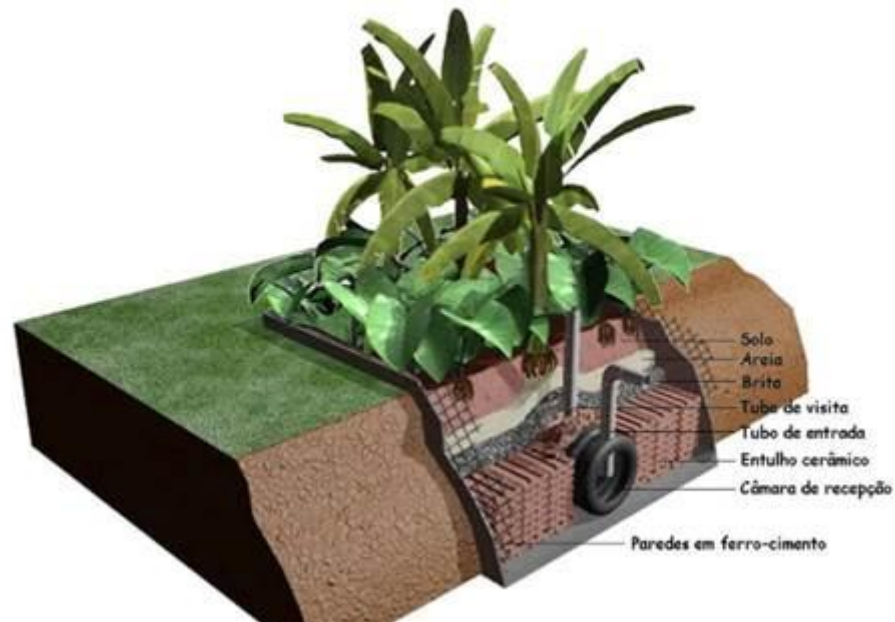
A utilização do TEvap poderá ser feita apenas se houver a separação das águas da residência, somente o efluente oriundo dos sanitários (água negra) deverá ir para o TEvap, enquanto as águas cinzas (de pias, tanques e chuveiros) devem ser encaminhadas para outro sistema de tratamento, como por exemplo o círculo de bananeiras, desde que passe, antes, por uma caixa de gordura (PAMPLONA; VENTURI, 2004). O sistema é considerado sustentável pelo fato de operar de forma fechada, sem extravasamento se adequadamente projetado, não necessitando de ações de operação além da manutenção das culturas plantadas em seu sistema (COSTA, 2014).

No sistema há uma parte interna, de alvenaria ou de pneus, que funciona como uma câmara onde ocorre a digestão anaeróbia por fermentação. Nos espaços criados entre os materiais colocados ao redor desta câmara de recepção, o efluente sanitário move-se através de capilaridades, de baixo para cima, separando os dejetos, percorrendo as camadas de brita, areia e solo, seguindo por fim até às raízes das bananeiras, onde a água do tanque sairá por meio da evapotranspiração feita pelas plantas (SOUZA *et al.*, 2018).

Em relação aos aspectos construtivos, o fundo e laterais da Bacia de evapotranspiração (Figura 1) devem ser impermeabilizados, sendo comumente usada a alvenaria convencional, ferrocimento ou lonas. A câmara de recepção pode ser construída de vários materiais, sendo

no Brasil usual o emprego de pneus ou tijolos cerâmicos vazados. Por fim, a instalação de um tubo ladrão na camada de solo não é consenso, mas é recomendada para drenar a água da chuva e, eventualmente, algum efluente produzido por sobrecarga do sistema (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

Figura 1 - Corte transversal do Tanque de Evapotranspiração, TEvap



Fonte: GALBIATI (2009)

Como a Bacia de Evapotranspiração é um sistema fechado, geralmente não é gerado um efluente final, aumentando sua aplicabilidade para locais em que há limitações para a disposição do efluente tratado. Além disso, os usuários do sistema têm pouco ou nenhum contato com o efluente gerado, sendo possível ainda aproveitar os nutrientes e a água presentes no esgoto para a produção de biomassa e alimentos (FIGUEIREDO, 2019).

Visando avaliar a qualidade sanitária dos vegetais desse sistema, Coelho *et al.* (2018) realizaram uma análise microbiológica de tomate (*Solanum esculentum*), pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense*), banana (*Musa sp.*) e folha de Malvarisco (*Plectranthus amboinicus L.*) em uma TEvap. O teste de qualidade sanitária dos vegetais foi feito a partir da contagem de coliformes termotolerantes e a investigação de *Salmonella sp.* em 25 g de cada amostra (COELHO *et al.*, 2018). Os autores verificaram que os alimentos estavam aptos para o consumo, até mesmo a folha de Malvarisco, que é processada em fervura e depois consumida como chá. A segurança da qualidade sanitária desses alimentos depende principalmente de cuidados com a sua manipulação e com as práticas higiênicas de cada família beneficiária,

para evitar a ocorrência da contaminação cruzada no alimento, sendo este resultado um ponto importante para replicação de forma segura da tecnologia (COELHO *et al.*, 2018).

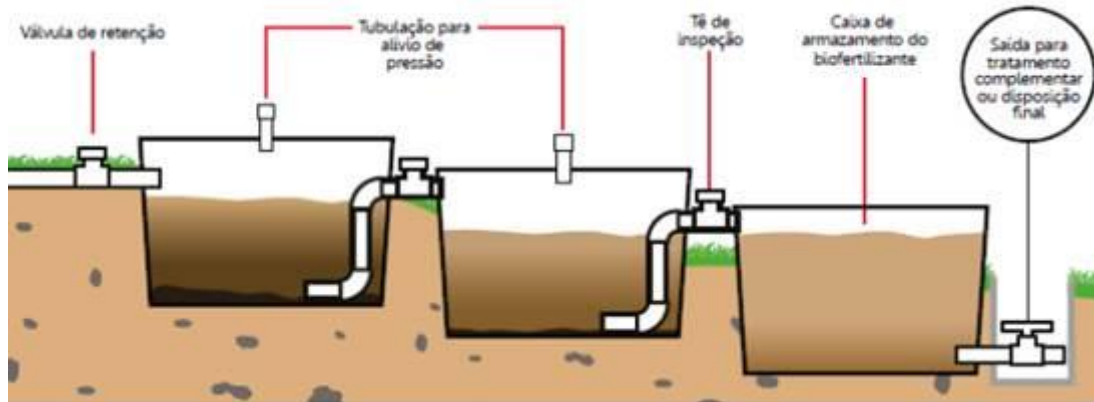
2.4.2 Fossa Séptica Biodigestora

O sistema de fossa séptica biodigestora ajuda a viabilizar o tratamento de esgoto doméstico por meio da fermentação, sendo essa decomposição anaeróbia da matéria orgânica realizada principalmente por bactérias (LIMA *et al.*, 2012; FAUSTINO, 2007). Há o uso do esterco como meio inoculante, sendo este introduzido no sistema a cada 30 dias com o objetivo de aumentar a atividade microbiana e assim a eficiência da biodigestão. O tratamento resulta na conversão em biogás (pelos organismos metanogênicos), lodo e efluente líquido, ficando estabilizado e sem odores (LIMA *et al.*, 2012).

É de grande importância notar que a fossa séptica biodigestora, criada pela EMBRAPA, foi incluída como referência, em março de 2017, no Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR), que integra o Programa “Minha Casa, Minha Vida”, assim, os agricultores familiares e trabalhadores rurais, podem receber subsídios e incentivos para a montagem da mesma (EMBRAPA, 2017). Ressalta-se então a importância dessa tecnologia social, assim como sua eficiência e fácil montagem, sendo um incentivo maior para sua implantação na área rural.

O sistema da fossa séptica biodigestora (Figura 2) pode ser composto por duas caixas de fibrocimento de 1000 litros cada, vedadas, conectadas exclusivamente ao vaso sanitário (águas negras) e uma terceira caixa de mesmo volume para coleta do efluente (FAUSTINO, 2007). Porém, há outros tipos de materiais que podem ser utilizados como, por exemplo, manilhas de concreto e fibras de vidro (OLIVEIRA, 2018b). Atualmente os componentes principais são as caixas d’água de fibra de vidro, que são utilizadas por serem mais leves, acessíveis e fáceis de manejar durante a instalação, além de resistentes (SILVA, MARMO & LEONEL, 2017).

Figura 2 - Esquema fossa séptica biodigestora composta por caixas d'água.



Fonte: FIGUEIREDO (2019).

A adição de esterco bovino mensalmente pode ser um fator limitante para a correta manutenção do sistema, além de muitas propriedades não terem disponibilidade desse material podendo dificultar sua implantação (FIGUEIREDO *et al.*, 2019 b). Além disso, como o sistema funciona a partir de um processo de biodigestão anaeróbica, há a limitação pela necessidade de um sistema de tratamento auxiliar, particularmente para as águas cinzas, devendo ser realizado a parte (COSTA, 2014).

2.4.3 Biodigestor

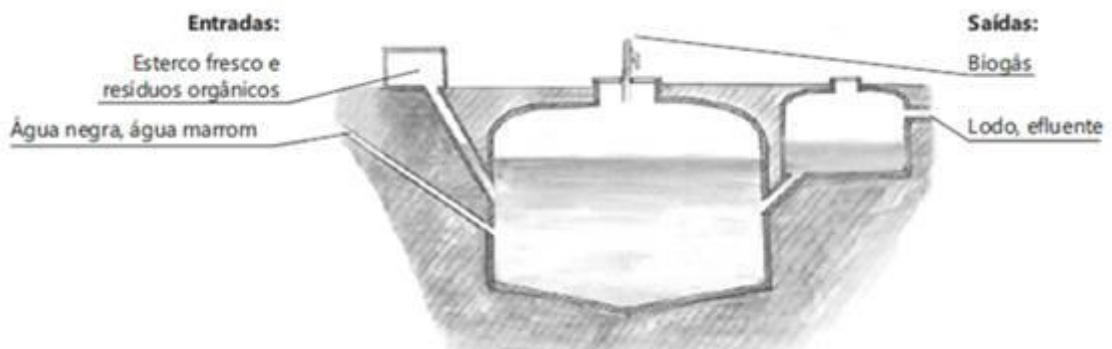
O biodigestor é um equipamento onde a fermentação da matéria orgânica ocorre de maneira controlada, proporcionando a redução do impacto ambiental e a geração de combustível de baixo custo.

A formação do biogás ocorre da fermentação anaeróbica, de dejetos animais e humanos como também resíduos vegetais e de lixo orgânico, sob condições adequadas de umidade, sendo também gerados restos digeridos sem cheiro e biofertilizante (OLIVEIRA, 2018^a; BARICHELLO *et al.*, 2015).

Dentro do cilindro do biodigestor, a digestão da matéria orgânica ocorre, de forma geral, em três fases: na fase de hidrólise enzimática, as bactérias liberam no meio as enzimas extracelulares fazendo a hidrólise de partículas. Em seguida, na fase ácida, as bactérias produtoras de ácidos transformam moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em ácido láctico e ácido butílico, etanol, hidrogênio, amônia e dióxido de carbono, entre outros. Finalmente, na última fase, organismos metanogênicos transformam o hidrogênio e o dióxido de carbono em metano (CH₄) (BARBOSA; LANGER, 2011).

Existem diversos modelos de biodigestores, como por exemplo, os indianos, os chineses (Figura 3), os tabulares e em batelada, sendo necessária a adequação para cada local. O biodigestor é uma tecnologia que surgiu para ajudar principalmente os pequenos produtores rurais a buscarem uma solução prática, simples e eficaz para o acúmulo de dejetos nas propriedades (CÔRTEZ; ROCHA; CÔRTEZ, 2019). Assim, a utilização dos biodigestores é uma alternativa para solucionar a ineficiência do saneamento e promover a saúde coletiva, principalmente em áreas rurais e periurbanas (PROENÇA; MACHADO, 2018).

Figura 3 – Imagem de biodigestor do tipo chinês



Fonte: CATALOSAN (2018).

2.4.4 Círculo das Bananeiras: Tratamento para efluente de águas cinzas

Havendo a separação das águas cinzas e águas negras, o tratamento das primeiras, pode ser feito por um método simples, de baixo custo e com efeito paisagístico para a propriedade. O círculo das Bananeiras (Figura 4) é uma opção bastante simples e econômica. Também pode ser utilizado para o esgoto já tratado, que pode sair da Bacia de evapotranspiração e de tanques sépticos.

Basicamente a implantação do sistema consiste na abertura de uma cova no solo em forma circular, com dimensionamento de 2,0 m de diâmetro e 0,8m de profundidade, onde será preenchido com galhos em seu fundo e com palhada na sua superfície, os restos da terra retirada serão postos nas bordas do círculo onde então serão plantadas as Bananeiras (*Musa sp*), podendo ser plantadas também taiobas (*Xantho-soma sagittifolium*) (FIGUEIREDO *et al.*, 2018).

O funcionamento do círculo das bananeiras, tem como princípio a absorção de parte da água cinza e de seus nutrientes pelos vegetais e infiltração da outra parte desse efluente no solo, purificando-o e permitindo a recarga do lençol freático (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

A cada três anos é necessária a retirada das bananeiras mais antigas. O círculo de bananeiras apresentada como vantagens a fácil construção e manutenção, bem como o baixo custo, estando a eficiência do sistema condicionada a não utilização de produtos químicos na lavagem de roupas e louças e nos banhos.

Figura 4 - Esquema do círculo das bananeiras.



Fonte: CATALOSAN, 2018

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.2 *Levantamento de dados*

A busca de dados foi realizada tendo como critérios obras que abordassem a eficiência de remoção dos sistemas de tratamento escolhidos, dados sobre os tratamentos, custos de construção sobre os sistemas de Tanques de Evapotranspiração, Fossa séptica biodigestora, biodigestor e círculo das bananeiras, utilizando as seguintes palavras-chave: Tanque de evapotranspiração, TEvap, Bacia de evapotranspiração, fossa séptica biodigestora, biodigestor, combinados com as palavras eficiência, DBO, DQO. Os termos foram utilizados combinados entre si. Outro critério considerado com base nessa seleção foi a seleção de material que abordasse dados sobre esgoto doméstico (uso familiar/ comunitário, área rural / urbana).

Foram analisados durante a pesquisa a natureza da obra (exemplos: artigos, Trabalhos de Conclusão de Curso - TCC, dentre outros). As bases de dados utilizadas foram: *Web of Science*, *Science Direct*, *Scopus*, *Google Scholar* e *Scielo*.

Dentro dos parâmetros escolhidos foram identificadas mais de 25 obras, distribuídas em artigos, publicações em revistas e monografias. O levantamento de dados sobre os sistemas biológicos anaeróbios de fossa séptica biodigestora, biodigestor, tanque de evapotranspiração e círculo de bananeiras foi feito por meio de revisão bibliográfica.

O recorte temporal utilizado foi de 10 anos. A delimitação dos artigos selecionados foi considerando os trabalhos que tiverem parâmetros de monitoramento dos sistemas pesquisados e corresponderam a esgoto doméstico. Os dados foram analisados e inseridos em planilhas, para posterior análise comparativa.

3.2 *Análise SWOT*

A comparação entre os dados dos sistemas descentralizados de tratamento escolhidos foi realizada utilizando a matriz SWOT do acrônimo *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças). A Análise SWOT é uma ferramenta estratégica para organização e planejamento, muito utilizada na área administrativa, porém pode ser aplicada nas mais diversas áreas. (APPIO, 2009)

Essa ferramenta foi utilizada visando considerar as vantagens e desvantagens para o morador rural em adotar cada um dos sistemas, considerando a propriedade (Forças e Fraquezas) e o entorno (Potencialidades e Ameaças). As Forças e Fraquezas foram definidas como perspectivas que dependem somente do sistema, enquanto a Oportunidades e Ameaças,

por sua vez, foram definidas como atividades que independem do sistema, mas sim de fatores externos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise SWOT de cada um dos tratamentos descentralizados escolhidos

Há a necessidade de se compreender quais fatores interferem para a ausência ou a baixa adoção de sistemas de tratamento de esgoto no meio rural, sendo preferencialmente utilizados sistemas rudimentares. Em contraposição a essas limitações, é necessário compreender o que poderia motivar na implantação de sistemas mais robustos para o tratamento. Nesse intuito, cada um dos sistemas descentralizados avaliados nesse trabalho foi contemplado individualmente pela análise da matriz SWOT, considerando o que poderia facilitar ou minimizar a implantação por parte do morador rural, e o que poderia mobilizar ou desmobilizar a comunidade para o incentivo ao uso destes sistemas.

4.1.1 Matriz SWOT - Fossa séptica biodigestora

A fossa séptica, rudimentar ou não, é o sistema descentralizado mais utilizado no Brasil. Dessa forma, a melhoria desse sistema pode facilitar sua adoção por já ser uma alternativa conhecida pelo morador da zona rural.

Nesse sentido, ressalta-se que na Fossa Séptica biodigestora, a divisão em três câmaras possibilitou um aumento na eficiência do sistema, reduzindo também os riscos de contaminação do meio. Além disso, o uso de materiais de custo acessível para a construção ou compra direta dessas caixas também é um fator facilitador.

Deve-se ressaltar que a geração de subprodutos que agreguem valor ao processo é, certamente, um dos pontos motivadores para a implantação desses sistemas. As fossas sépticas biodigestoras geram assim um efluente que pode ser utilizado na fertirrigação, sendo um ponto forte da utilização desse tratamento, uma vez que trata o efluente e gera um biofertilizante para uso agrícola. No entanto, essa força pode estar associada a uma fraqueza pelo possível contato direto com o efluente gerado, o que pode ser resolvido com a criação de valas de infiltração alternativas, colocando ao redor dessas valas árvores frutíferas que se beneficiariam desse efluente infiltrado, minimizando o contato do efluente com pessoas e animais, bem como a disseminação de doenças, ao mesmo tempo em que permite o aproveitamento dos nutrientes presentes no efluente final (FIGUEIREDO, 2019).

Uma das principais fraquezas do sistema é a necessidade de manejo, que pode se refletir em ameaça caso haja a indisponibilidade de esterco. No entanto, apesar de diversos trabalhos citarem a necessidade de adição de esterco para o melhor funcionamento do sistema, Figueiredo *et al.* (2019) apontaram que não houve diferença na eficiência do sistema na

ausência de adição de esterco, podendo ser um fator que facilite ainda mais a disseminação da implantação do sistema em locais que não tem tanta facilidade em adquirir esse material.

No quadro 1 é apresentada a matriz SWOT da Fossa séptica biodigestora.

Quadro 1 – Análise da Fossa Séptica Biodigestora por meio da matriz SWOT

<i>Forças</i>	<i>Fraquezas</i>
Baixo custo para implementação; Fácil montagem; Efluente para fertirrigação Não precisa de uma área grande para sua instalação	Necessidade manutenção mensal; Necessidade de manejo; Possibilidade de contaminação caso haja contato direto com o efluente final Necessidade de proteção da área se uso do efluente em fertirrigação, para evitar contato com animais
<i>Oportunidades</i>	<i>Ameaças</i>
Melhoria da qualidade de vida da população local; Preservação do meio ambiente; Inclusão da população na montagem e manutenção; Conscientização da população local, o que pode colaborar na disseminação da instalação do sistema em outras residências da comunidade	Possibilidade de formação de odores Indisponibilidade de esterco Ausência de orientação técnica

4.1.2 Matriz SWOT – Tanque de Evapotranspiração

O Tanque de Evapotranspiração vem sendo amplamente adotado pelos moradores do meio rural e isso se deve, provavelmente, à possibilidade de reaproveitamento de materiais, o que reduz o preço, tornando-o mais acessível; bem como a facilidade sua construção confecção. Ainda se destaca a produção de alimentos a partir dos resíduos tratados, aproveitando assim a energia e nutrientes do sistema.

No quadro 2 é apresentada a matriz SWOT dessa alternativa de tratamento de esgoto para o meio rural.

Quadro 2 – Análise do Tanque de Evapotranspiração por meio da matriz SWOT

<i>Pontos fortes</i>	<i>Pontos fracos</i>
<p>Reutilização de materiais que seriam descartados (como exemplo: pneus velhos)</p> <p>Baixo custo para implementação;</p> <p>Fácil montagem;</p> <p>Aproveita de forma integral a energia do sistema para a produção de alimentos que podem ser consumidos;</p> <p>Estética paisagística;</p> <p>Não há formação de odores;</p> <p>Pouco ou nenhum contato com o efluente</p>	<p>Mesmo sendo de fácil implementação há a necessidade de uma maior mão de obra para a instalação do sistema;</p> <p>Necessidade de uma boa manutenção na palhada que fica na superfície junto as bananeiras, além de retirada de mudas além do limite para que não ocorra mau cheiro e nem extravasamento;</p> <p>Pode ser suscetível a colmatação</p>
<i>Oportunidades</i>	<i>Ameaças</i>
<p>Melhoria da qualidade de vida da população local;</p> <p>Preservação do meio ambiente;</p> <p>Inclusão da população na montagem e manutenção;</p> <p>Conscientização da população local, o que pode colaborar na disseminação da instalação do sistema em outras residências da comunidade;</p> <p>Possibilidade de contribuição para o microclima, visto que usa de plantas no tratamento que evapotranspiram</p> <p>Uso na construção de materiais que poderiam ser descartados no meio, como pneus e entulhos de construção civil</p>	<p>Locais com bastante chuva podem levar a extravasamento do sistema;</p> <p>Proximidade ao lençol freático pode influenciar na escolha do sistema;</p> <p>Possível extravasamento do sistema quando não bem calculado.</p>

4.1.3 Matriz SWOT – Biodigestor

Os biodigestores são sem dúvida, dentre os sistemas analisados neste trabalho, os mais avaliados academicamente, possuindo maior disponibilidade de dados sobre sua eficiência no tratamento de esgoto. Esse sistema tem como forte apelo motivador para a implantação, a possibilidade de gerar biogás, que pode ser fonte de energia, uma limitação comum a comunidades rurais. No quadro 3 é apresentada a matriz SWOT dessa alternativa de tratamento de esgoto para o meio rural.

Quadro 3 – Análise do Biodigestor por meio da matriz SWOT

<i>Pontos fortes</i>	<i>Pontos fracos</i>
Produção de Biogás e Biofertilizante; Fácil montagem, dependendo do tipo de biodigestor, sendo uns mais fáceis que outros	Necessidade de manutenção mensal, com adição de esterco para o bom funcionamento do sistema; Locais com temperaturas amenas podem influenciar no funcionamento do sistema
<i>Oportunidades</i>	<i>Ameaças</i>
Economia, com a produção de biogás; Economia, com a produção de biofertilizante; Pode ser feito como também pode ser comprado pronto, sendo, ainda sim, considerado de baixo custo; Melhoria da qualidade de vida da população local	Depende de uma certa quantidade de entrada de esgoto constante no sistema; Manutenção deve ser feita constantemente para que não haja vazamento devido a pressão, o que diminuiria a eficiência do sistema

4.1.4 Matriz SWOT – Círculo das Bananeiras

O círculo das bananeiras não é um tratamento para esgoto sanitário em geral, onde há presença de contaminantes, sendo destinado apenas para águas cinzas, ou seja, as geradas nas

pias, tanques e água de banho. Ainda assim, optou-se nesse trabalho por sua análise visto que é comumente empregada junto aos demais sistemas, particularmente, ao TEvap.

No quadro 4 é apresentada a matriz SWOT dessa alternativa de tratamento de esgoto para o meio rural.

Quadro 4 – Análise do Círculo das bananeiras por meio da matriz SWOT

<i>Pontos fortes</i>	<i>Pontos fracos</i>
<p>Sustentável;</p> <p>Fácil construção;</p> <p>Praticamente todo o material utilizado é composto por elementos naturais;</p> <p>Solução para águas cinzas;</p> <p>Produção de alimentos que podem ser consumidos;</p>	<p>Necessidade de repor constantemente a cobertura morta, para que não haja o aprofundamento do círculo;</p> <p>Funcionamento depende da não utilização de produtos químicos, sendo necessário a reeducação e conscientização de todas as pessoas locais que irão fazer uso do sistema;</p> <p>Não deixar de fazer manutenção com a recolocação de folhas, galhos pequenos;</p> <p>Não haver pisoteamento no local pois pode danificar o sistema</p>
<i>Oportunidades</i>	<i>Ameaças</i>
<p>Melhoria paisagística do local;</p> <p>Facilidade de implantação do sistema pode chamar atenção da população local, podendo ser replicada em outras propriedades;</p> <p>Melhoria da qualidade de vida local</p> <p>Não há produção de odores</p>	<p>Indisponibilidade de material detergente com produtos biodegradáveis;</p> <p>Não fazer o manejo correto</p>

4.2 Comparação entre os sistemas descentralizados abordados

A partir das análises dos dados coletados pode-se verificar que ainda é escassa a quantidade de trabalhos que contenham dados sobre eficiência e funcionamento dos sistemas descentralizados.

O biodigestor e a fossa biodigestora são tratamentos mais abordados no meio científico, com mais informações acerca da eficiência de remoção da carga orgânica a partir da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Na última década tem aumentado o número de trabalhos abordando o uso de TEvap, para Círculo de bananeiras, apesar do uso muitas vezes concomitante ao do TEvap, há poucos dados disponíveis no meio acadêmico.

Todos os sistemas abordados geram subprodutos que agregam valor ao processo, sendo a produção de alimentos para o TEvap e o Círculo de bananeiras; o biofertilizante no caso da fossa biodigestora e do biodigestor, sendo que para este último há ainda a possibilidade de geração e utilização do biogás. Todos os sistemas são fáceis de montar, podendo a maior dificuldade nesse sentido estar associada ao biodigestor.

Tanto o TEvap, quanto a fossa biodigestora e o biodigestor exigem necessidade de manejo, seja para as plantas, no primeiro caso, seja na adição de esterco para o bom funcionamento no caso dos demais. Todos os sistemas tratam esgotos sanitários (águas negras) à exceção do Círculo de bananeiras, utilizado apenas para o tratamento de águas cinzas.

Deve-se ressaltar que há algumas desvantagens associadas a sistemas de tratamento que o TEvap não possui, tais como o risco de exposição a contaminantes, que é mínimo nesse caso e a geração de odores. Em fossas biodigestoras e biodigestor há o risco de geração de odores dependendo da carga orgânica aplicada e do manejo. Todos os sistemas apresentam baixo custo, ficando entre 1000 e 2700 mil reais.

Os dados apresentados foram sintetizados na Tabela 1, visando facilitar a comparação entre as vantagens e desvantagens de cada sistema, bem como o custo de instalação:

Quadro 5 – Comparação entre as vantagens e desvantagens do Tanque de Evapotranspiração, Fossa Séptica Biodigestora, Biodigestor e Círculo de Bananeiras, apontando o custo de construção de cada um

Tecnologia	Tanque de Evapotranspiração (Tevap)	Fossa séptica Biodigestora	Biodigestor	Círculo de Bananeiras
Vantagens	Fácil construção; Reutilização de materiais; Produção de alimentos; Elemento paisagístico; Mínimo risco de exposição Mínima contaminação Sem odores	Baixa produção de lodo; Suporta taxas altas e baixas de DBO; Efluente para fertirrigação Fácil montagem Fácil manutenção	Produção de Biogás e Biofertilizante; Fácil montagem em geral	Simples construção e manutenção; Recarga do lençol freático; Produção de alimentos; Sem odores.
Desvantagens	Manejo das plantas; Transbordamento possível; Susceptível à colmatção; Pouco estudado	Adição de esterco mensalmente Produção de odores	Adição de esterco mensalmente; Produção de odores; Temperaturas baixas podem prejudicar o sistema	Somente de águas cinzas Pouco estudada e poucos dados
Custos	Os valores para a implantação do sistema variam de R\$ 1000,00 à R\$2000,00 Considerado de custo baixo e acessível a população.	Os valores para implantação do sistema variaram de R\$ 1000,00 à R\$ 1500,00	Os valores variam de R\$ 1000,00 à R\$ 2700,00	Sem dados, porém com custo baixo pois utiliza materiais naturais, gastos com as mudas de Banana (<i>musa spp.</i>) e com a mão de obra (caso não haja voluntários)

4.2 Comparação entre as eficiências dos sistemas de tratamento analisados

Os sistemas descentralizados foram comparados quanto a eficiência de remoção da carga orgânica, sólidos totais, turbidez e patogenicidade considerando presença de coliformes. Deve-se ressaltar que, de nada adianta um sistema de baixo custo de implantação e operação, esteticamente viável, que agregue valor, se o sistema não reduz a poluição. Assim, é apresentada agora a análise da eficiência de cada um dos sistemas, sendo que todos os dados detalhados em planilha são apresentados no Anexo. Deve-se ressaltar que não foram encontrados trabalhos com dados de eficiência sobre o círculo das bananeiras (tratamento de águas cinzas).

4.2.1 Fossa séptica biodigestora

Na análise da eficiência da fossa séptica biodigestor, verificou-se que não houve uniformidade entre os resultados, apenas para a remoção de coliformes. Em geral, a variação na eficiência de remoção de carga orgânica variou de 33 a 87,1% para DBO (BARBONI & ROCHETTO, 2016; LOTFI, 2016; SOARES, 2016 a,b; OLIVEIRA, 2018; TORRES, 2019; FIGUEIREDO, 2019) e de 30,7 a 74,3% para DQO (PERES *et al.*, 2010; BARBONI & ROCHETTO, 2016; SOARES, 2016 a,b; OLIVEIRA, 2018; TORRES, 2019; FIGUEIREDO, 2019).

Deve-se ressaltar a importância da adição de esterco apontada por Figueiredo (2019) que verificou maior remoção de sólidos totais quando isso ocorria, em contraposição a uma eficiência de remoção de 81,1% sem adição de esterco.

Em relação a coliformes fecais a remoção foi superior a 96,1% (FREITAS, 2015; LOTFI, 2016; SOARES, 2016 a,b; FIGUEIREDO, 2019).

De forma geral, verificou-se que o sistema pode ser utilizado para tratamento de esgoto sanitário, mas com cuidado em relação à destinação do efluente final, visto que há ainda risco de contaminação após o uso do sistema.

4.2.2 Tanque de Evapotranspiração

O tanque de evapotranspiração apresentou resultados mais uniformes e com maior eficiência de remoção para todos os parâmetros.

A eficiência de remoção da carga orgânica foi superior a 75,5% para DBO (LOPES, 2018, SOUZA, 2018; PAULO, 2019; FIGUEIREDO, 2019; ATHAYDES, 2022) e 51,88%

para DQO (PIRES, 2012; LOPES, 2018; PAULO, 2019; FIGUEIREDO, 2019; ATHAYDES, 2022).

A remoção de sólidos suspensos totais foi superior a 83% nos trabalhos avaliados (PIRES, 2012, SOUZA, 2018; SOUSA, 2019; FIGUEIREDO, 2019 com remoção de turbidez superior a 74% (PIRES, 2012; LOPES, 2018; SOUZA, 2018; PAULO, 2019; FIGUEIREDO, 2019; ATHAYDES, 2022).

A remoção de coliformes totais foi superior a 51% (LOPES, 2018; SOUZA, 2018).

De forma geral os resultados dos trabalhos apontaram para eficiência de remoção da poluição na utilização da TEvap, com alimentos seguros para alimentação, produzidos dentro dos padrões sanitários (COELHO, 2018; SOUSA, 2019, sem *Salmonella sp* (COELHO, 2018; SILVA, 2021), sendo seguros para alimentação.

4.2.3 Biodigestor

O uso de biodigestores, entre os avaliados, foi o primeiro a ser difundido. No entanto, o uso não é disseminado. A eficiência de remoção de carga orgânica variou de 44,6% a 90% para DBO (NOVAES, 2012; ARIAS & SINCHI, 2016; RURUSH, 2018; GISELA & ZAIDA, 2019) e de 21,1 a 90% para DQO (NOVAES, 2012; ARIAS & SINCHI, 2016; GISELA & ZAIDA, 2019; RURUSH, 2018).

A remoção de sólidos suspensos totais variou de 65% a 89,5% (ARIAS & SINCHI, 2016).

Em relação a remoção de coliformes há grande variação, com Arias e Sinchi (2016) apontando eficiência de remoção de apenas 30%, enquanto Gisela e Zaida (2019); Novaes (2012) e Lanna (2019) apresentaram eficiência superior a 90%.

A maioria dos trabalhos aponta a limitação na eficiência de remoção da poluição, ressaltando a necessidade de pós-tratamento (NOVAES, 2012; RURUSH, 2018; GISELA & ZAIDA, 2019), havendo ainda trabalhos em que foi destacada a eficiência baixa ou a ineficiência do sistema (BRANCO, 2015; ARIAS & SINCHI, 2016).

5. CONCLUSÕES

A partir da análise dos dados coletados e do levantamento das vantagens e desvantagens de cada sistema, pode-se concluir que:

Os melhores resultados foram encontrados para o uso do Tanque de Evapotranspiração, com eficiência de remoção da carga orgânica (DQO) podendo alcançar até 97%, com remoção de sólidos totais superior a 83%; baixo custo (1000 a 2000 mil reais), com melhoria paisagística local e produzindo alimentos que apresentam segurança para consumo. Os alimentos que podem ser cultivados no sistema são os que não tem contato direto com o solo, assim, não é indicado o plantio de raízes e tubérculos, além disso, as espécies mais indicadas para o cultivo no sistema são as bananeiras e outras plantas que tem o crescimento rápido e possuem alta demanda por água. A principal desvantagem do sistema é a necessidade de um espaço maior.

Os piores resultados foram encontrados para a Fossa Séptica Biodigestora, com alta variação, de 30,7% a 74,3% de eficiência de remoção de DQO, com remoção de sólidos totais superior a 80%, mas necessitando ainda da adição mensal de esterco para manter as eficiências. O efluente pode ser utilizado para fertirrigação, desde que haja o manuseio correto e proteção do local onde será despejado, para que não haja interação direta com pessoas e animais. O sistema apresentou o menor custo (1000 a 1500 reais) e baixa necessidade de área se comparado com o TEvap.

O biodigestor, é amplamente utilizado no meio rural, mas para outros tipos de efluentes (ovinos, suínos e outros animais), não tendo sido encontrados muitos trabalhos sobre o uso do biodigestor para efluente sanitário doméstico. Apesar de também apresentar alta variação na eficiência de remoção de DQO, os valores foram superiores ao da fossa biodigestor, variando de 21,1% a 90% para DQO, com remoção de sólidos totais variando de 65% a 89,5%. O sistema de biodigestor apresenta também como vantagens a fácil construção, menor ocupação de área em relação aos demais, porém com a necessidade de mão de obra mais técnica para sua construção do sistema, necessitando ainda de constante entrada de efluente.

Não foram encontrados trabalhos com dados de eficiência sobre o círculo das bananeiras (tratamento de águas cinzas), porém como é um sistema de fácil construção e com baixíssimo custo, é uma alternativa viável para o tratamento das águas cinzas, sendo apenas

necessária a precaução quanto aos produtos de limpeza e higiene utilizados para que não diminua a eficiência do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPIO, Jucélia; SCHARMACH, Andréia Luciana da Rosa; SILVA, Aletéia Karina Lopes da; CARVALHO, Luciano Castro de; SAMPAIO, Carlos Alberto Cioce. Análise SWOT como diferencial competitivo: um estudo exploratório na Cooperativa Muza Brasil. *Revista Interdisciplinar Científica Aplicada*, Blumenau, v.3, n.3, p.01-18, Sem II. 2009. ISSN 1980-7031

ATHAYDES, Tiago Vinicius Silva et al. Implantação e avaliação do sistema bacia de evapotranspiração (BET) para o tratamento do esgoto doméstico no meio rural: o caso da comunidade terapêutica Redenção no município de Campo Mourão – PR. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 44, p. 215-235, 2022.

ARIAS, Frida del Pilar; SINCHI, Karem Liliana. Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante biodigestor pre fabricado en la subestación eléctrica Cotaruse-Apurímac. 2016.

BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoesc & Ciência – ACSA**, v. 2, n. 1, p. 87–95, 2011.

BARICHELLO, R. *et al.* O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: Um estudo de caso na região noroeste do rio grande do sul. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 333–355, 2015.

BARBONI, Jéssica Tardelli; ROCHETTO, Ursula Luana. Análise da eficiência de fossa séptica biodigestora para tratamento de esgotos domésticos em área rural. In: **XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Poços de Caldas, MG.** 2016.

BRAGA, R. A. P. As Nascentes como Fonte de Abastecimento de Populações Rurais Difusas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 5, p. 974–985, 2011.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF: Brasil.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Plano Nacional de Saneamento Básico- PLANSAB** Versão Revisada. 226 p, 2019

BRANCO, Paula Maria Pilotto. Biodigestão anaeróbia de águas residuárias humanas: composição do biogás e qualidade do efluente. 2013.

CataloSan: Catálogo de Soluções Sustentáveis De Saneamento - Gestão de Efluentes Domésticos. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Paulo, P.L.; Galbiati, A. F.; Magalhães Filho, F. J. C. Campo Grande: UFMS. 50 p. il. FUNASA, 2018.

COELHO, C. F.; REINHARDT, H.; ARAÚJO, J.C. **Fossa verde como componente de saneamento rural para a região semiárida do Brasil.** *Eng Sanit Ambient*, v.23, n.4, 2018, 801-810. DOI: 10.1590/S1413-41522018170077.

CÔRTEZ, D. A.; ROCHA, E. M. D.; CÔRTEZ, T. A. Biodigestores Rurais E Sua Importância Na Sustentabilidade Ambiental. **FINOM Humanidades e Tecnologias**, v. 18, p. 12, 2019.

COSTA, P. S. DE A. **Desenvolvimento de uma opção de saneamento para pequenos agricultores de Minas Gerais (ITABIRA)**. 2014. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense. Niterói - RJ.

EMBRAPA, 2017. Governo adota Fossa Séptica Biodigestora desenvolvida na Embrapa como política pública. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/23030934/governo-adota-fossa-septica-biodigestora-desenvolvida-na-embrapa-como-politica-publica> Acesso em: 09 de novembro de 2022.

ESREY, Steve et al. Assainissement écologique. **Sida, Estocolmo** , 1998.

EMATER. Dias, Janaina Pereira. Saneamento rural / Janaina Pereira Dias...et al. – Brasília: Emater-DF, 2021. 85 p., il. – (Coleção Emater-DF, ISSN 1676-9279, n. 28).

FAUSTINO, A.S. **Estudos físico-químicos do efluente produzido por fossa séptica biodigestor e o impacto do seu uso no solo**. 2007. 212 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

FERREIRA, D.F. Sisvar : um guia para seus procedimentos de Bootstrap em comparações múltiplas . **Ciênc. agrotec. [conectados]**. 2014, vol.38, n.2, pp.109-112.

FIGUEIREDO, I.C.S. *et al.* **Tratamento de esgoto na zona rural: Fossa verde e círculo de bananeiras**.Campinas, SP: Biblioteca Unicamp, 2018. 31p.

FIGUEIREDO, I. C. S. **Tratamento de esgoto na zona rural: Diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas**. p. 318, 2019.

FIGUEIREDO, I.C.S.; COASACA, R.L.; DUARTE, N.C.; MIYAZAKI, C.K.; LEONEL, L.P.; SCHNEIDER, J. & TONETTI, A.L. (2019b). Fossa Séptica Biodigestora: avaliação crítica da eficiência da tecnologia, da necessidade da adição de esterco e dos potenciais riscos à saúde pública. **Edição Especial Saneamento Rural, 100. Revista DAE** núm.220| vol.67 |São Paulo | Edição Especial - Nov, 2019

FREITAS, G. A., Pereira, M. A. B., de Bessa, N. G. F., Carneiro, J. S. da S., da Conceição, R. C. N., Cerqueira, F. B. **Eficiência do tratamento de fossa séptica biodigestora do Assentamento Rural Vale Verde**, Gurupi-TO. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal, Brasil. 2015

GALBIATI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Mato Grosso do Sul. Campo Grande - MS. Brasil., p. 38, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Quatro em cada dez municípios não tem serviço de esgoto no país**. Saneamento básico, IBGE. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de->

[noticias/noticias/28326-quatro-em-cada-dez-municipios-nao-tem-servico-de-esgoto-no-pais](#). Acesso em: 12/11/2020

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010: população do Brasil é de 190.732.694 pessoas**. Disponível em: [https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?view=noticia&id=3&idnoticia=1766&busca=1&t=censo-2010-populacao-brasil-190-732-694-pessoas#:~:text=J%C3%A1%20em%202010%2C%20apenas%2015,\(160.879.708%20pessoas\)](https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?view=noticia&id=3&idnoticia=1766&busca=1&t=censo-2010-populacao-brasil-190-732-694-pessoas#:~:text=J%C3%A1%20em%202010%2C%20apenas%2015,(160.879.708%20pessoas)). Acesso em: 02/11/2020

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de Saneamento especializa dados relacionados a meio ambiente e saúde**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32304-atlas-de-saneamento-especializa-dados-relacionados-a-meio-ambiente-e-saude>. Acesso em: 03/09/2022

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Principais estatísticas: Esgoto**. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>. Acesso em: 29 out. 2020.

INSTITUTO AGUA E SANEAMENTO (IAS) - **O Saneamento básico no Brasil rural: reflexões para alcançar a universalização**. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/o-saneamento-basico-no-brasil-rural-reflexoes-para-alcancar-a-universalizacao/>. Acesso em: 03/08/2022

LANGERGRABER, Günter; MUELLEGGER, Elke. Saneamento Ecológico – uma forma de resolver os problemas globais de saneamento?. **Ambiente internacional**, v. 31, n. 3, pág. 433-444, 2005.

LIMA, F. T. DA S. *et al.* Projeto de Implantação de Sistema de Fossa Séptica Biodigestora e Clorador no Sítio Rio Manso/RJ. **Revista Fluminense de Extensão Universitária, Vassouras**, v. 2, n. 2, p. 11–26, 2012.

LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A.; OLIVEIRA, J. L. DE. Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa**, p. 213–232, 2013.

LOPES, Alex Eduardo. Tratamento descentralizado de efluentes sanitários por sistema de tanque séptico econômico seguido por tanque de evapotranspiração. **Mestrado Profissional em Sustentabilidade em Tecnologia Ambiental**, p. 137-137, 2018.

LOTFI, Pedro Carlos Sztajn. Avaliação preliminar do desperdício de fossas biodigestoras no tratamento de esgoto unidomiciliar–Assentamento Nova São Carlos e Santa Helena, São Carlos (SP). 2016. 79 f. **TCC (Graduação)–Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos**, 2016.

MESQUITA, T. C. R. **Tratamento descentralizado de esgotos sanitários em sistemas constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios**, 2019.

OLIVEIRA, J. C. DE. **Utilização de um biodigestor para tratamento de esgoto e geração**

de energia: um estudo de caso na comunidade de Portelinha, RJ. Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Civil, 2018, 2018a.

OLIVEIRA, J. *et al.* li – 439: **conceitos e tecnologias para o manejo de efluentes domésticos em pequenas comunidades rurais.** n. 1, p. 1–15, 2007.

OLIVEIRA, T. J. J. **Fossa séptica biodigestora: limitações e potencialidades de sua aplicação para o tratamento de águas fecais em comunidades rurais.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. PROAMB. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. 106 f. 2018b.

PAULO, P. L.; GALBIATI, A. F.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; BERNARDES, F. S.; CARVALHO, G. A.; BONCZ, M. A. Evapotranspiration tank for the treatment, disposal and resource recovery of blackwater. **Resources, conservation & recycling**, 147, p. 61-66, 2019.

PAMPLONA, S.; VENTURI, M. Esgoto à flor da terra. **Permacultura Brasil-Soluções ecológicas.** V. 16, 2004.

PERES, Leandro José Simoni et al. Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossa séptica biodigestora. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 7, n. 1, p. 20-36, 2010.

PIRES, F.J. **Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no Assentamento Rural Olga Benário- -MG.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Saneamento ambiental), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 118p, 2012.

PROENÇA, C.; MACHADO, G. Biodigestores como tecnologia social para promoção da saúde : Estudo de caso para saneamento residencial em áreas periféricas. **Saúde em Redes**, v. 4, n. 3, p. 87–99, 2018.

RIOS GARAY, Jenifer Gisela; CISNEROS PARIONA, Luz Zaida. Eficiencia de un Biodigestor en el Tratamiento de Agua Residual Domestica a nivel familiar en la Asociación “los Víquez” Carapongo-Lurigancho Chosica-Lima. 2019.

RESENDE, R. G.; FERREIRA, S.; FERNANDES, L. F. R. O saneamento rural no contexto brasileiro. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 1, p. 131–149, 2018.

RURUSH, Karen Raisa. Eficiência de biodigestores usando PET e esponjas para a remoção de dco, dbo del agua residual domestica-Tuyu, Marcara-Ancash. 2018.

SILVA, W. T. L. DA; MARMO, C. R.; LEONEL, L. F. **Memorial Descritivo: Montagem e Operação da Fossa Séptica Biodigestora.** São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2017. ISSN 1518-7179; 592017.

SILVA, Wilson Tadeu Lopes da et al. NOVAES, A. P. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbico para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Química Nova**, v. 35, p. 35-40, 2012.

SNIS - Sistema Nacional de Informações em Saneamento. **Painel de Informações sobre saneamento.** Disponível em: <http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento->

brasil/web/painel-esgotamento-sanitario. Acesso em: 11 nov. 2020

SOARES, Márcia Toffani Simão et al. Parâmetros físico-químicos e eficiência de fossa séptica biodigestora na redução da carga orgânica de esgoto originado de água doce ou salobra, na Borda Oeste do Pantanal. **Agroecol.** 2016.

SOUZA, L. S. *et al.* Tratamento de água negra domiciliar através de bananeiras por tanque de evapotranspiração. **Atlas de Saúde Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 235–248, 2018.

SOUZA, O. B.; SILVA, E. É.; SANAVRIA, A.; VITA, G. F.; MARINO, T. B. Análise da Banana Pacovan Ken Cultivada em Tanque de Evapotranspiração e seu efluente. **Ciência & Desenvolvimento-Revista Eletrônica da FAINOR**, v. 12, n. 2, 2019.

TONETTI, A. L. *et al.* **Tratamento De Esgotos Domesticos Em Comunidades Isoladas.** . Biblioteca/Unicamp. Campinas, São Paulo, 153 p, 2018.

TORRES, VLADIMIR STOLZENBERG. Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do saneamento rural. **6º EXPOTEC.** 2019

TRAVIS MJ, WEISBROD N and GROSS A **Decentralized wetland-based treatment of oil-rich farm wastewater for reuse in an arid environment.** *Ecol. Eng.* 39 81–89, 2012

TEIXEIRA, Laize Eloy; BRANDÃO, LOUISE FRANCISCA; SILVA, FLORILDA VIEIRA. Avaliação de custo e eficiência de três opções de tratamento de esgoto doméstico para unidade familiar na zona rural. **Revista Expressão Científica (REC)**, v. 3, n. 2, p. 14-17, 2018.

VICQ R, Leite MGP. **Avaliação da implantação de fossas sépticas na melhoria na qualidade de águas superficiais em comunidades rurais.** *Eng. Sanit. Ambient.* Rio de Janeiro: 2014;19(4):411-416.

ANEXOS

ANEXO A – QUADRO EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO NO SISTEMA FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA

<i>Autores</i>	Eficiência de remoção no Sistema Fossa Séptica Biodigestora						<i>Resultados</i>	
	<i>DBO</i>	<i>DQO</i>	<i>Sólidos Suspensos Totais</i>	<i>Turbidez</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>E. coli</i>		
Peres <i>et al.</i> , 2010	-	55,10%	-	36,2%	-	-	O sistema avaliado não se mostrou eficiente quando comparado a outros trabalhos.	
Freitas, 2015	Redução de +- 333,34 (mgO ₂ /L) (entre amostra de entrada e saída)	Redução de +- 159,4 (mgO ₂ /L) (entre amostra de entrada e saída)	-	-	100% (não houve presença de coliformes após biodigestão)	-	O sistema encontra-se em condições favoráveis para seu funcionamento, de acordo com as análises.	
Barboni e Rochetto, 2016	33,3%	30,7%	-	57,8%	-	82,4%	A eficiência de remoção foi baixa, necessitando de tratamento posterior.	
Lotfi, 2016	73,2%	-	-	-	96,1%	98,1%	O sistema mostrou-se eficiente para o tratamento de esgoto rural.	
Soares, 2016 (a,b)	64,% (amostra de efluente a partir da água	44% (amostra de efluente a partir da água	Redução de +- 266,6 (entre efluente bruto e tratado, a partir da água doce) e +-		-	99,82% para efluente a partir de água	-	Nas duas condições avaliadas, o sistema foi eficiente na redução e

	salobra) 87,1% (amostra de efluente a partir da água doce)	salobra) 74,3% (amostra de efluente a partir da água doce)	178,8 entre efluente bruto e tratado a partir da água salobra			doce e 99,68% para efluente a partir da água salobra	estabilização da matéria orgânica, permitindo reduções significativas da carga orgânica oriunda das excretas humanas.
Oliveira, 2018	47 ±26%	31 ± 38%	46%	-	-	-	O sistema mostrou-se eficiente para remoção porém cuidado com o efluente final.
Torres, 2019	73%	65%	-	-	-	-	O sistema mostrou-se eficiente para remoção.
Figueiredo, 2019	66,7% (com adição de esterco no sistema) e 60% (sem adição)	58,6% (com adição de esterco no sistema) e 48,1% (sem adição)	81,1% (com esterco) e 68,7% sem	83,2% (com adição de esterco) e 60,4% sem	97% com esterco e 99,4% sem	95,3% com esterco e 99,3% sem	O sistema mostrou-se eficiente e não mostrou diferenças significativas com a adição do esterco bovino, porém deve-se ter cuidado com o manuseio e despejo do efluente final.

ANEXO B – QUADRO EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO NO SISTEMA TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO (TEVAP)

Autores	Eficiência de remoção no Sistema Tanque de Evapotranspiração (Tevap)						Resultados
	DBO	DQO	Sólidos Suspensos Totais	Turbidez	Coliformes Totais	E. coli	
Pires, 2012	-	95 a 97%	97 a 99%	79 a 86 %	-	-	O sistema mostrou-se eficiente para remoção.
Oliveira Netto <i>et al</i> , 2015	-	Redução de +- 338,60 mg/L entre amostras de entrada (bruto) e	-	-	-	-	O sistema ainda em desenvolvimento mostra-se promissor pois teve uma quantidade significativa de redução logo na primeira camada filtrante.

		camada de cascalho					
Lopes, 2018	75,5%	81,57%	83,45%	92,13%	97,21%	-	O sistema mostrou-se eficiente para remoção.
Souza, 2018	80%	51,88%	90%	85%	51%	-	O sistema mostrou-se eficiente
Coelho, 2018	-	-	-	-	-	Valores de coliformes termotolerantes a 45° menores que 10 UFC.g	O trabalho avaliou os alimentos cultivados na superfície do sistema sendo considerado dentro dos padrões sanitários, além de ausência de <i>Salmonella sp</i> , sendo seguros para alimentação.
Paulo, 2019	80%	77%	-	74%	-	-	O sistema mostrou-se eficiente para remoção.
Sousa, 2019	-	Diferença de 478,72 mg/L na entrada para 101,06 mg/L na amostra final	84%	-	Diferença de 16 x 10 ⁴ na entrada para 10x10 ² na amostra final	-	O sistema mostrou-se eficiente para remoção e além dessas amostras foram analisados frutos da banana Pakovan, sendo seguras para consumo.
Figueiredo, 2019	93,6%	90,7%	98,5%	98,3%	-	-	O sistema mostrou-se eficiente para remoção.
Silva, 2021	-	-	-	-	-	Valores de coliformes termotolerantes a 45° menores que 3 NMP. g ⁻¹	O sistema avaliou frutos de banana (<i>Musa sp.</i>) do sistema, estando em conformidade e seguros para alimentação, além de verificar ausência de <i>Salmonella sp</i> .
Athaydes, 2022	86,64%	90,29%	-	88,2%	-	-	O sistema mostrou-se eficiente para remoção.

ANEXO C – QUADRO EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO NO SISTEMA BIODIGESTOR

<i>Autores</i>	Eficiência de remoção no Sistema Biodigestor						<i>Resultados</i>
	<i>DBO</i>	<i>DQO</i>	<i>Sólidos Suspensos Totais</i>	<i>Turbidez</i>	<i>Coliformes Totais</i>	<i>E. coli</i>	
Novaes, 2012	90%	90%	-	-	99,9%	-	Resultados foram satisfatórios mostrando que o sistema é eficiente para remoção, porém efluente final deve ser tratado.
Branco, 2015	-	50,20%	-	-	-	-	A eficiência de redução foi baixa para tratamento do efluente de esgoto doméstico.
Arias e Sinchi, 2016	44,6%	21,1%	65%	-	30%		O biodigestor não se mostrou eficiente para a remoção.
Rurush, 2018	55,99%	51,11%	69,87%	-	-	-	O sistema mostrou-se eficiente, porém necessita de um pós tratamento do efluente.
Gisela e Zaida, 2019	84,9%	82%	89,5%	-	98,3%	-	O sistema mostrou-se eficiente.
Lanna, 2019	-	-	-	-	-	99,9%	O sistema mostrou-se eficiente para remoção de patógenos.