

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Anny Karoline dos Santos Gonçalves

**FOSSA AGROECOLÓGICA: ASPECTOS DE DIMENSIONAMENTO E
DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE
SANEAMENTO RURAL**

Maceió

2025

Anny Karoline dos Santos Gonçalves

Fossa Agroecológica: Aspectos de dimensionamento e diretrizes construtivas para sistemas sustentáveis de saneamento rural

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Professor Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim

Maceió

2025

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Lívia Silva dos Santos - CRB 1670

G635f Gonçalves, Anny Karoline dos Santos.

Fossa agroecológica : aspectos de dimensionamento e diretrizes construtivas para sistemas sustentáveis de saneamento rural / Anny Karoline dos Santos Gonçalves. – 2025.

57 f.il.color.

Orientador: Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2025.

Bibliografia: f. 52-57

1. Saneamento rural. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Fossa agroecológica. 4. Tratamento de efluentes. I. Título.

CDU: 628.3

Folha de Aprovação

AUTORA: ANNY KAROLINE DOS SANTOS GONÇALVES

Fossa Agroecológica: Aspectos de dimensionamento e diretrizes construtivas para sistemas sustentáveis de saneamento rural

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Documento assinado digitalmente
 **EDUARDO LUCENA CAVALCANTE DE AMORIM**
Data: 03/06/2025 11:08:42-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Professor Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim - Universidade Federal de Alagoas
(Orientador)

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARCIO GOMES BARBOZA**
Data: 03/06/2025 12:30:59-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Professor Dr. Marcio Gomes Barboza - Universidade Federal de Alagoas

Documento assinado digitalmente
 **MARLLUS GUSTAVO FERREIRA PASSOS DAS NEVES**
Data: 03/06/2025 21:38:47-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Professor Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves - Universidade Federal de Alagoas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sua infinita misericórdia, bondade e generosidade, se não fosse tua mão me sustentando todos os dias, o caminho teria sido muito mais difícil. Minha graduação é um presente do Senhor e a Ele sou e serei eternamente grata, por todo o auxílio, por toda a força e por toda a jornada de fé.

Agradeço aos meus pais, Veroneide e José Cícero (*in memorian*), as maiores fontes de inspiração e amor da minha vida. Obrigada por todo apoio, incentivo e dedicação ao longo de todos esses anos, por todas as madrugadas de companheirismo e manhãs de recepção calorosa. Obrigada por acreditarem em mim mesmo quando nem eu mesma fui capaz. Mãe, obrigada por me apoiar em qualquer decisão e por me aconselhar e ser colo sempre que precisei. Pai, obrigada por não medir esforços para que eu comparecesse às aulas e a todos os outros compromissos da graduação. Agradeço por todo o esforço e sacrifícios para que eu pudesse me dedicar totalmente a minha formação, tenho muito orgulho de ser filha de vocês e serei eternamente grata.

Agradeço a minha irmã, Karine, que me acolheu, me escutou e me ensinou sobre amizade durante todos esses anos. Obrigada por me fazer ter certeza de que pra onde eu for, nunca estarei sozinha e sempre terei seu apoio. Te amo mais do que se é permitido demonstrar pela lei dos irmãos.

Sou grata também a toda a minha família, que sempre me apoiou e se manteve confiante no meu potencial. Em especial a minha avó, Maria de Fátima, por todo amor e generosidade e a minha tia, Patrícia, por todo o carinho e orgulho.

Agradeço também aqueles que não poderão ler esta seção, mas que merecem a lembrança: aos meus animais de estimação - alguns já cumpriram sua jornada de amor neste mundo - deixo meu muito obrigada por todas as madrugadas de apoio moral e por serem meus companheirinhos de estudo.

As minhas amigas, Amanda Alcântara, Anne Oliveira e Naynara Lourenço sou extremamente grata por todo o acolhimento e compreensão ao longo de todos esses anos. Obrigada por compartilharem e dividirem comigo os momentos mais felizes e também os mais dolorosos e, acima de tudo, obrigada por acreditarem nessa amizade.

Agradeço a todos os amigos que fiz ao longo do curso e que trilharam comigo essa jornada cheia de altos e baixos que é a graduação. Em especial, agradeço à Laura Lins e Luís Felipe, por estarem comigo desde sempre e por tornarem essa fase muito mais leve. Laura,

obrigada por toda a confiança, fé e amizade. Luís, obrigada por todas as risadas, boas conversas, amizade e pelas reuniões de acompanhamento realizadas às quartas à noite em que acreditamos em nossos trabalhos.

Agradeço também a Déborah Victória, a primeira pessoa da turma com quem tive contato e a certeza de que em todas as aulas e períodos, eu encontraria um rosto familiar na turma. A Elder Santana, que me proporcionou muitas risadas e aprendizados na reta final do curso e a Arthur, por toda ajuda, em especial da metade da graduação para o final.

Ao PET Engenharia Ambiental, minha mais sincera gratidão por ter sido lar durante esses anos, ambiente seguro e a certeza de que sempre teria um lugarzinho de acolhimento na UFAL. Agradeço por todos os anos e a todas as gerações que compartilharam esse período comigo, obrigada por toda a aprendizagem, pelas vivências e crescimento que foram compartilhados dentro do Programa. Agradeço também ao Centro Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária (CAEAMB), por todo o desenvolvimento e por ser um espaço de crescimento educacional e, principalmente, pessoal.

Não posso deixar de agradecer a Altair Maciel, Armando Portela e Nathacha Cavalcante, por terem sido meus orientadores de estágio e meu contato com o mercado profissional. Sou imensamente grata por ter cruzado o caminho de profissionais excelentes e pessoas dedicadas. Agradeço por todo o carinho, apoio, amizade e aprendizado que me proporcionaram.

Agradeço ainda, a todos os meus colegas de trabalho, que nesta fase de TCC, me deram todo o apoio e me incentivaram.

Meu agradecimento especial ao meu orientador de TCC, professor Dr. Eduardo Lucena, por me desafiar nessa área, por todo apoio, compreensão e acima de tudo, por toda a paciência prestada. Obrigada pelo tempo, esforço e por me fazer acreditar que tudo correria bem.

Agradeço também ao professor Dr. Marllus Neves por sempre deixar a porta da sua sala aberta e por me acolher nos diversos momentos em que a incerteza e o medo foram mais fortes e falaram mais alto. Obrigada pelos anos de tutoria no PET Amb e por toda a amizade.

A todos os meus professores de graduação, minha mais sincera e genuína gratidão, por proporcionarem um ensino de qualidade, por serem exemplos de profissionais, por terem se reinventado na pandemia para que o aprendizado fosse o melhor possível e por toda a dedicação em formar profissionais. Minha profunda admiração pela generosidade que a profissão de docente carrega.

Agradeço ainda a Universidade Federal de Alagoas por me proporcionar um ensino público de qualidade, com valiosos profissionais e por me acolher durante esses anos.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho e com minha formação.

RESUMO

O acesso às condições adequadas de saneamento constitui um dos eixos de atuação global orientados pela Agenda 2030 das Nações Unidas, norteado pelo objetivo de desenvolvimento sustentável número 6 (água limpa e saneamento). Uma das problemáticas do saneamento básico, dentre os seus quatro eixos de atuação - abastecimento de água, tratamento de efluentes, resíduos sólidos e águas pluviais - é o acesso da população aos serviços de coleta e tratamento de esgoto, principalmente porque os sistemas convencionais de tratamento podem ser bastante onerosos a depender do local de implantação, o que por vezes inviabiliza que a população possa ter acesso a esse serviço essencial. Quando a rede de esgotamento não é uma alternativa de destinação dos efluentes produzidos, soluções individuais são empregadas para tratar esses efluentes e evitar que estes sejam lançados a céu aberto ou diretamente nos corpos hídricos, causando uma série de problemas. Neste trabalho é apresentada a fossa agroecológica, uma alternativa individual de tratamento dos esgotos gerados na própria edificação, que além de ser uma alternativa sustentável dos pontos de vista ambiental e econômico, ainda é acessível do ponto de vista construtivo e sua manutenção é mínima, além de produzir frutos que podem ser consumidos ou servir como composição paisagística quando empregadas plantas de finalidade ornamentais. Tendo em vista que até o ano de 2024 não havia um documento guia como uma norma para dimensionamento desse sistema e que todos as pesquisas se utilizam do mesmo princípio para os cálculos independente das aplicações, o que pode resultar em mau funcionamento do sistema, esse trabalho tem como objetivo identificar métodos de dimensionamento e construtivos das fossas agroecológicas. Através da revisão de literatura realizada, percebeu-se que para o dimensionamento da fossa agroecológica, o componente bacia de evapotranspiração (BET) apresenta metodologia de dimensionamento bastante consolidada, tendo Pamplona e Venturi (2004) e Galbiati (2009) como fontes de referência. No que diz respeito ao componente círculo de bananeiras (CB), o dimensionamento não segue um padrão, sendo subjetivo e definido de acordo com as necessidades e entendimento de cada autor. Em relação aos métodos construtivos, a metodologia é bem definida: a BET em sua grande maioria é construída utilizando a técnica de ferrocimento e, a câmara de digestão utiliza pneus inservíveis em sua confecção; o CB, por sua vez, consiste de uma vala circular escavada no solo e preenchida com materiais orgânicos.

Palavras-chave: Saneamento; Tratamento de efluentes; Sistemas alternativos.

ABSTRACT

Access to adequate sanitation conditions is one of the axes of global action guided by the United Nations 2030 Agenda, guided by sustainable development goal number 6 (clean water and sanitation). One of the problems of basic sanitation, among its four axes of action - water supply, effluent treatment, solid waste and rainwater - is the population's access to sewage collection and treatment services, mainly because conventional treatment systems can be quite expensive depending on the location of implementation, which sometimes makes it impossible for the population to have access to this essential service. When the sewage network is not an alternative for the disposal of the effluents produced, individual solutions are used to treat these effluents and prevent them from being released into the open air or directly into water bodies, causing a series of problems. This paper presents the agroecological septic tank, an individual alternative for treating sewage generated in the building itself, which, in addition to being a sustainable alternative from an environmental and economic point of view, is also accessible from a construction point of view and requires minimal maintenance, in addition to producing fruits that can be consumed or serve as a landscape composition when ornamental plants are used. Considering that until 2024 there was no guide document as a standard for sizing this system and that all research uses the same principle for calculations regardless of the application, which can result in malfunction of the system, this paper aims to identify sizing and construction methods for agroecological septic tanks. Through the literature review carried out, it was noticed that for sizing the agroecological septic tank, the evapotranspiration basin (EB) component presents a well-established sizing methodology, with Pamplona and Venturi (2004) and Galbiati (2009) as reference sources. Regarding the banana circle (BC) component, the dimensioning does not follow a standard, being subjective and defined according to the needs and understanding of each author. Regarding the construction methods, the methodology is well defined: the BET is mostly built using the ferrocement technique, and the digestion chamber uses unusable tires in its construction; the BC, in turn, consists of a circular trench dug in the ground and filled with organic materials.

Keywords: Sanitation; Wastewater treatment; Alternative systems

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema ilustrativo da bacia de evapotranspiração (vista longitudinal)	19
Figura 2 - Esquema ilustrativo da bacia de evapotranspiração (vista frontal)	19
Figura 3 - Esquema ilustrativo da bacia de evapotranspiração (corte em perspectiva)	20
Figura 4 - Esquema ilustrativo do círculo de bananeiras	24
Figura 5 - Fluxograma da metodologia do trabalho	27
Figura 6 - Oficina para a construção da bacia de evapotranspiração	36
Figura 7 - Execução da câmara para digestão anaeróbia	36
Figura 8 - Detalhes do meio suporte e tubulação de entrada de efluente na bacia de evapotranspiração.....	37
Figura 9 - Revestimento da vala escavada com cimento	38
Figura 10 - Preenchimento do leito filtrante e detalhe da câmara digestora	38
Figura 11 - Construção da BET com aplicação da técnica ferrocimento	39
Figura 12 - Construção da BET em alvenaria	40
Figura 13 - Detalhe construtivo da câmara de digestão	41
Figura 14 - Execução da bacia de evapotranspiração	41
Figura 15 - Detalhe da câmara de digestão anaeróbia e composição do leito filtrante	42
Figura 16 - Manta geotêxtil aplicada entre as camadas de brita e areia	42
Figura 17 - Esquema ilustrativo da BET proposta por Machado <i>et al</i>	43
Figura 18 - Execução da técnica hiperadobe.....	44
Figura 19 - Câmara de digestão anaeróbia e composição do meio suporte, evidenciando o formato oval	44
Figura 20 - Construção do círculo de bananeiras	45
Figura 21 - Painéis de argamassa armada para construção da câmara de digestão anaeróbia	49
Figura 22 - Detalhe construtivo da câmara de digestão anaeróbia proposta por Pires	50

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1</i> - Resultados das principais pesquisas sobre sistemas tipo bacia de evapotranspiração	26
<i>Tabela 2</i> - Coeficiente diário do tanque	31
<i>Tabela 3</i> - Cálculo da área superficial da bacia de evapotranspiração em função do número de habitantes e do coeficiente de infiltração	32
<i>Tabela 4</i> - Valores da área superficial da BET considerando uma residência com 4 habitantes	48
<i>Tabela 5</i> - Valores da área superficial da BET segundo a metodologia de dimensionamento proposta por Galbiati (2009)	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 Saneamento básico	15
3.2 Esgoto doméstico	16
3.3 Tratamento do esgoto sanitário	17
3.4 Fossa agroecológica	17
3.4.1 Bacia de evapotranspiração	18
3.4.1.1 BET: Processos envolvidos	22
3.4.2 Círculo de bananeiras	23
3.5 Biorremediação	24
3.6 Estado da arte	25
4 MÉTODOS	27
5 FOSSA AGROECOLÓGICA: MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E CONSTRUÇÃO	27
5.1 Fossa agroecológica: dimensionamentos propostos na literatura	27
5.1.1 Bacia de evapotranspiração	28
5.1.2 Círculo de bananeiras	34
5.1.3 Fossa séptica	35
5.2 Fossa agroecológica: métodos construtivos	35
5.2.1 Bacia de evapotranspiração	35
5.2.1 Círculo de bananeiras	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
6.1 Fossa agroecológica: métodos de dimensionamento	47
6.1.1 Análise comparativa dos métodos de dimensionamento	47
6.2 Fossa agroecológica: métodos construtivos	49
7 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Sendo um direito fundamental para assegurar condições dignas de bem estar e saúde à população, o saneamento básico constitui um pilar imprescindível para o desenvolvimento do país. Não à toa, tendo em vista sua essencialidade, em 2007 foi criada a Lei Federal Nº 11.445/2007 (Lei do Saneamento Básico) que estabelecia as diretrizes nacionais para o saneamento básico.

O saneamento abrange 4 eixos, sendo estes os serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, limpeza urbana, coleta e destinação dos resíduos sólidos, bem como a drenagem e manejo de águas pluviais. Dentre os eixos apresentados, este trabalho focará na problemática que envolve as ações de coleta e tratamento de esgoto, considerando a dificuldade encontrada nesta área quando se trata do acesso à população. A título de exemplificação, de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referente ao ano de 2020, dos 3,3 milhões de moradores de Alagoas, 76,3% tinha acesso à água tratada, dos quais apenas 17,2% eram atendidos por serviço de coleta e tratamento de esgoto.

Uma alternativa para solucionar o problema da coleta e tratamento dos efluentes gerados são as fossas agroecológicas que tratam as águas cinzas e escuras produzidas no próprio local em que foram geradas, sendo uma tecnologia alternativa aos sistemas convencionais de tratamento, de baixo custo e de aplicação individual onde as redes coletoras não conseguem chegar. A tecnologia engloba dois outros sistemas: as bacias de evapotranspiração (BET) e o círculo de bananeiras. As bacias de evapotranspiração compreendem um sistema plantado de ciclo fechado para tratamento de águas escuras, portanto, não há geração de efluente tendo em vista que tudo se aproveita; a BET funciona em fluxo ascendente, assim as águas negras passam primeiro por um processo de tratamento anaeróbio, em seguida por processos aeróbios em que são produzidos nutrientes que as plantas absorvem por meio de suas raízes e, por fim, a água tratada sai do sistema através do processo de evapotranspiração. Já o círculo de bananeiras é uma alternativa para o tratamento de águas cinzas ou ainda do excedente da BET, diferenciando-se desta por não ser impermeabilizado, de modo que todo o efluente recebido é infiltrado no solo.

Aplicações práticas da tecnologia estão sendo implantadas na região do Baixo São Francisco, localizada na porção semiárida da região Nordeste. A região em estudo enfrenta diversos problemas decorrentes da disposição inadequada do lançamento de efluentes, fato

preocupante pois a área abriga um dos principais corpos hídricos do estado e com importância nacional: o rio São Francisco; a degradação neste manancial e em seus afluentes causa impactos nas esferas ambiental, social e econômica já que o rio é constituinte fundamental para a subsistência da população. O projeto para implantação das fossas agroecológicas no Baixo São Francisco é realizado junto à Expedição Científica do São Francisco, tendo como objetivo apresentar o sistema à comunidade e ressaltar sua importância, além de promover ações de educação ambiental e capacitação para a construção das fossas agroecológicas.

Amorim *et al* (2022) realizaram um relato dessa experiência em capítulo de e-book publicado, a saber “Capítulo 22 - Fossas agroecológicas para o tratamento de efluentes sanitários em escolas municipais do Baixo São Francisco”, que narra as atividades realizadas bem como a instalação da tecnologia em quatro escolas municipais, sendo estas nas cidades de Igreja Nova, Pão de Açúcar, Penedo e Piranhas. Os autores relataram que as fossas implantadas nestas edificações são capazes de atender a demanda de efluentes produzidos, além de representar para a população em zona rural uma alternativa simples e eficaz de tratamento de esgotos.

Considerando todo o exposto, a fossa agroecológica e seus componentes, através de relatos da literatura, mostram-se como uma opção de tratamento viável já que representa não só uma alternativa econômica, mas também sustentável, uma vez que aproveita resíduos da construção e pneus inservíveis para sua confecção, além de necessitar de pouca manutenção. Como o sistema é um plantado, podem ser empregadas culturas consumíveis como bananeiras e mamoeiros que, conforme verificado na literatura tem boa aceitação e não apresentam contaminantes.

2 OBJETIVOS

Diante da necessidade de alternativas de dimensionamento de fossas agroecológicas mais abrangentes, esta seção aborda os objetivos geral e específicos estabelecidos para o desenvolvimento deste trabalho, revelando o que se pretende obter com o estudo.

2.1 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho constitui a identificação dos métodos de dimensionamento e métodos construtivos da fossa agroecológica para seus dois módulos: a bacia de evapotranspiração e o círculo de bananeiras.

2.2 Objetivos específicos

- Levantamento da literatura a respeito dos critérios de dimensionamentos adotados para as fossas agroecológicas;
- Levantamento da literatura a respeito dos critérios construtivos adotados para as fossas agroecológicas;
- Análise comparativa dos métodos de dimensionamento da fossa agroecológica;
- Análise comparativa dos métodos construtivos da fossa agroecológica.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica adiante apresentada tem por finalidade expor os principais conceitos envolvidos na construção desse trabalho, sendo ela o alicerce norteador que busca facilitar o entendimento e melhorar a compreensão a respeito da tecnologia aqui empregada e de todos os processos que ela abrange.

Para melhor compreensão do apresentado adiante, cabe salientar que, para este trabalho, define-se:

- Águas cinzas - são as águas servidas provenientes de chuveiro, lavatórios, pias e tanques;
- Águas escuras - são os efluentes que provêm das bacias sanitárias, contendo em sua maior fração fezes e urina com alta carga de patógenos.

3.1 Saneamento básico

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022) a soma dos serviços que tem como finalidade promover sustentabilidade ambiental, saúde pública, qualidade de vida digna, preservação dos recursos e que se apoia nos pilares do desenvolvimento sustentável nas áreas sociais e econômicas constituem o saneamento básico. Abrangendo os serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento do esgoto, drenagem e manejo de águas de chuva e, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, o saneamento básico no Brasil foi apresentado formalmente por meio do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANASA), instituído no ano de 1971 para minimizar as problemáticas ocorridas neste campo ao longo dos anos.

Diante dos problemas enfrentados ao decorrer dos anos com a instauração do saneamento no país, em 2007 foram estabelecidas as diretrizes nacionais para o saneamento básico no Brasil por meio da Lei 11.445/2007; a Lei do Saneamento, como é comumente conhecida, define como um de seus princípios a universalização dos quatro eixos. Atualizada em 2020 por meio da Lei 14.026/2020 que estabelece o novo marco legal do saneamento no Brasil, a alteração tem como objetivo desenvolver ações, planos e projetos capazes de integrar os quatro eixos supracitados, devendo-se alinhar essa integração com uma série de outras tratativas como as políticas que visem o desenvolvimento urbano e regional, as questões de

habitação, de combate e erradicação da pobreza dentre tantos outros (SNIS, 2022). Nota-se que esse alinhamento discute as problemáticas existentes nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), elaborados pelas Nações Unidas e que constitui um apelo global para os diversos países em diversas áreas do conhecimento.

Em se tratando dos ODS, é possível verificar que as questões que envolvem o saneamento são tão importantes e significativas que uma agenda em escala global foi proposta com finalidade de melhorias. O ODS de ligação direta às questões do saneamento básico é o de número 6 que trata sobre água potável e saneamento para todos. O objetivo 6 pretende assegurar a disponibilidade e realizar a gestão sustentável da água e acesso ao saneamento para todos (IPEA, 2018), devendo esse compromisso ser finalizado até o ano de 2030.

3.2 Esgoto doméstico

Constituindo o efluente gerado em residências, instituições ou qualquer edificação que contenha cozinha, lavanderia e instalações de banheiro, os esgotos domésticos - ou domiciliares -, são compostos basicamente por água de banho, águas de lavagem, sabão e detergentes, restos de resíduos orgânicos, excretas e papel higiênico (Pessôa e Jordão, 1982), sendo suas características variáveis em função dos usos a qual a água utilizada é submetida. De acordo com Von Sperling (2014, p. 83), os usos dessa água dentro dos ambientes “variam com o clima, situação social e econômica, e hábitos da população”. Em relação à formação, a composição média do esgoto sanitário é de aproximadamente 99,9% de água, sendo a porcentagem restante composta de sólidos e microrganismos dos quais 75% da parte sólida é de matéria orgânica em fase de decomposição (Nuvolari, 2011).

O esgoto doméstico se divide em águas cinzas e águas escuras. As águas cinzas são aquelas advindas de chuveiro, lavatórios, pias e tanques, sendo os sabões e detergentes, bem como os produtos de limpeza de modo geral as principais substâncias presentes. O tratamento dessa parcela do esgoto é simples, podendo ser aplicado até mesmo como água de reuso nos próprios lugares em que é gerado para fins de irrigação de jardins, por exemplo, servindo como uma alternativa de destinação dessa parcela do efluente gerado nas edificações.

As águas escuras, por sua vez, são aquelas que provêm das bacias sanitárias, sendo em sua maior fração, fezes e urina com elevada carga de patógenos. Dado a este último fato, o tratamento das águas escuras são mais complexos já que precisam reduzir essa quantidade de contaminantes a níveis que não causem danos ambientais nem a saúde da população quando

em descarte. Galbiati (2009) ressalta que apesar desta fração do esgoto apresentar uma carga maior de nutrientes e patógenos, se comparada às águas cinzas, seu volume produzido é relativamente menor; o uso dessa parte do esgoto para nutrir vegetação como é o caso das fossas agroecológicas se faz devido a grande quantidade de nutrientes que se encontra principalmente na urina, sendo disponibilizados da maneira adequada a absorção das plantas.

3.3 Tratamento do esgoto sanitário

Há diversas formas de tratar os esgotos domésticos, no entanto, a escolha da tecnologia depende do nível de tratamento que se deseja alcançar, devendo-se saber sempre quais os objetivos se pretende alcançar com a aplicação da tecnologia. De acordo com Von Sperling (2014), os níveis de tratamento para esgoto são: preliminar, primário, secundário e terciário, este último sendo aplicado de maneira pontual.

O tratamento preliminar tem como objetivo remover somente os sólidos grosseiros, ao passo que o primário remove os sólidos sedimentáveis e por consequência, uma parte da matéria orgânica presente no esgoto. O tratamento secundário visa remover matéria orgânica, podendo de forma eventual remover também nutrientes como o fósforo e o nitrogênio; este nível tende a ser suficiente para as aplicações reais. Por fim, o terciário é voltado à remoção de poluentes específicos, normalmente de caráter não biodegradável ou mesmo tóxicos.

Há também os processos de tratamento, sendo eles físicos, químicos e biológicos, em função dos poluentes contidos no esgoto que também são físicos, químicos e biológicos (Pessôa e Jordão, 1982). Para os níveis, cabe pontuar que o tratamento preliminar e primário são sistemas em que há predominância de processos físicos, ao passo que no tratamento secundário há predominância maior dos mecanismos de atuação biológica.

3.4 Fossa agroecológica

A fossa agroecológica envolve duas tecnologias de tratamento dos ditos esgotos domésticos: a bacia de evapotranspiração para tratamento de águas escuras e o círculo de bananeiras para tratar as águas classificadas como cinzas (Amorim *et al*, 2022). Para Amorim *et al* (2022), as fossas representam uma alternativa de disposição de efluentes para tratamento em localidades onde os sistemas coletivos e convencionais não chegam, sendo não só uma

oportunidade de acesso ao tratamento do esgoto produzido, mas também uma solução de baixo custo e aplicação individual.

Diante disso, a seguir serão apresentadas as duas tecnologias, seus aspectos conceituais, bem como a funcionalidade de cada uma.

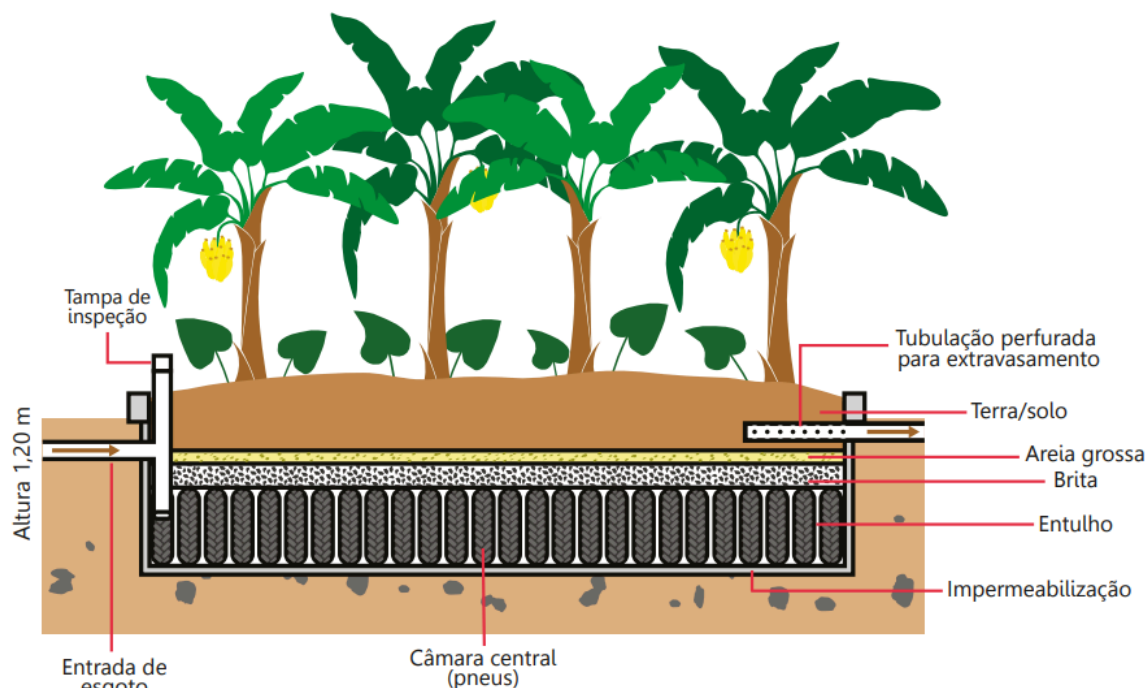
3.4.1 Bacia de evapotranspiração

A bacia de evapotranspiração (BET) representa um sistema de tratamento de efluentes, em especial as águas escuras, de ciclo fechado, sendo sua criação atribuída ao permacultor norte-americano Tom Watson, tendo sido adaptada no Brasil por diversos permacultores que aplicaram a tecnologia em alguns estados do país no início dos anos 2000 (Figueiredo *et al*, 2018). A tecnologia que se fundamenta no processo de biorremediação vegetal e constitui a criação de quintais produtivos (Coelho *et al*, 2016) pode receber diversos outros nomes como: bacia de evapotranspiração (BET), canteiro bioséptico, ecofossa, fossa bioséptica, fossa de bananeira, fossa evapotranspiradora, fossa verde e tanque de evapotranspiração (TEvap).

A bacia de evapotranspiração (BET) – ver figura 1 – consiste em um tanque impermeabilizado composto por diversas camadas, sendo a primeira uma câmara de decantação, que pode ser preenchida com tijolos ou pneus e resíduos da construção civil e as demais camadas são substratos com granulometria diversas (Carvalho, 2017) somados a um, conforme Galbiati (2009, p. 4), plantado de “vegetais de crescimento rápido e alta demanda por água”. O efluente recebido por esse sistema, de acordo com Galbiati (2009, p. 4), passa por processos de “degradação microbiana da matéria orgânica, mineralização de nutrientes, absorção e evaporação pelas plantas”, de modo que os nutrientes e a água antes inseridas no efluente são disponibilizada para a vegetação plantada, ou seja:

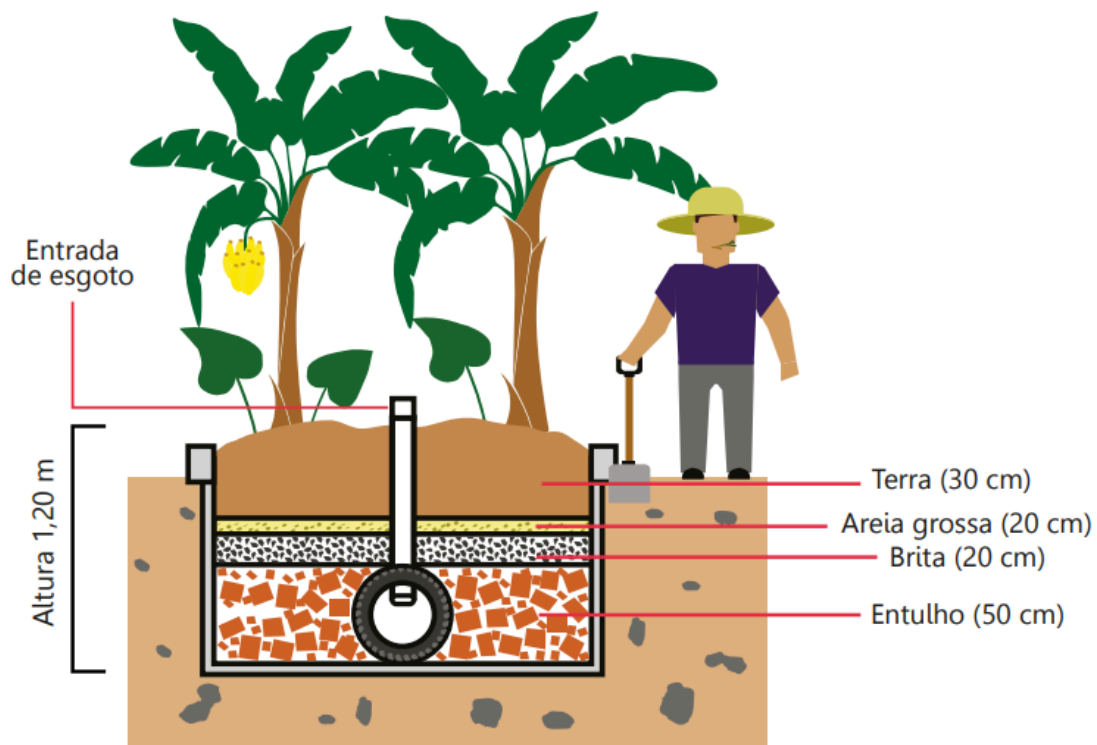
“Os principais processos físicos, químicos e biológicos envolvidos no funcionamento do TEvap são: precipitação e sedimentação de sólidos, degradação microbiana anaeróbia, decomposição aeróbia, movimentação da água por capilaridade e absorção de água e nutrientes pelas plantas” (Galbiati, 2009, p. 9).

Figura 1 – Esquema ilustrativo da bacia de evapotranspiração (vista longitudinal)



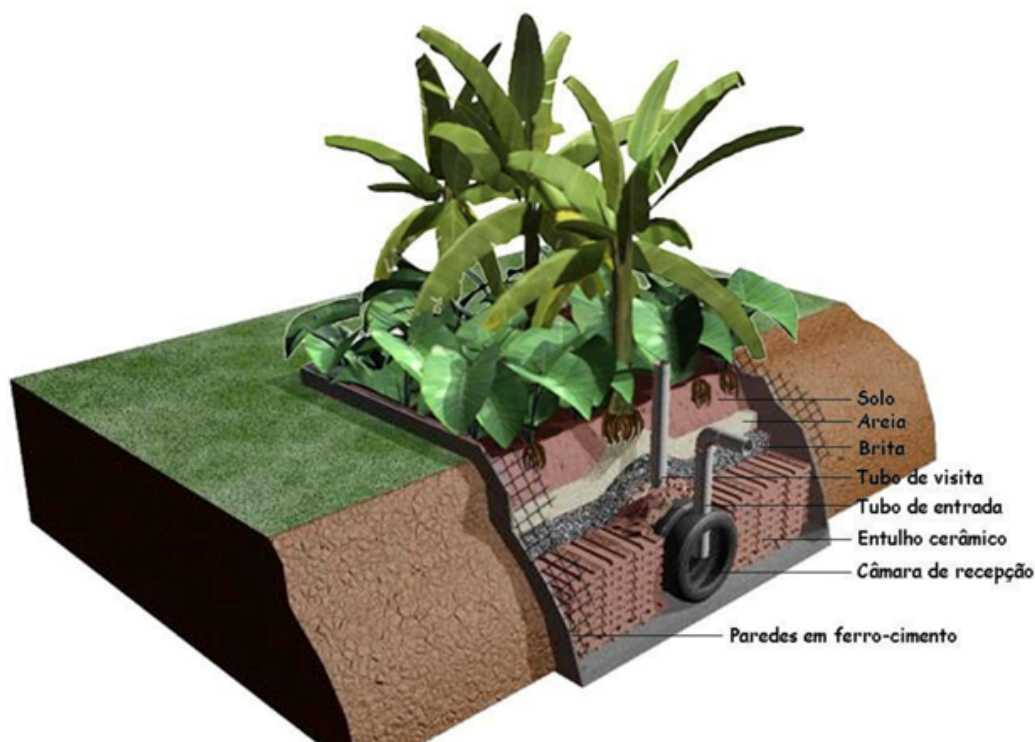
Fonte: Figueiredo, Santos e Tonetti (2018)

Figura 2 – Esquema ilustrativo da bacia de evapotranspiração (vista frontal)



Fonte: Figueiredo, Santos e Tonetti (2018)

Figura 3 – Esquema ilustrativo da bacia de evapotranspiração (corte em perspectiva)



Fonte: Galbiati (2009)

Carvalho (2017) relata que a BET integra de uma vez só os níveis de tratamento primário e secundário, sendo também uma alternativa de disposição final para o efluente que passou por tratamento, tendo em vista que opera como um sistema fechado. A tecnologia tem se mostrado bem aceita por simplificar processos, pois o efluente não precisa passar por um pré-tratamento tampouco um pós-tratamento, isso porque para o primeiro caso, o esgoto que chega a BET passa por um processo de degradação anaeróbica e ascende para tratamento em uma configuração que pode ser entendida como “um banhado de fluxo subsuperficial, nas camadas intermediária e superior” (Galbiati, 2009, p. 4); o pós-tratamento, por sua vez, tem sua necessidade diminuída, pois a bacia é dimensionada para que o efluente tratado seja absorvido de forma completa pelas plantas (Galbiati, 2009). Apesar de ser um sistema plantado como as *wetlands*, eles se diferenciam justamente porque a *wetland* necessita de um pré e pós tratamento posto que gera efluente, diferente da BET.

É consenso em grande parte da literatura consultada que essa tecnologia seja empregada apenas para tratamento das águas escuras e não das cinzas, as quais se recomendam outras destinações. Em cartilha desenvolvida por Figueiredo, Santos e Tonetti (2018), os autores foram incisivos em recomendar que as águas de chuveiros, pias e outros não sejam incluídos no sistema, posto que esse deve tratar apenas águas escuras; muito disso

se justifica pela composição desta última, sendo uma fonte rica de nutrientes para o plantado. Cabe destacar ainda que dado ao tipo de efluente recebido por tal tecnologia, a separação das águas cinzas e escuras na fonte representa uma etapa essencial e que facilita a aplicação adequada da BET. O Catálogo de Soluções Sustentáveis de Saneamento (CataloSan) elaborado pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) em 2018, apesar de recomendar que seja utilizada apenas águas escuras, não desqualifica totalmente as águas cinzas, relatando que essa pode ser introduzida no tratamento desde que em quantidades pequenas.

Segundo Venturi (2004, *apud* Galbiati, 2009, p. 11) alguns critérios para a instalação da BET devem ser considerados no momento de decisão do local de implantação, devendo-se verificar a incidência solar que ocorre de forma direta, tanto quanto a profundidade do lençol freático e o tipo de solo do terreno. Outro parâmetro que deve ser considerado é a disponibilidade de espaço, já que a construção da BET pode demandar grandes áreas. De acordo com a FUNASA (2018, p. 46), o sistema pode ser “utilizado como um jardim, aproveitando-se mesmo pequenos espaços urbanos”. Para o caso em especial da localização do lençol freático, tal informação é importante, pois apesar do sistema ser impermeabilizado, em caso de sobrecarga, uma alternativa para a disposição final do efluente tratado é a infiltração no solo por meio de círculos de bananeiras ou valas de infiltração; no entanto, sendo a tecnologia implantada em áreas urbanas, para as ocorrências de sobrecarga o efluente pode ser encaminhado para a rede coletora de esgoto. Outra alternativa de destinação do excedente são as próprias fossas ou mesmo sumidouros. A respeito do extravasamento da BET, Galbiati (2009) relata que em suas avaliações de sistemas construídos, mesmo em períodos chuvosos a tecnologia muito raramente sofreu transbordo.

A BET, se em bom estado de funcionamento, não produz odores e não demanda manutenção significativa, bastando remover o excesso de mudas e folhas que caem sobre o sistema. Além disso, a tecnologia pode ser tomada como um incremento para a composição da paisagem em espaços públicos ou mesmo nas próprias residências. De acordo com Pamplona e Venturi (2004), o sistema não produz lodo, tendo em vista que se ele for bem executado tudo irá se degradar e diluir, no entanto, cuidados devem ser tomados, não devendo permitir a entrada no sistema de materiais inorgânicos ou ainda de produtos químicos, pois eles podem comprometer todo o funcionamento. Os autores lembram ainda que é fundamental entender que esse é um sistema vivo, logo sugere cuidado e atenção. Ainda sobre a manutenção do sistema, o cuidado maior que se deve empregar é no momento de manipulação de plantas que possam ter contato direto com o meio filtrante, pois este pode apresentar grande quantidade de coliformes (Galbiati, 2009).

Além disso, a BET produz frutos que podem ser consumidos pela população por ela atendida, desde que passem por adequada higienização. Segundo Figueiredo (2019), diversos estudos comprovam que os alimentos produzidos são próprios ao consumo humano, pois são isentos de contaminação por organismos patogênicos presentes no esgoto utilizado como fonte de nutrientes.

Por fim, em seu estudo, Galbiati (2009) concluiu que a BET pode ser tida como uma alternativa viável para tratar esgotos em áreas urbanas, periurbanas e áreas rurais, podendo substituir ainda as fossas sépticas já que apresentam vantagens não só ambientais como econômicas. No quesito benefício ambiental, a tecnologia reutiliza diversos resíduos como entulhos da construção civil e pneus inservíveis, sendo assim um sistema sustentável, de fácil aplicação, manutenção e de baixo custo.

3.4.1.1 BET: Processos envolvidos

A digestão anaeróbia é um processo de conversão da matéria orgânica complexa em “metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas” (Galbiati, 2009, p. 8,) por diversos grupos de microrganismos que trabalham de forma interativa. De forma simplificada, pode-se dividir esse processo em duas fases: acidogênica e metanogênica; no primeiro estágio os carboidratos, lipídios e proteínas passam por um processo de fermentação e, por meios biológicos, são convertidos em compostos mais simples pela ação de bactérias acidogênicas. A segunda etapa é quando se tem a formação, como produto da digestão anaeróbia, do gás carbônico e do metano, resultantes da conversão de ácidos orgânicos, hidrogênio e gás carbônico pela ação de bactérias metanogênicas, fase que ocorre em condições totalmente anaeróbias. O metano, quando na digestão anaeróbia tem formação desejada, isso porque o gás tem uma solubilidade baixa em água o que assegura que a matéria orgânica foi removida da fase líquida de forma efetiva (Campos, 1999, *apud* Galbiati, 2009).

Segundo Galbiati (2009), os sistemas que se utilizam de processo de tratamento anaeróbio apresentam uma produção de lodo baixa, além de terem a habilidade de manter preservada por longos períodos a atividade do lodo, mesmo na ausência de alimentação, requerendo ainda um custo mínimo ou mesmo nenhum com energia.

Finda a fase de digestão anaeróbia, o efluente ascende para as demais camadas onde o tratamento passa a ser realizado por processos aeróbicos. Nessa etapa, “a conversão da matéria carbonácea consome oxigênio do meio, gerando gás carbônico, água e energia”

(Galbiati, 2009, p. 9). Além disso, em condições aeróbias, ocorre a transformação dos compostos de nitrogênio; quando o esgoto está fresco, o nitrogênio em sua maior parte se apresenta na forma de proteína e ureia, sendo oxidado biologicamente e convertendo-se em amônia, esta por meio do processo de nitrificação é convertida em nitritos e em seguida passa para a forma de nitrato (Pessôa e Jordão, 1982), podendo finalmente ser absorvido pelas raízes das plantas presentes na bacia de evapotranspiração.

Na BET, a evapotranspiração é a última etapa do sistema, após passar pelas zonas anaeróbia e aeróbia, o efluente continua a preencher todas as camadas da bacia, chegando a última delas, que consiste em uma porção de solo na qual a água do tratamento continua o processo de ascendência do fluxo pelo princípio de capilaridade. Estando essa camada saturada em água, as plantas realizam sua absorção através das raízes, momento a partir do qual se estabelece uma diferença de potencial entre as zonas mais próximas e mais distantes das raízes, fazendo com que a água busque uma região de menor energia, encontrada na parte mais área das plantas, isso fará com que a água dentro da planta tome um caminho preferencial das raízes até a parte área; em condições climáticas que favoreçam a perda de água das plantas para a atmosfera, como a alta incidência de radiação solar, a água que chega às folhas passará para a atmosfera pelo fenômeno de evapotranspiração (Machado *et al*, 2020). De acordo com Tucci (2009) a evapotranspiração é a perda de água que ocorre por meio de evaporação quando no solo e transpiração das plantas.

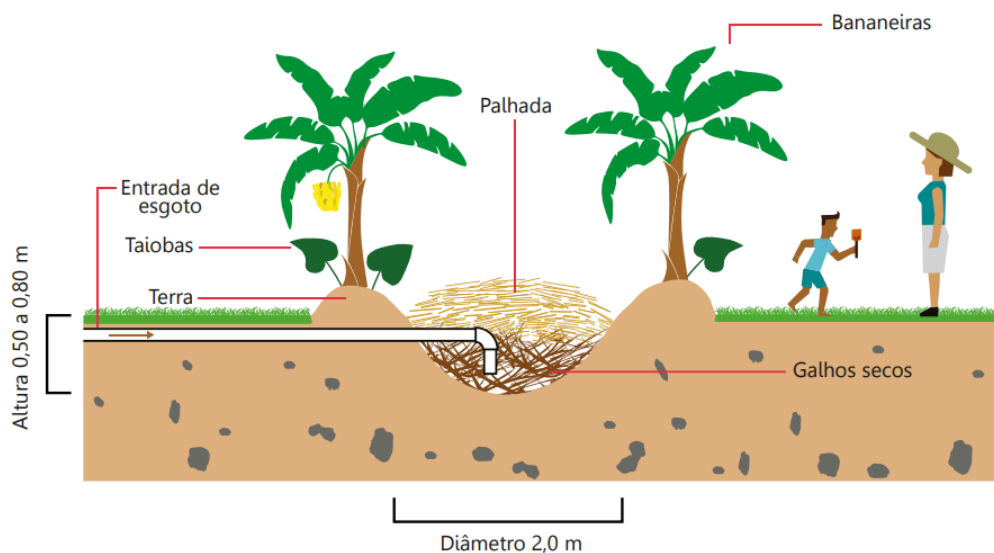
3.4.2 Círculo de bananeiras

O círculo de bananeiras é uma tecnologia utilizada para disposição final das águas cinzas ou mesmo efluentes tratados, como aqueles que extravasam da BET ou ainda efluentes provenientes de fossas sépticas, apresentando baixo custo e simplicidade construtiva. Diferentemente da BET, o círculo de bananeiras tem como princípio de funcionamento a infiltração do efluente no solo, não havendo impermeabilização do sistema, desse modo, é de suma importância que essa técnica seja aplicada em pontos distantes de nascentes e também do lençol freático para evitar contaminação destes recursos.

Segundo Martinetti (2007, *apud* Galbiati, 2009, p. 30) o sistema “consiste em uma vala preenchida com britas e conta com solo, ao redor da qual são plantadas bananeiras e outras plantas”. A grande maioria dos autores, contudo, entendem que o círculo de bananeiras é uma vala circular preenchida com materiais como galhos, folhas secas e capim. O solo retirado para escavação do círculo é aproveitado, sendo disposto ao redor da área escavada

para que se plante as culturas adequadas, que assim como na BET, são aquelas que demandam grande disponibilidade hídrica como a própria bananeira.

Figura 4 - Esquema ilustrativo do círculo de bananeiras



Fonte: Figueiredo, Santos e Tonetti (2018)

Sobre o efluente encaminhado para esse sistema, recomenda-se que a tubulação que o conduz não fique exposta na superfície, além disso, para um melhor desempenho, a instalação de uma caixa de gordura para reter materiais indesejados (alimentos, gordura etc) que possam resultar da cozinha deve ser instalada a montante do sistema (Tonetti *et al*, 2018 *apud* Amorim *et al*, 2022, p. 439).

3.5 Biorremediação

A biorremediação é um processo em que organismos vivos, geralmente plantas ou microrganismos, são utilizados de forma tecnológica para remover poluentes do ambiente, constituindo um sistema controlado para remoção de poluentes por meio dos processos microbiológicos.

Esses organismos vivos dispõem da habilidade de decompor ou mesmo modificar certos tipos de poluentes, transformando contaminantes em substâncias inertes (Jacques, 2010 *apud* Soares *et al*, 2011, p. 342). A aplicação da técnica acontece no próprio local, visando à remoção ou mesmo retenção e degradação de poluentes da água e do solo, sejam eles orgânicos ou inorgânicos.

3.6 Estado da arte

Conforme anteriormente relatado, a fossa agroecológica engloba a bacia de evapotranspiração e os círculos de bananeiras. No entanto, em pesquisas na literatura, notou-se que a maior parcela de estudos existentes são sobre o primeiro componente, isso porque se em comparação aos círculos, as BETs são mais complexas. Desse modo, abaixo são apresentados os usos desse componente e as conclusões às quais se chegaram.

Figueiredo *et al* (2019) realizaram o monitoramento de uma bacia de evapotranspiração alocada na zona rural de Campinas, estado de São Paulo, projetada para receber as águas escuras de duas residências unifamiliares, totalizando um sistema a ser dimensionado para um público de cinco pessoas. Para o dimensionamento, a cada morador foi atribuída uma área de 1,5 m² e uma profundidade de 1,3 m. Ao fim da pesquisa, os autores revelaram que o dimensionamento foi adequado, posto que não existiram problemas de funcionamento como o extravasamento, por exemplo. Ainda, foi realizado um monitoramento quinzenal na entrada e saída de efluente do sistema, coletando-se amostras para avaliar a qualidade do efluente tratado. Em se tratando dos parâmetros físico-químicos, observou-se que a utilização da tecnologia para tratamento dos efluentes promoveu uma excelente remoção de turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e também de sólidos suspensos totais (SST), remoções estas atribuídas a filtração física ocorrida no interior da BET bem como à ação biológica. Para os parâmetros microbiológicos, como os coliformes totais e *Escherichia coli*, os autores relataram que a remoção desses apresenta comportamento semelhante a de um reator anaeróbio.

Carvalho (2017) propôs o dimensionamento de uma BET funcionando integrada com outros sistemas - fossa séptica e canteiros de filtração -, para atender uma demanda de 8 usuários recebendo, no entanto, efluentes apenas durante o período que compreende a quadra chuvosa da região. Para dimensionar, o autor usou a convenção da literatura, adotando um sistema de 2m² por usuário e 1 metro de profundidade. A conclusão do estudo foi de que o sistema atendeu aos objetivos propostos, tendo como única problemática imperfeições estruturais dado aos materiais utilizados para construção, contudo, nada que comprometesse sua utilização e funcionamento.

Para além das aplicações em residências unifamiliares, Machado *et al* (2020) estudou o sistema empiricamente, simulando como seria sua implantação real para um banheiro universitário. Finda a análise, os resultados obtidos mostraram que a aplicação do sistema não seria viável porque a extensão necessária para a construção do módulo seria alta.

Ao passo que Machado *et al* (2020) não obtiveram êxito no campo da aplicação prática da tecnologia em decorrência das dificuldades supracitadas, Amorim *et al* (2022) propôs a implantação das fossas agroecológicas em escolas na bacia hidrográfica do rio São Francisco; em comunicação pessoal, Amorim relatou que os módulos implantados nestas escolas suprem a demanda de usuários do

sistema, não tendo até o presente momento nenhuma das quatro aplicações apresentado inconvenientes como o transbordo.

Galbiati (2009) propôs o dimensionamento de um sistema capaz de contemplar as necessidades de uma residência unifamiliar com dois residentes, de modo que tanque apresentou uma área superficial final de 4m², todavia, o sistema não foi utilizado conforme se dimensionou, posto que foi utilizado por diversas pessoas, uma população acima da projetada, o que acarretou extravasamentos. Diante disso, a autora relatou que as dimensões adotadas não foram adequadas ao fluxo de consumo deste grupo, pelo menos não se adotadas as vias comumente utilizadas, a saber, o corriqueiro uso de 2m² de área por pessoa como base para os cálculos e o extrapolamento da quantidade de usuários do sistema.

A seguir é apresentada uma tabela elaborada por Figueiredo *et al* (2019) sobre os principais resultados obtidos nas pesquisas sobre BET.

Tabela 1 - Resultados das principais pesquisas sobre sistemas tipo bacia de evapotranspiração

Fonte	Local da pesquisa e número de amostras	Principais resultados
Galbiati (2009)	1 BET em residência urbana em Campos Grande, MS. 2 pontos de coleta; 10 amostras de efluentes em 8 meses.	Remoção: 40% para a DQO; 80% para a DBO; 90% para SST e 81% para a turbidez. Pouco efeito no pH, CE, cloreto e <i>E. Coli</i> . Ovos de helmintos e coliformes termotolerantes foram encontrados no efluente. Folhas de taioba com coliformes totais ($1,1 \times 10^4$) mas sem coliformes termotolerantes.
Pires (2012)	2 BET em Visconde do Rio Branco, MG. 3 pontos de coleta e monitoradas por 4 meses.	Alta remoção de turbidez (79 a 86%); SST (97 a 99%) e DQO (95 a 97%). CE aumenta ao longo do perfil vertical. Baixas concentrações de OD. Remoção de <i>E.coli</i> de até 10^4 . Folhas de taioba com 3,0 NMP/g de Coliformes totais.
Benjamin (2013)	1 BET em Carrancas, MG. 2 amostras de solo, 1 amostra das folhas e frutos de banana e uma amostra de efluente do fim da BET	O solo de dentro da BET teve pH aumentado, aumento da saturação de bases e consequente aumento da disponibilidade de alguns nutrientes. Houve aumento da CE também. Não foram detectados microrganismos nas amostras de folhas e frutos das bananeiras do interior da BET e nem no solo
Coelho (2013)	5 BET diferentes foram analisadas em Madalena, CE. Foi coletada uma amostra do substrato de cada sistema.	Substrato com CE e P altos não favoreceram desenvolvimento da vegetação. pH do solo entre 7 e 8. Todas as amostras de folhas e frutos tiveram concentrações menores que 10 UFC de coliformes fecais e ausência de <i>Salmonella</i>
Bernades (2014)	1 BET em Campo Grande, MS. 2 pontos de coleta avaliados por um mês (total 12 amostras)	Remoção média de DQO de 76% e turbidez de 86%. Houve extravasamento em algumas ocasiões. Resultados variam muito conforme as condições ambientais e de uso do sistema.
Coelho, Reinhardt e Araújo (2018)	4 BET no Ceará foram usadas para avaliar o lodo. 20 amostras de frutos e folhas de diferentes sistemas.	Todas as amostras de folhas (malvarisco) e frutos (banana, tomate e pimenta) tiveram valores menores que 10 UFC de coliformes fecais e ausência de <i>Salmonella</i> . A avaliação do lodo permitiu a sugestão da frequência da manutenção dos sistemas (5 anos e 3 meses).

DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda biológica de oxigênio; SST: sólidos suspensos totais; CE: condutividade elétrica; OD: oxigênio dissolvido; NMP: número mais provável; UFC: unidades formadoras de colônias.

Fonte: Figueiredo *et al* (2019) - Adaptado

4 MÉTODOS

Foram realizados diversos levantamentos da literatura com o intuito de cumprir os objetivos propostos neste trabalho, sendo avaliados artigos científicos, cartilhas, guias, manuais, trabalhos de conclusão de curso e dissertações, além de livros que tratassem sobre o assunto. Com essa busca foi possível identificar métodos de dimensionamento e métodos construtivos para a fossa agroecológica, verificando tecnologias semelhantes e possibilitando a análise comparativa. A metodologia adotada é apresentada no fluxograma abaixo.

Figura 5 - Fluxograma da metodologia do trabalho



Fonte: Autora, 2025.

5 FOSSA AGROECOLÓGICA: MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E CONSTRUÇÃO

5.1 Fossa agroecológica: dimensionamentos propostos na literatura

O item abrange as propostas de dimensionamento para os componentes da fossa agroecológica encontrados na revisão da literatura.

5.1.1 Bacia de evapotranspiração

Quando se trata do processo dimensional da fossa agroecológica, as referências de maiores citações são Sérgio Pamplona e Marcelo Venturi, em metodologia apresentada na Revista Permacultura Brasil - Soluções Ecológicas no ano de 2004 e, Adriana Farina Galbiati, cujo trabalho resultante em uma dissertação de mestrado é considerado, de acordo com Campos *et al* (2020), “um marco na pesquisa em torno da temática até os dias atuais”.

Diante disso, Pamplona e Venturi (2004, p. 18) orientam que o dimensionamento da fossa agroecológica, recebendo apenas efluentes dos vasos sanitários, bem como os cuidados a se ter com essa tecnologia, seja realizado do seguinte modo:

“[...] Pessoalmente, partilho da opinião de que devemos usar exclusivamente as águas negras (dos vasos sanitários), com um dimensionamento padrão de 2m² de superfície por usuário. Em locais quentes, onde ocorre maior evapotranspiração, esta área é mais que suficiente, mas em regiões muito frias, o sistema deve ser adaptado (...).

A vala deve ser cavada num local que receba boa insolação, com profundidade de 1 metro e fundo nivelado para que o efluente se espalhe por igual. A forma mais usual é a retangular. No caso de terrenos inclinados é a parte mais rasa que deve ter 1m de profundidade” (Pamplona & Venturi, 2004, p.18).

Galbiati (2009), em seu estudo sobre o sistema de tratamento de efluentes implantado em escala real em área periurbana relata ser semelhante o princípio de funcionamento da fossa agroecológica e de uma *wetland* horizontal de fluxo subsuperficial, conforme se verifica no apresentado abaixo:

“O TEvap pode ser classificado como um *wetland* horizontal de fluxo subsuperficial, por não apresentar lâmina de água acima da superfície do leito, diferenciando-se deste pelo fato de não apresentar efluente final, em condições normais de funcionamento” (Galbiati, 2009, p. 6).

Em análise ao sistema implantado, Galbiati (2009) fez o seguinte apontamento para a proposta de dimensionamento:

“Considerando que, em média, cada pessoa utilize o vaso sanitário cerca de 4 (quatro) vezes por dia e o volume de cada descarga varie entre 7 ℓ e 20 ℓ, dependendo do tipo de equipamento, pode-se estimar que o consumo de água médio por pessoa, relativo ao uso do vaso sanitário, varie entre 21 ℓ e 60 ℓ.d-1. Adotando-se como base para o cálculo uma caixa de descarga com capacidade para 8 ℓ, estima-se um consumo *per capita* de 32 ℓ.d-1. Para as condições climáticas de Campo Grande – MS, pode-se propor a seguinte equação para dimensionamento do sistema:

$$A = \frac{n \cdot Q_d}{ET_0 \cdot k_{tevap} - P \cdot k_i}$$

Onde:

A = área superficial do tanque, em m²;

n = número médio de usuários do sistema;

Q_d = vazão diária por pessoa, em ℓ.d-1, de acordo com o tipo de descarga e o número de utilizações por pessoa;

k_{evap} = coeficiente do tanque, adotado como 2,71, para as condições da realização da pesquisa;
 ET_0 = evapotranspiração de referência média do local, em mm.d-1 ;
 P = pluviosidade média do local, em mm.d-1 ;
 k_i = coeficiente de infiltração, variando de 0 a 1.
 [...] O valor de $k_{\text{evap}} = 2,71$ foi adotado para as condições da realização da pesquisa. Esse coeficiente pode variar de acordo com fatores como condições de insolação sobre o tanque e incidência de ventos” (Galbiati, 2009, p. 27)

No que diz respeito ao dimensionamento do tanque para o local estudado, Galbiati (2009) apresentou uma estrutura com 2m de comprimento, 2m de largura e 1m de profundidade, para atender a demanda de dois moradores, de modo que o sistema construído apresenta área superficial de 4m². Todavia, apesar de construído para atender a demanda de duas pessoas, conforme relata Galbiati (2009), um número variável de pessoas utilizou o sistema, o que resultou em extravasamentos, desse modo, a autora chegou à conclusão de que as dimensões que foram adotadas para esse sistema não são adequadas ao volume de efluente gerado.

“Como o funcionamento ideal do TEvap prevê o mínimo extravasamento do efluente, em condições normais de uso e funcionamento, conclui-se que as dimensões adotadas para o tanque estudado não são adequadas ao volume de consumo registrado para esse grupo de usuários” (Galbiati, 2009, p. 27).

No entanto, apesar dos resultados obtidos, Galbiati (2009) chegou a importantes conclusões, o que ressalta a relevância e valor de seu trabalho até os dias atuais. Para a autora, os tanques podem ser tidos como alternativas viáveis e de suma importância para se tratar esgotos em meios rurais, urbanos ou ainda periurbanos, independente do tamanho da área de aplicação, podendo ser implantados como relata Galbiati (2009, p. 33) “[...] tanto em pequenos quintais, quanto em áreas maiores”. Acrescido à isso, Galbiati (2009) ressalta ainda que o uso de sistemas individuais, ou seja, aqueles para tratamento dos efluentes no local em que ele é gerado, como é o caso do tanque de evapotranspiração para as águas escuras, “pode evitar a sobrecarga das estações de tratamento de esgotos e diminuir a carga poluidora lançada em rios e córregos pelo tratamento parcial de esgotos urbanos” (Galbiati, 2009, p. 34), além de ser um substituído com vantagens tanto econômicas quanto ambientais para as fossas sépticas.

Apesar das problemáticas acima apresentadas, a autora realizou simulações de área conforme sua proposta dimensional, para isso Galbiati (2009) utilizou os seguintes dados para a região de Campo Grande/MS: $Q_d = 32$ L/d; $ET_0 = 4,36$ mm/d; $P = 3,85$ mm/d; $k_{\text{evap}} = 2,71$; para k_i a autora simulou três cenários: $k_i = 1$, $k_i = 0,50$ e $k_i = 0,20$. De acordo com a autora, o volume de água de uma descarga varia entre 7 e 20 litros a depender do equipamento utilizado, assim, para calcular a vazão diária por pessoa, Galbiati (2009) adotou um valor de 8

litros de capacidade para a caixa de descarga, assumindo que cada usuário do sistema utilizaria o vaso sanitário em média 4 vezes ao dia, o que totaliza uma vazão de 32 litros de água por usuário do sistema diariamente. A evapotranspiração de referência (ET_0) foi calculada pela autora por meio da equação proposta por Hargreaves & Samani, utilizando como base para cálculo dados diários de temperatura mínima, média e máxima, além da umidade relativa mínima, média e máxima diárias, fornecido pelo Centro Estadual de Monitoramento do Tempo, Clima e Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (CEMTEC/AGRAER/INMET - MS) referente a estação meteorológica Campo Grande - A702 no período de 01/08/2008 a 08/12/2008, fase de realização da pesquisa.

Equação de Hargreaves & Samani:

$$ET_0 = 0,0023 \times Q_0 \times (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \times (T + 17,8)$$

onde: “ Q_0 = radiação extraterrestre, convertida em mm.d-1 e cujos valores são tabelados, de acordo com os meses do ano; $T_{\max}$ = temperatura máxima do dia, em °C; $T_{\min}$ = temperatura mínima do dia, em °C; T = temperatura média do dia, em °C” (Galbiati, 2009, p. 21).

Referente aos dados de pluviosidade, não são indicados diretamente no texto de Galbiati (2009) como o valor foi obtido, no entanto, há o relato de que foi instalado um pluviômetro do tipo Hellman com 200 cm² de área de captação próximo a bacia de evapotranspiração, tendo valores registrados a cada episódio de chuva durante o período de realização da pesquisa.

Segundo Galbiati (2009), o coeficiente do tanque de evapotranspiração (K_{tevap}) sofre influência de fatores climáticos, como a insolação e incidência de ventos; para as condições da pesquisa, a autora obteve o valor de 2,71, no entanto, recomenda que para locais em que há sombreamento o valor adotado pode ser reduzido e, para locais em que a evapotranspiração apresentar efeito significativo, o coeficiente pode ser maior. A obtenção do valor de 2,71 foi realizada por meio da razão entre dados de evapotranspiração estimada para a BET e a evapotranspiração de referência. Dentro do período de realização da pesquisa - 01/08/2008 a 08/12/2008 - foram selecionados 8 dias para coleta detalhada das informações e mais 3 dias no ano de 2009, compondo 11 amostras; haja vista que a BET encontrava-se em funcionamento, nos dias de estudo a entrada de esgoto foi suspensa, possibilitando a análise da variação de nível dentro da bacia em intervalos de 1 hora através dos pontos de monitoramento instalados no sistema. Por meio da multiplicação entre a capacidade do tanque

e a variação de nível a cada hora, se obteve a estimativa horária da evapotranspiração na BET. O cálculo da evapotranspiração real no sistema, de acordo com Galbiati (2009), foi realizado da seguinte maneira:

“Associados a cada medida de nível, foram registrados os valores instantâneos de umidade relativa do ar e de temperatura, lidos em um termohigrômetro digital, instalado próximo ao tanque. Esses dados climáticos foram agrupados em 8 (oito) faixas de umidade e temperatura, às quais foram associados os valores de ET_h obtidos a partir da medição de nível. Para cada faixa climática, foram calculados a média e o desvio padrão das taxas de evapotranspiração a elas associadas. O somatório dessas médias associadas às faixas climáticas de cada hora dos dias selecionados gerou uma estimativa da evapotranspiração total do tanque, em cada um dos dias de referência:

$$ET_d = \sum_0^{23} (ET_h)$$

Onde: ET_d = Evapotranspiração real do tanque nos dias de referência, em mm.d-1;
 ET_h = Evapotranspiração horária, atribuída a cada faixa de umidade e temperatura, em mm.h-1” (Galbiati, 2009, p. 20).

Finalmente, Galbiati (2009) propõe que o coeficiente da bacia seja calculado por meio da equação:

$$K_d = \frac{ET_d}{ET_0}$$

Esse cálculo foi realizado para cada um dos onze dias estudados, conforme tabela 2 e a média resultou no coeficiente da bacia de evapotranspiração de 2,71, conforme relatado por Galbiati (2009).

Tabela 2 - Coeficiente diário do tanque

DIAS	ET _d (mm/d)	ET ₀ (mm/d)	kd calculado
19/08/2008	16,68	4,6	3,60
20/08/2008	17,43	4,4	4,00
21/08/2008	17,02	4,4	3,83
06/11/2008	9,75	6,2	1,57
15/11/2008	18,15	7,2	2,51
04/12/2008	10,71	5,0	2,13
08/12/2008	14,86	7,4	2,01
10/12/2008	14,34	6,1	2,36
05/05/2009	8,25	2,8	2,92
06/05/2009	6,21	3,0	2,08
07/05/2009	8,26	2,9	2,86
MÉDIA			2,71

Fonte: Galbiati, 2009, p. 25 - Adaptado

O coeficiente de infiltração é um parâmetro que varia de 0 a 1 e indica a quantidade de água precipitada que penetra a BET. De acordo com Galbiati (2009), quanto mais próximo a 1 for este coeficiente, mais água de chuva está entrando no sistema, ao passo que “valores menores de k_i indicariam o escoamento superficial da água das chuvas mais torrenciais para

fora do sistema” (Galbiati, 2009, p. 28). Além disso, relata que essa variável depende de condições do local em que a bacia for construída, como a cobertura do solo, a inclinação da superfície entre outros. Para o trabalho de Galbiati (2009), a autora utilizou valores arbitrários para calcular a área superficial da BET, simulando 3 cenários, em que o primeiro toda a água precipitada entraria no sistema ($k_i = 1$), no segundo, metade da água precipitada seria infiltrada e a outra metade seria escoada ($k_i = 0,5$) e por fim, no terceiro cenário, apenas 20% da água precipitada seria infiltrada na bacia ($k_i = 0,20$).

Considerando todo o descrito acima, Galbiati (2009) realizou a simulação para os 3 cenários com diversas quantidades de usuário do sistema, iniciando com dois habitantes e simulando a área superficial necessária para até 6 pessoas. Os resultados obtidos por Galbiati (2009) são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo da área superficial da bacia de evapotranspiração em função do número de habitantes e do coeficiente de infiltração

ÁREA SUPERFICIAL (m²)			
n	$k_i = 1$	$k_i = 0,5$	$k_i = 0,2$
2	8,1	6,5	5,8
3	12,1	9,7	8,7
4	16,1	13,0	11,6
5	20,1	16,2	14,5
6	24,1	19,4	17,4

Fonte: Galbiati, 2009 - Adaptado.

Figueiredo *et al* (2018) sugere um sistema de dimensionamento em que para calcular a área necessária da fossa agroecológica, basta multiplicar a quantidade de moradores da área em estudo por 2 m², o sugerido por pessoa. Destaca, no entanto, que localidades que apresentam clima mais seco podem realizar a etapa dimensional adotando uma área de 1,5 m² por pessoa. No referente à profundidade da bacia, os autores recomendam valores de 1,20 m a 1,50 m.

Em trabalho desenvolvido por Oliveira *et al* (2020), foi evidenciado que à época de realização da pesquisa não havia normalização do procedimento de dimensionamento dos tanques de evapotranspiração ou ainda fossa agroecológica, entendendo-se, no entanto, que um sistema com 2 metros de largura e 1 metro de profundidade seriam suficientes para que a estrutura funcione sem que ocorra extravasamento do efluente.

Machado *et al* (2020) realizaram uma simulação da implantação de uma bacia de evapotranspiração para tratar águas escuras de um banheiro localizado no Campus Macaé, estrutura da Universidade Estácio de Sá. Os autores relataram que a grande oscilação na quantidade de usuários constitui o maior empecilho para dimensionar o sistema. Como a tecnologia foi pensada para uma Universidade, Machado *et al* (2020) pontuaram a problemática de se garantir um sistema eficaz, tendo em vista que para isso se faria necessário o dimensionamento para uma quantidade significativa de usuários, o que tornaria a aplicação da BET inviável. Assim, para dimensionar o sistema, os autores utilizaram a equação apresentada por Galbiati (2009) para cálculo da área superficial do tanque. Para obter o volume útil da câmara de pneus que compõe a bacia, foram seguidas às orientações dispostas na ABNT NBR 17076-2024 - “Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte - Requisitos”, calculando-se o volume útil através da equação utilizada para cálculo do volume útil total do tanque séptico, dado por:

$$V = 1000 + N (CT + K L_f) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

V = volume útil, em litros;

N = número de pessoas ou unidades de contribuição;

C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia;

T = período de retenção, em dias;

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco;

L_f = contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia

Finalmente, os autores concluíram que o sistema, se bem dimensionado, pode ser bastante útil, não só pela sua praticidade mas também por se mostrar uma tecnologia ecologicamente correta. Sobre os resultados da pesquisa em si, os autores expressaram que não há possibilidade da BET ser implementada “devido a extensão necessária para que se tenha um bom funcionamento do sistema, pois o número de alunos é alto e com constante variabilidade” (Machado *et al*, 2020, p. 9).

A FUNASA (2018) apresenta a bacia de evapotranspiração, trazendo a seguinte proposta de dimensionamento “o tanque deve ter entre 1,00 m e 1,20 m de profundidade e área calculada em 2 m² por usuário, no caso de residências” (FUNASA, 2018, p. 45).

Em trabalho apresentado por Figueiredo *et al* (2019) uma nova percepção de relações de dimensões construtivas é trazida através da concepção do sistema monitorado pelo grupo, em que para calcular a área da bacia foi adotado uma área de 1,5 m² por morador. A fossa foi monitorada por 8 meses e durante esse período, os autores relataram que não existiu problema algum quanto ao funcionamento do sistema e que as dimensões adotadas foram apropriadas à demanda solicitada.

Em 2024, a NBR 17.076 incluiu entre os sistemas de tratamento de esgoto de menor porte, a bacia de evapotranspiração. Para o dimensionamento, a proposta da norma é que seja realizado o cálculo tomando como referência a taxa de evapotranspiração da planta adotada, bem como informações de pluviosidade do local em que o sistema será instalado; nos casos em que tais informações não estiverem disponíveis e na ausência de parâmetros considerados mais adequados, a norma orienta que podem ser utilizadas informações referente ao número de contribuintes, bem como dados de contribuição da bacia sanitária para dimensionamento da BET. Desse modo, a NBR 17.076/2024 recomenda que devem ser consideradas para fins de cálculos, no mínimo 2 m² de área superficial por pessoa contribuinte, tendo profundidade variando entre 1,00 m e 1,50 m e largura entre 1,00 m e 2,00 m; para o comprimento, a orientação é que cada BET dimensionada não deve exceder 10 metros.

5.1.2 Círculo de bananeiras

Sistema utilizado para tratar águas cinzas, os círculos de bananeiras não tem uma proposta dimensional bem consolidada. Para Figueiredo, Santos e Tonetti (2018) a construção da tecnologia adotou as dimensões de 2 metros de diâmetro e 80 centímetros de profundidade, no entanto, os critérios para essa adoção não foram especificados. Os autores recomendam ainda que para uma residência com até cinco moradores deve-se dispor de um a três círculos.

A Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER/MG), por sua, propõe dimensões construtivas de 1,4 metros de diâmetro e uma profundidade de 60 centímetros. De acordo com DHF Consultoria e Engenharia (2019, p. 77), o dimensionamento do círculo de bananeiras “é fundamentado nos estudos empíricos da EMATER/MG, baseando-se nos princípios da evapotranspiração e infiltração no solo, e suas dimensões, de 1,40 m de diâmetro por 0,60 m de profundidade foram adotadas para atendimento de até 6 pessoas”.

Silva (2017), em seu trabalho sobre tratamento de esgoto doméstico, define que o volume de 1 m³ para uma família de 3 a 5 pessoas é suficiente para o círculo de bananeiras. A

FUNASA (2018) recomenda como limite máximo a medida de 1 metro, tanto para o diâmetro quanto para a profundidade.

5.1.3 Fossa séptica

O tanque séptico - ou fossa séptica - é um dispositivo de tratamento de esgotos que tem como finalidade receber a contribuição de uma ou mais residências, detendo esses despejos domésticos por um determinado período de tempo, de modo a proporcionar o tratamento do esgoto de uma forma simples e com baixo custo através dos processos de sedimentação, flotação e digestão. Esse sistema dispõe de uma norma que define suas condições de projeto, construção e também operação, orientados pela NBR 17.076/2024 - “Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte - Requisitos”.

A equação de dimensionamento da fossa séptica foi apresentada no item 5.1.1. Tendo em vista que o tanque séptico se assemelha a fossa agroecológica pelos seus princípios de funcionamento, serão pontuadas as restrições para implantação desse sistema estabelecidas na ABNT NBR 17.076/2024 que podem ser seguidas e replicadas no ato de construção das fossas agroecológicas, sendo:

“O sistema de tratamento deve observar as seguintes distâncias horizontais mínimas:

- a) 1,5 m dos limites do terreno, de construções, ramal predial de água;
- b) 3,0 m das tubulações da rede pública de abastecimento de água;
- c) 15,0 m de poços freáticos e de corpos de água de qualquer natureza;
- d) 3,0 m de árvores e plantas com raízes que interfiram e afetem as instalações do sistema de tratamento;
- e) 3,0 m de sumidouros, de valas de infiltração.

NOTA: As distâncias mínimas são computadas a partir da face externa mais próxima aos elementos considerados e dependem das características do solo do local.” (ABNT NBR 17.076, 2024, p. 12).

5.2 Fossa agroecológica: métodos construtivos

Nesta seção serão abordados os métodos construtivos abordados na literatura para os componentes da fossa agroecológica.

5.2.1 Bacia de evapotranspiração

O método construtivo para a BET (ou TEvap tanque de evapotranspiração), proposto por Pires (2012), tem a laje de fundo concretada com argamassa, cimento, areia fina e brita de número 1. As paredes foram construídas de modo a ultrapassar a superfície do terreno em 19 cm (para evitar entrada de água de chuva), tendo sido elaboradas utilizando

blocos de concreto e rebocadas com argamassa, esta última com presença de impermeabilizante incorporado à sua composição. Pires (2012) executa a construção da câmara de digestão com lajotas cerâmicas, que foram assentadas acima de duas fileiras de tijolos maciços e de forma inclinada. A tubulação de entrada de efluente no sistema é constituída de um tubo de DN 100 mm, posicionado no início do tanque de forma vertical. Ainda, foi instalado um tubo extravasor de DN 50 mm na extremidade oposta ao tubo de entrada do esgoto, com o intuito de destinar o efluente em caso de sobrecarga do sistema. Finalizado a construção, o meio filtrante foi composto por uma camada de 50 cm de pedra de mão, 35 cm de brita nº 1, 35 cm de areia e 40 cm de solo, ordenadas da parte inferior para a parte superior do tanque, respectivamente.

Figura 6 – Oficina para a construção da bacia de evapotranspiração



Fonte: Pires (2012)

Figura 7 – Execução da câmara para digestão anaeróbia



Fonte: Pires (2012)

Figura 8 – Detalhes do meio suporte e tubulação de entrada de efluente na bacia de evapotranspiração



Fonte: Pires (2012) - Adaptada

Silva (2017) repassa como etapa primeira a escavação manual do solo, finda esta etapa, é construída a bacia de evapotranspiração nas dimensões de 3 m de comprimento $\times$ 2 m de largura e com uma profundidade de 1,4 m; a bacia foi construída em uma propriedade periurbana localizada no município de João Pessoa/PB. A vala escavada foi revestida com cimento e impermeabilizada, além de ter sido incluído tela de estuque para auxiliar na estabilização do reboco. Com a BET impermeabilizada, executou-se a câmara de digestão anaeróbia com pneus, estes dispostos de forma longitudinal no fundo do tanque e sem nenhum tipo de revestimento para possibilitar a passagem do efluente para as demais camadas do sistema. As camadas subsequentes, ditas camadas filtrantes, foram dispostas da seguinte maneira: 70 cm de entulho cobrindo toda a área de fundo da bacia, seguida de uma camada de brita de 30 cm, sobre as quais se seguiram uma camada de 25 cm de areia e outra de 25 cm de solo proveniente da escavação. Quanto às tubulações do sistema, foi instalado um tubo de entrada na câmara de pneus para receber o efluente do vaso sanitário e também, ao longo da seção longitudinal foi inserido um tubo de 50 mm com o objetivo de possibilitar a saída dos gases provenientes da digestão anaeróbia. No sistema foi construída uma borda ao longo da BET com garrafas pet e garrafas de vidro, funcionando como barreira para evitar a entrada de água no sistema.

Figura 9 – Revestimento da vala escavada com cimento



Fonte: Silva (2017) - Adaptada

Figura 10 – Preenchimento do leito filtrante e detalhe da câmara digestora.



Fonte: Silva (2017)

No sistema implantado por Galbiati (2009), o material utilizado para montagem foi o ferrocimento em todo o fundo e paredes da bacia. Para evitar a entrada de águas pluviais no sistema, a parede ultrapassou a superfície do solo em 10 cm. A câmara foi formada por pneus posicionados em sentido longitudinal ao fundo da bacia, sem nenhum revestimento entre eles para que o efluente que chega possa ascender para as demais camadas, haja vista que a tubulação de entrada de esgoto está posicionada dentro da construção de pneus. Ao redor da câmara de pneus foi posta uma camada de 45 cm de entulho cerâmico, de modo a cobrir todo o fundo. Sequencialmente foram inseridas uma camada de 10 cm de brita, uma camada de 10 cm de areia e por fim, uma camada de 35 cm de solo. Na superfície final foram plantadas mudas de bananeira, taiobas e beri. Além disso, um tubo extravasor de 50 mm foi inserido no

final da BET, posicionado 18 cm abaixo da superfície do solo, com a finalidade de auxiliar na drenagem do efluente em caso de sobrecarga e eventuais vazamentos.

Para a execução da bacia de evapotranspiração, EMATER/MG (2016) orienta que a construção das paredes e do fundo sejam realizadas com a técnica do ferrocimento tendo em vista sua viabilidade econômica. Assim, as paredes e piso devem ser inicialmente chapiscados com argamassa, para em seguida receber uma tela ou grade de ferro, sobre a qual se executa o reboco. Finalizada a construção da bacia inclui-se a câmara anaeróbia, composta por pneus usados que formam uma estrutura semelhante a um túnel no fundo da BET; o tubo de entrada das águas escuras é inserido dentro dessa câmara. Quanto ao material do meio suporte, do fundo da bacia para a superfície tem-se a seguinte composição: uma camada de 45 cm composta por entulho da construção civil e/ou restos de tijolos e telhas, seguidos de uma camada de 10 cm de brita, 10 cm de areia e 35 cm de solo; para a última camada, a recomendação de EMATER/MG (2016) é que o solo seja rico em matéria orgânica e de preferência com aspecto mais arenoso. Uma vez que a bacia é aberta e, portanto, propício a entrada de água de chuva, EMATER/MG (2016) propõe duas sugestões para extinguir tal risco: construir uma borda de 10 cm de altura com bloco de concreto ou tijolos ao redor de toda a BET ou escavar uma vala, também ao redor a bacia, com largura e profundidade de 25 cm e 15 cm, respectivamente.

Figura 11 – Construção da BET com aplicação da técnica ferrocimento



Fonte: EMATER/MG (2016)

A configuração proposta por Figueiredo *et al* (2019) em uma bacia de evapotranspiração executada em propriedade rural do município de Campinas, São Paulo/SP, consiste em paredes construídas em blocos cerâmico recebendo por cima uma camada de argamassa aditivada com impermeabilizante e laje de fundo executada em concreto armado. A câmara de digestão anaeróbia, assim como nos trabalhos supracitados, é composta por pneus e a tubulação de entrada de esgoto no sistema é alocada dentro dessa estrutura, sendo um tubo PVC de 100mm. O preenchimento da BET foi realizado em camadas de 55 cm de entulho grosso, 20 cm de brita nº 1, 15 cm de areia grossa e 40 cm de solo. A última camada foi coberta com palha de bananeira para evitar que o solo, uma vez exposto, ficasse encharcado em decorrência de eventuais eventos chuvoso. Finalizando o sistema, foi instalado um tubo de 50mm em PVC, servindo como tubo de drenagem, direcionando eventuais extravasamentos para um círculo de bananeiras.

Para a construção das bacias de evapotranspiração apresentada por Santos *et al* (2019) para a Comunidade Córrego do Meio, a área de fundo foi concretada e em seguida foram executadas as paredes laterais em alvenaria com blocos de concreto. Para a câmara de digestão foram implantados painéis de argamassa armada moldados na própria comunidade, instalados em sentido longitudinal na base da BET. A composição do leito do bacia se distribui em camadas filtrantes que recobrem toda a sua profundidade, sendo 50 cm de pedra de mão, 30 cm de brita nº 1, 30 cm de areia e 40 cm de solo. A última etapa de construção é o plantio de mudas, nesse caso, foram plantadas mudas de bananeira.

Figura 12 – Construção da BET em alvenaria



Fonte: Santos *et al* (2019) - Adaptada

Figura 13 – Detalhe construtivo da câmara de digestão



Fonte: Santos *et al* (2019)

Na BET implantado por Rocha (2021), a diferença entre as demais construções apresentadas foi a composição do material filtrante, pois acima da camada de brita nº 1 (disposta acima da camada de resíduos da construção) foi incluída uma manta geotêxtil não tecido, objetivando separar a camada de brita da camada de areia que é adicionada acima, “impedindo a sedimentação de partículas menores no interior do sistema e evitando que a camada de areia seja descaracterizada” (Rocha, 2021, p. 38).

Figura 14 – Execução da bacia de evapotranspiração



Fonte: Rocha (2021)

Figura 15 – Detalhe da câmara de digestão anaeróbia e composição do leito filtrante



Fonte: Rocha (2021) - Adaptada

Figura 16 – Manta geotêxtil aplicada entre as camadas de brita e areia

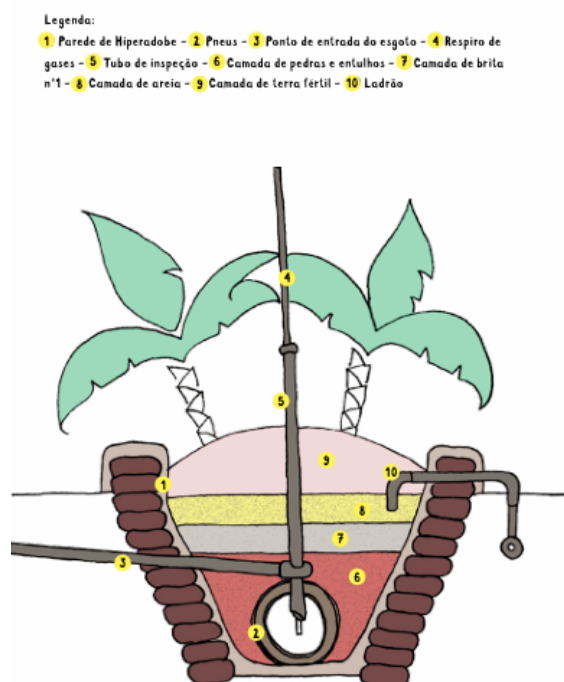


Fonte: Rocha (2021) - Adaptada

O método proposto por Machado *et al* (2019) é diferente dos demais, principalmente em relação à geometria adotada. Todos os sistemas apresentados acima para a bacia de evapotranspiração dispõem de uma configuração retangular, ao passo que as construções executadas na Comunidade Praia do Sono, Paraty/RJ são em formato oval. Além da forma oval, a técnica utilizada para a construção das paredes é o hiperadobe, que consiste em

aproveitar o solo escavado no próprio local para realizar uma mistura pilada com cimento. A construção da BET é iniciada com a escavação da vala, de modo que a parte superior seja maior que a inferior, para garantir boa aplicação da técnica construtiva. Em seguida, os sacos de hiperadobe são preenchidos com a mistura de solo e cimento e pilados, após finalizado um saco, a execução do outro é iniciada e assim as paredes vão sendo levantadas; a recomendação de Machado *et al* (2019) é que entre os sacos sejam inseridos fios de arame farpado com o objetivo de garantir a maior aderência entre eles. Finda a execução das paredes, o próximo passo é cobrir o fundo da bacia com concreto magro. Seguindo a construção da BET, as paredes são chapiscadas e depois impermeabilizadas. A câmara de digestão anaeróbia foi construída como nos demais trabalhos anteriormente apresentados, utilizando pneus dispostos em série e apresentados no sentido longitudinal da bacia. Para o meio suporte, de baixo para cima são adicionadas uma camada de entulho (nesse caso, a espessura é até que a câmara esteja coberta), seguida de 30 cm de brita nº 1, 30 cm de areia e finalizada com solo coberto por matéria organizada. Por fim, foram plantadas bananeiras. No que diz respeito à tubulação de entrada no sistema, a recomendação de Machado *et al* (2019) é que a cada 1 metro o tubo desça 2 cm, para que se tenha um bom caimento.

Figura 17 - Esquema ilustrativo da BET proposta por Machado *et al*



Fonte: Machado *et al* (2019)

Figura 18 - Execução da técnica hiperadobe



Fonte: Machado *et al* (2019)

Figura 19 - Câmara de digestão anaeróbia e composição do meio suporte, evidenciando o formato oval



Fonte: Machado *et al* (2019) - Adaptada

5.2.1 Círculo de bananeiras

Silva (2017), em seu estudo a respeito da implantação da fossa agroecológica para tratamento de esgoto doméstico, ocorrido em uma propriedade periurbana localizada na cidade de Mangabeira, município de João Pessoa/PB, relata que para a construção do círculo de bananeiras foi necessário, inicialmente, escavar de forma manual uma vala circular nas dimensões de 1m de diâmetro e 1m de profundidade. Com o volume escavado, a vala foi

preenchida com duas camadas de cascas de coco seco e mais duas camadas compostas por pedaços de madeira e galhos secos de árvores, posicionadas de forma intercalada e apresentando 25 cm de espessura cada uma delas (totalizando 1 m de profundidade). Finalizada esta etapa, foi instalado um tubo de PVC que coleta os efluentes da pia e chuveiro e o direcionam até o centro do CB. Com todo o sistema conectado, a superfície do CB é coberta com mais uma camada de folhas secas e palhas de coqueiro; para evitar a entrada de água no sistema decorrente de episódios de chuva, foram implantadas garrafas de vidro na borda de todo o círculo.

Figura 20 – Construção do círculo de bananeiras



Fonte: Silva (2017)

Em 2016, a EMATER/MG disponibilizou um manual orientando a construção da BET e CB. O passo a passo proposto para construção do círculo de bananeiras é iniciado com a escavação do solo até atingir uma profundidade de 1,20 m, em seguida, a vala escavada é preenchida com uma camada de 40 cm de troncos ou tocos de madeira, continuando com uma cada de 30 cm de gravetos e madeiras finas; a última camada, sem espessura definida, é composta por resto de grama, folhas verdes ou secas ou ainda palhada. A construção é finalizada com a execução de uma borda ao redor do CB, executada com o próprio material escavado, com as espécies vegetais plantadas nela.

Figueiredo, Santos e Tonetti (2018) propõem em seu trabalho que o círculo de bananeiras, se construído em um terreno inclinado, deve apresentar a configuração de meia lua para evitar que águas pluviais sejam escoadas para seu interior. Recomendam ainda que, em casos de solo muito arenoso, deve ser adicionada uma camada de argila no fundo da vala.

Rodrigues (2023) propôs para a construção do CB que fosse adicionada uma fina camada de brita no fundo da vala escavada com o objetivo de auxiliar na drenagem do efluente recebido. O leito filtrante foi composto por madeiras velhas, resíduos da construção civil, cascas de coco seca e folhas presente no quintal da propriedade em que foi implantado o sistema; a última camada é composta por brita em pequena espessura para evitar acúmulo de água e proliferação de insetos. As águas cinza chegam ao CB através de uma tubulação de PVC que sai do filtro anaeróbio em direção ao centro do círculo. Por fim, são plantadas espécies de bananeiras ao redor do CB.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Fossa agroecológica: métodos de dimensionamento

A revisão de literatura realizada sugere que existe um consenso entre os critérios adotados para o dimensionamento da BET, sendo utilizada comumente a relação de 2m² de área superficial para cada usuário do sistema, bem como a profundidade que varia entre 1 metro e 1,5 metros, valores adotados sem maiores justificativas. A adoção desses parâmetros em maioria dos sistemas utilizados se mostrou adequada, outras, no entanto, passaram por processos de extravasamento, mostrando que o dimensionamento adotado não foi suficiente para suprir a demanda. Apenas em 2024 há uma normalização do procedimento para cálculo da bacia de evapotranspiração, orientada pela NBR 17.076/2024, que apresenta os critérios de dimensionamento e trata dos aspectos construtivos, de instalação e manutenção da BET. No entanto, o que se verifica é que a norma tem grande semelhança aos resultados apresentados neste trabalho, como a orientação de 2 m² de área superficial por pessoa contribuinte para dimensionamento do sistema, além da consideração de dados como pluviosidade e evapotranspiração, de modo a se justificar e entender o motivo pelo qual os trabalhos pioneiros são tomados como referências para que se calcule a área do sistema.

Em se tratando dos círculos de bananeira as informações são ainda mais escassas e divergentes, conforme se verificou no item 5.1.2.

Além da relação utilizada, a metodologia de dimensionamento proposta por Galbiati (2009) é bastante utilizada em trabalhos acadêmicos que têm como objetivo dimensionar bacias de evapotranspiração para unidades maiores.

6.1.1 Análise comparativa dos métodos de dimensionamento

Conforme verificado, diversos autores apresentam uma opinião consolidada para a forma de dimensionamento da bacia de evapotranspiração. Diante deste cenário, para melhor entendimento e a título de comparação, realizou-se a simulação da área superficial necessária para atendimento a uma residência com 4 habitantes, calculada por meio da metodologia proposta por Galbiati (2009).

Para utilização da equação proposta por Galbiati (2009), se considerou que cada um dos 4 habitantes utilizaria o vaso sanitário 5 vezes ao dia, assumindo que a caixa de descarga - tipo acoplada - demanda 6 litros de água a cada utilização, assim estima-se que cada usuário

do sistema necessita em média de 30 litros diários para atender esta demanda. Os dados de pluviosidade foram obtidos através do site HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA), tomando como referência a estação pluviométrica Maceió - Tabuleiro, de código 935004, localizada a latitude -9,5511 Sul e longitude -35,7700 Oeste. O valor obtido foi de $P = 5,42$ mm/d, considerando a média diária de uma série histórica de 9 anos (2009 a 2018). A evapotranspiração de referência, de acordo com informações do documento “Estudos Técnicos e Zoneamento Ambiental da APA do Catolé e Fernão Velho” elaborado pelo Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (IMA/AL) é de 1404 mm/ano, desse modo, assumindo um ano de 365 dias, a $ET_0 = 3,85$ mm/d para esta análise. Os valores para o k_{tevap} e k_i seguiram os mesmos utilizados por Galbiati (2009) em sua simulação. Nas tabelas 4 e 5 seguem resultados obtidos para cada uma das metodologias de dimensionamento propostas na literatura, conforme visto no item anterior.

Tabela 4 - Valores da área superficial da BET considerando uma residência com 4 habitantes

Área Superficial BET - n = 4 habitantes			
Pamplona e Venturi (2004)	Oliveira <i>et al</i> (2020)	Funasa (2018)	Figueiredo <i>et al</i> (2019)
8 m ²	8 m ²	8 m ²	6 m ²

Fonte: Autora, 2025.

Tabela 5 - Valores da área superficial da BET segundo a metodologia de dimensionamento proposta por Galbiati (2009)

Coefficiente de infiltração (k_i)	Área superficial
$k_i = 1,00$	23,97 m ²
$k_i = 0,50$	15,55 m ²
$k_i = 0,20$	12,85 m ²

Fonte: Autora, 2025.

Em análise das tabelas 4 e 5, é notória a diferença de área requerida por cada metodologia adotada. Nota-se que, ao utilizar a equação de dimensionamento proposta por Galbiati (2009), os valores de área são superiores aos demais pesquisadores, em especial para a condição em que $k_i = 1$. Tendo em vista que a metodologia empregada por Pamplona e Venturi (2004), Funasa (2018), Figueiredo et al (2019), Oliveira *et al* (2020) tem como único critério a definição de 2 m² ou 1,5 m² de área por pessoa sem maiores considerações e o fato de que Galbiati (2009) utiliza diversos parâmetros essenciais para as condições de

funcionamento do sistema, se entende que a área calculada para a última metodologia será maior em decorrência de dados de pluviosidade, evapotranspiração e vazão englobadas ao dimensionamento, justificando os valores mais elevados.

6.2 Fossa agroecológica: métodos construtivos

A leitura e análise de diversos artigos e trabalhos acadêmicos a respeito do sistema fossa agroecológica, em especial sobre os métodos construtivos, ressaltam que para a bacia de evapotranspiração o método mais utilizado para a construção das paredes e laje de fundo é o método de ferrocimento, isso porque além de promover uma boa estrutura, resistente com o passar do tempo, ela é de baixo custo e acessível. É notória também a execução das paredes em alvenaria, técnica mais difundida e de fácil localização de mão de obra. Machado *et al* (2019) apresenta uma construção diferente de todos os outros sistemas vistos, com a aplicação de uma técnica de bioconstrução, reforçando as inúmeras possibilidades construtivas desse sistema.

No que diz respeito à câmara para digestão anaeróbia, o uso de pneus inservíveis é o mais comumente empregado, na literatura verificada, apenas os trabalhos de Santos *et al* (2019) e Pires (2012) fazem uso de outros materiais e/ou técnicas. Santos *et al* (2019), justificam que a escolha por painéis de argamassa armada - ver figura 21 - moldados *in loco* em substituição aos usuais pneus ocorreu em decorrência da logística, pois seriam construídos uma grande quantidade de tanques de evapotranspiração e, devido à dispersão das residências na comunidade rural, adotar o uso de pneus ou mesmo lajotas seria inviável. Ao fim do estudo, os autores atestaram que houve viabilidade tanto construtiva quanto financeira com a adoção da medida.

Figura 21 – Painéis de argamassa armada para construção da câmara de digestão anaeróbia



Fonte: Santos *et al* (2019)

Pires (2012) adotou o uso de lajotas cerâmicas - ver figura 22 - para confecção da câmara de digestão, em suas conclusões é relatado que a BET funcionou adequadamente, produzindo resultados satisfatórios, logo, verifica-se que o emprego de outro material não influenciou no funcionamento adequado do sistema.

Figura 22 – Detalhe construtivo da câmara de digestão anaeróbia proposta por Pires



Fonte: Pires (2012) - Adaptada

Em relação ao meio suporte, apesar das espessuras das camadas sofrerem variações entre um trabalho e outro, como verificado na seção anterior, a composição é a mesma, sempre uma camada de resíduos da construção civil, seguida por uma camada de brita, outra de areia e por fim uma camada de solo. Cabe destaque para o trabalho de Rocha (2021), em que há adição de mais uma “camada”, sendo incluída a manta geotêxtil para evitar interferência e prejuízo ao desempenho das camadas de brita e areia.

Em todos os trabalhos notou-se a presença de tubo extravasor e de tubulações que permitem a análise da qualidade do efluente tratado, composto por tubos PVC dispostos ao longo do tanque.

As espécies vegetais mais utilizadas no plantio realizado no tanque de evapotranspiração são a bananeira e a taioba, devido a grande demanda de água que essas plantas apresentam.

O círculo de bananeiras apresenta uma metodologia construtiva mais modesta e de fácil replicabilidade, haja vista que consiste na escavação manual de uma vala em dimensões previamente adotadas e preenchimento com materiais orgânicos. Com exceção de Rodrigues (2023), em que a vala recebeu uma fina camada de brita no fundo, todos os outros trabalhos seguem a mesma metodologia construtiva.

7 CONCLUSÃO

Durante a revisão bibliográfica realizada para construção deste trabalho, percebeu-se que a literatura, quando se trata das fossas agroecológicas, tem uma metodologia para dimensionamento bem definida, independente das condições às quais o sistema será construído. Notou-se que diversos trabalhos seguem a metodologia proposta por Galbiati (2009) para realizar seus dimensionamentos e estes têm retornado bons resultados.

Quanto aos métodos de construção, a maior aplicação em termos construtivos é o método ferrocimento para construção das paredes e piso, em sua maioria, pela facilidade construtiva e pelo custo-benefício. No entanto, outros métodos também são utilizados, como a execução de laje de fundo em concreto armado e paredes em alvenaria. Para a câmara de digestão, o material mais utilizado é o pneu, o que resulta em ganhos positivos dado que esse é um material de difícil decomposição e se descartado em ambientes incorretos pode ser um caminho para proliferação de vetores causadores de doenças. A composição do leito filtrante também é bastante consolidada, haja vista que em todos os trabalhos verificados a composição é a mesma, sofrendo alterações apenas na espessura das camadas.

A fossa agroecológica constitui um sistema de suma relevância e de fácil reprodução, podendo ser empregada tanto em regiões rurais quanto periurbanas; desde que sejam devidamente dimensionadas e corretamente construídas, a tecnologia pode gerar muitos ganhos, além de retorno positivo.

REFERÊNCIAS

GALBIATI, Adriana Farina. **TRATAMENTO DOMICILIAR DE ÁGUAS NEGRAS ATRAVÉS DE TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO**. 2009. 38 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/1163>. Acesso em: 16 dez. 2023.

CARVALHO, Bruno da Silveira. **Implantação de um Sistema Integrado De Biorremediação de Esgoto Doméstico: Disposição no Solo e Bacia De Evapotranspiração**. 2017. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/31293>. Acesso em: 17 dez. 2023.

NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 565 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciências e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 943 p.

PAMPLONA, Sérgio; VENTURI, Marcelo. Esgoto à flor da terra. **Permacultura Brasil: Soluções ecológicas**, [s. l], v. 16, n. , p. 18-19, nov. 2004. Disponível em: <https://fazenda.paginas.ufsc.br/files/2017/02/Pamplona-Venturi-Permacultura-Brasil-2004-n16.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2023.

CAMPOS, Paulo Eduardo Rolim; CAVALCANTE, Marcelo Casimiro; MEDEIROS, Luciana Melo de. FOSSA DE BANANEIRA: um legado agroecológico ao saneamento básico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 3, p. 134-140, jul. 2020. Associação Brasileira De Agroecologia. <http://dx.doi.org/10.33240/rba.v15i3.23190>. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/rbagroecologia/article/view/23190>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles *et al.* Bacia de Evapotranspiração (BET): uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto de vaso sanitário. **Revista DAE**, São Paulo, v. 67, n. 220, p. 115-127, nov. 2019. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2019.059>. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_220_n_1822.pdf. Acesso em: 19 nov. 2023.

MACHADO, Heitor Soares *et al.* ESTUDO SOBRE O USO DE BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 3., 2020, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: Ibeas - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2020. p. 1-20. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2020/XII-008.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2024.

SOARES, I.A. *et al.* FUNGOS NA BIORREMEDIAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 78, n. 2, p. 341-350, jun. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1808-1657v78p3412011>. Acesso em 14 jan. 2024.

FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; SANTOS, Bárbara S. C dos; TONETTI, Adriano Luiz. **TRATAMENTO DE ESGOTO NA ZONA RURAL**: fossa verde e círculo de bananeiras. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018. 28 p. Disponível em: [https://www.fecfau.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2017/11/Fossa-Verde-e-C%C3%adrculo-de-Bananeiras-UNICAMP.pdf](https://www.fecfau.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2017/11/Fossa-Verde-e-C%C3%ADrculo-de-Bananeiras-UNICAMP.pdf). Acesso em: 27 nov. 2023.

OLIVEIRA, Cirleide Gomes de *et al.* DISSEMINAÇÃO DE TECNOLOGIAS SOCIAIS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO NA ZONA RURAL DE PRINCESA ISABEL - PB E REGIÃO. **Revista Práxis: saberes da extensão**, João Pessoa, v. 8, n. 18, p. 99-114, ago. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/praxis/article/viewFile/4646/1460>. Acesso em: 19 nov. 2023.

COELHO, Christine Farias; REINHARDT, Hendrik; ARAÚJO, José Carlos de. Fossa verde como componente de saneamento rural para a região semiárida do Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.I.], v. 23, n. 4, p. 801-810, ago. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018170077>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018170077>. Acesso em: 17 jan. 2024.

EMATER-MG. **Fossa Ecológica**: tevap. Belo Horizonte: Emater, 2016. 14 p. Disponível em: <https://www.fbb.org.br/images/Editais/COPASA/2019/Fossa%20S%C3%A9ptica%20TEVAP.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2024.

LEAL, Jane Terezinha da Costa Pereira. **Círculo de Bananeiras para tratamento de efluentes rurais**. Belo Horizonte: Emater-MG, 2016. Disponível em: <https://www.emater.mg.gov.br/download.do?id=17595>. Acesso em: 01 fev. 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, FUNASA. **MANUAL DE ORIENTAÇÕES TÉCNICAS PARA ELABORAÇÃO DE PROPOSTAS PARA O PROGRAMA DE MELHORIAS SANITÁRIAS DOMICILIARES**. Brasília: Funasa, 2014. Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_orientacoes_tecnicas_programa_melhorias_sanitarias_ambientais.pdf. Acesso em: 19 jan. 2024.

PAULO, Paula Loureiro; GALBIATI, Adriana Farina; MAGALHÃES FILHO, Fernando Jorge Correa. **Catálogo de Soluções Sustentáveis de Saneamento**: gestão de efluentes domésticos. Campo Grande: Funasa, 2018. 50 p. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/552>. Acesso em: 19 nov. 2023.

AMORIM, Eduardo Lucena Cavalcante de *et al.* CAPÍTULO 22 - FOSSAS AGROECOLÓGICAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS EM ESCOLAS MUNICIPAIS DO BAIXO SÃO FRANCISCO. In: SOARES, Emerson Carlos *et al* (org.). **O Baixo São Francisco**: características ambientais e sociais. Maceió: Edufal, 2022. Cap. 22. p. 434-446.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **17076**: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 92 p.

UNIDAS, Nações. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6**: água potável e saneamento. Água potável e saneamento. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 20 fev. 2024.

BRASIL. Lei nº 11445, de 05 de janeiro de 2007. **Lei Nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007**. Brasília, 05 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 18 jan. 2024.

BRASIL. Lei nº 14026, de 2020. **Lei Nº 14.026, de 15 de Julho de 2020**. Brasília, 15 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 18 jan. 2024.

GARCIA, Amanda Maria Correia. **AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE BANANEIRAS UTILIZADAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS EM UM CÍRCULO DE BANANEIRAS**. 2023. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Biossistemas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Avaré, 2023. Disponível em: https://avr.ifsp.edu.br/images/pdf/Eng_Biossistemas/banco_tcc/2023/TCC_AmandaGarcia%20VF.pdf.

BORGES, Ana Lúcia *et al.* **Banana: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. Brasília: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/101787/1/500perguntasbanana.pdf>.

SOUSA, Selma Ribeiro Oliveira de; PASSOS, Simone Cordeiro. **CÍRCULO DE BANANEIRAS: relato sobre o manejo alternativo nas águas cinzas do bairro chácara santo amaro**. 2014. 25 f. TCC - Curso de Técnico em Vigilância em Saúde, Escola Municipal de Saúde Regional Sul – EMSR Sul, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/sms-sp/2014/sms-12657/sms-12657-9504.pdf>.

von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018). Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 2359 0548. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/boletins-tecnico-informativos/>.

Saúde, Fundação Nacional de . Caderno didático técnico para curso de gestão de sistemas de esgotamento sanitário em áreas rurais do Brasil / Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2020.

RODRIGUES, Ester Ferreira. **SANEAMENTO RURAL: ESTUDO SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DESCENTRALIZADO DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO NA ZONA RURAL DO CEARÁ**. 2023.

88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76589>.

GUTIERREZ, Alicia Andrea Alexandre. **SOLUÇÕES DE SANEAMENTO ECOLÓGICO PARA AS INSTALAÇÕES DO PARQUE NATURAL MUNICIPAL DO ATALAIA, MACAÉ/RJ**. 2018. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2018. Disponível em: https://ipoli.macaee.ufrj.br/wp-content/uploads/2023/11/TCC_Alicia_Gutierrez_final.pdf.

SILVA, Josefa Camila Araújo da. **TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO ATRAVÉS DE CÍRCULO DE BANANEIRAS E TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO**. 2017. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/24968>.

ROCHA, Gabriel. **TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM ZONAS RURAIS**. 2021. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021. Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3326>.

PIRES, Felipe Jacob. **Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no assentamento rural Olga Benário - MG**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/6d470fbb-d375-4b9c-a0c7-17eb3ecef50a/content>.

SANTOS, Tarcísio Couto Carneiro et al. **CÂMARA DE RECEPÇÃO E DIGESTÃO ANAERÓBIA DE TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO (TEVAP) COMPOSTA POR PAINÉIS DE ARGAMASSA ARMADA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 30., 2019, Viçosa. Anais [...] . Natal: Abes, 2019. p. 1-8. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/45_Download/TrabalhosCompletosPDF/XII-049.pdf.

MACHADO, Gustavo Carvalhaes Xavier Martins Pontual et al. **Caminhos e cuidados com as águas: faça você mesmo seu sistema de saneamento ecológico**. 2019. Disponível em: https://www.otss.org.br/_files/ugd/667450_8cc3867ab20d43449567594553e4a494.pdf.

ALAGOAS, Instituto do Meio Ambiente de. 4 Caracterização Ambiental. In: ALAGOAS, Instituto do Meio Ambiente de. **Estudos Técnicos do Zoneamento Ambiental da Área de Proteção Ambiental do Catolé e Fernão Velho**. Maceió: Ima, 2019. p. 46-134. Disponível em:

https://www2.ima.al.gov.br/app/uploads/2023/03/4_1-TEXTUAL-CARACTERIZACAO-AMBIENTAL-MEIO-FISICO.pdf