

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

DANIEL LEMOS MATTOS

**CONCEPÇÃO DE UM BIOSSISTEMA INTEGRADO PARA PEQUENAS
COMUNIDADES**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Niterói
2022

DANIEL LEMOS MATTOS

**CONCEPÇÃO DE UM BIOSISTEMA INTEGRADO PARA PEQUENAS
COMUNIDADES**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador:
Prof. Marco Aurelio Chaves Ferro, D.Sc.

Niterói
2022

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

M435c	<p>Mattos, Daniel Lemos CONCEPÇÃO DE UM BIOSISTEMA INTEGRADO PARA PEQUENAS COMUNIDADES / Daniel Lemos Mattos ; Marco Antônio Chaves Ferro, orientador. Niterói, 2022. 65 f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2022.</p> <p>1. Saneamento Básico. 2. Tratamento de Esgotos. 3. Comunidades. 4. Biosistema Integrado. 5. Produção intelectual. I. Ferro, Marco Antônio Chaves, orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p>CDD -</p>
-------	---

DANIEL LEMOS MATTOS

**CONCEPÇÃO DE UM BIOSISTEMA INTEGRADO PARA PEQUENAS
COMUNIDADES**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Graduação em
Engenharia Civil, como requisito parcial
para conclusão do curso.

Aprovada em 17 de Fevereiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marco Aurelio Chaves Ferro (Orientador), D.Sc. - UFF

Prof. Gabriel de Carvalho Nascimento, D.Sc.- UFF

Prof. Marcelo de Miranda Reis, D.Sc. - IME

Niterói
2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que
me incentivaram aos estudos,
acreditando que seria a maior herança
que poderiam deixar para mim.
Em especial, os meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pelo dom da vida e pela fidelidade em todos os momentos de dificuldades e incertezas.

Aos meus pais, Paulo e Rosiana, e aos meus avós, Adilson e Selma, por sempre acreditarem em mim e serem suporte em todos esses anos de faculdade.

Ao meu irmão Gabriel, que me recebe em casa todos os dias com um abraço, perguntando como foi meu dia e se “tá tudo bem”.

Aos meus confrades: Gabriel, Luiz Ronaldo, Carlos Diego, Carlos Matheus e Marcus, por estarem comigo na caminhada há tanto tempo, testemunhando as dificuldades, provações, e decepções e, principalmente, brindando as conquistas, alegrias e realizações de sonhos.

À Daniela, com quem quero dividir minha vida eternamente, pelo suporte emocional e laboral nessa fase final, entendendo minha ausência, minhas ansiedades e minhas angústias e não me deixando esmorecer.

A todos os professores que contribuíram para minha formação, desde a educação infantil, representados aqui pelo professor Marco Ferro. A ele, inclusive, agradeço o apoio à pesquisa e confecção deste trabalho.

A todos que me deram oportunidades profissionais e, como meus superiores, foram pacientes e compreensivos, me incentivando a ser um melhor profissional: Alberto, Rita, Bruno, Rodrigo, Márcia e “Marcelove”.

A todos os amigos e “Ex-amigos”, que são muitos, feitos na vida universitária, pessoal e profissional, que dividiram toda essa jornada comigo, trocando experiências e me auxiliando a agregar conhecimento.

“Em tudo dai Graças”
1 Tessalonicenses 5, 18.

RESUMO

A carência de tratamento de esgotos domésticos no mundo é um fato comprovado e, em comunidades urbanas e rurais esse fator se agrava, seja pela falta de investimento do poder público ou pela dificuldade logística de integrar a comunidade à rede pública de esgoto. O objetivo desta pesquisa é conceber um “Biossistema Integrado” em pequenas comunidades, transformando a problemática do esgoto, em substratos benéficos para a comunidade, tais como alimentos, energia, emprego, dentre outros fatores. O estudo de caso foi feito para a “Comunidade da Estação”, na cidade de Maricá, no estado do Rio de Janeiro, por apresentar características que permitem o funcionamento pleno da unidade de tratamento dimensionada: população e área suficientes e, principalmente, a necessidade de solução para o tratamento de esgotos domésticos. O “Biossistema Integrado” concebido, teve todas as etapas dimensionadas por MATTOS (2021), tendo este estudo, apenas promovido mudanças pontuais. As etapas de tratamento consideradas seguem um fluxo contínuo, sendo iniciadas por um Biodigestor com unidade de tratamento de biogás, Leito de Secagem para armazenamento e secagem do lodo gerado, Alagados Construídos com plantas aquáticas para depuração final do esgoto e, por fim, todo esgoto tratado é direcionado a regar um canteiro cultivado com árvores frutíferas que geram alimentos à comunidade, cumprindo, desse modo, o preceito de tratamento contínuo característico do “Biossistema Integrado”, onde se busca usar todos os substratos do esgoto. Feita a concepção, foi possível concluir que o BSI é um bom método para ser utilizado pela simplicidade de construção e operação e, além disso, pela possibilidade de permitir um ciclo fechado de tratamento, utilizando todos os substratos gerados pelo tratamento do esgoto. Em estudos futuros é recomendável estudar a utilização do biogás e da água de reuso sobressalente (caso haja) em prol da comunidade e, também, buscar viabilizar uma melhor utilização do lodo seco gerado.

Palavras-chave: Biossistema Integrado, esgoto, comunidades.

ABSTRACT

The lack of domestic sewage treatment in the world is a proven fact and in urban and rural communities, this fact gets worse, either by the lack of investment by the public authorities or by the logistical difficulty of integrating the community to the public sewage network. The objective of this research is to design an "Integrated Biosystem" in small communities, transforming the problem of sewage into beneficial substrates for itself, such as food, energy, employment, like other factors. The case study was carried out for the "Comunidade da Estação", in the city of Maricá, located in the state of Rio de Janeiro, because they have characteristics that allow the complete operation of the treatment unit dimensioned: sufficient population and area and, mainly, the need to solution for the treatment of domestic sewage. The "Integrated Biosystem" conceived, had all the steps dimensioned by MATTOS (2021), and this study only promoted occasional changes. The treatment steps considered follow a continuous flow, starting with a Biodigester with a biogas treatment unit, Drying Bed for storage and drying of the generated logo, Wetlands with aquatic plants for final purification of the sewage and, finally, all sewage treated is directed to watering a plot cultivated with fruit trees that generate food for the community, thus fulfilling the precept of continuous treatment characteristic of the "Integrated Biosystem", where all sewage substrates are used. Once the design was made, it was possible to conclude that IBS is a good method to be used due to the simplicity of construction and operation and, in addition, for the possibility of allowing a closed cycle of treatment, using all substrates generated by the treatment of sewage. In future studies, it's recommended to study the use of biogas and spare reused water (if any) for the benefit of the community and also seek to enable a better use of the generated dry sludge.

Keywords: integrated biosystem, sewer, communities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Esquema do Biosistema Integrado	19
Figura 2	- Esquema do Biodigestor	20
Figura 3	- Biodigestor modelo “chinês”.	21
Figura 4	- Biodigestor modelo “indiano”	22
Figura 5	- Biodigestor modelo “canadense”.	23
Tabela 1	- Comparação das técnicas de remoção de H ₂ S do biogás em ETEs anaeróbias. Tecnologias para remoção de umidade do biogás em ETEs com reatores	25
Tabela 2	- anaeróbios.	25
Tabela 3	- Equivalência do biogás com outros combustíveis	27
Figura 6	- Esquema do Sistema Alagado Construído	29
Figura 7	- Biosistema Integrado do Vale Encantado/RJ.	30
Figura 8	- Biosistema Integrado instalado em Petrópolis/RJ.	31
Figura 9	- Fluxo do Biosistema Integrado instalado em Vila Dordeoni/ES.	32
Figura 10	- Arranjo típico de uma caixa de areia.	35
Figura 11	- Localização dos pontos P1 e P2 na caixa de areia.	36
Figura 12	- Representação da caixa de areia a partir das dimensões projetadas	38
Tabela 4	- Dimensões de cada compartimento do biodigestor.	39
Tabela 5	- Dimensões externas do biodigestor.	39
Figura 13	- Espaçamento e disposição dos tijolos no leito de secagem.	42
Figura 14	- Disposição das camadas do leito de secagem.	43
Figura 15	- Estrutura biodigestor-leito de secagem.	45
Figura 16	- População atual e projetada para Maricá/RJ.	47
Tabela 6	- População de Maricá/RJ cadastrada por Assentamento.	48
Tabela 7	- População atendida por Sistema.	49
Figura 17	- Estimativa da área coberta por rede de esgotamento sanitário atual e prevista.	50
Figura 18	- Vista aérea da “Comunidade da Estação” captada por drone.	51
Figura 19	- Projeção das residências existentes e loteamento da região.	52
Figura 20	- Projeto de rede de esgotos na “Comunidade da Estação”	53
Tabela 8	- Evapotranspiração potencial média mensal padrão para a cidade de Maricá/RJ.	54
Tabela 9	- Fator de correção para a latitude da cidade de Maricá/RJ.	54
Tabela 10	- Temperaturas máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) ao decorrer do ano.	55

	Estimativa da necessidade de irrigação, em mm, para algumas culturas a serem	
Tabela 11	- plantadas na comunidade.	56
	Estimativa da necessidade de irrigação, em L/dia, para algumas culturas, por	
Tabela 12	- canteiro de 210m ² .	56
Figura 21	- Traçado final da rede de esgotos na “Comunidade da Estação”	58
Figura 22	- Projeto do BSI em 3D - Vista do canal de entrada	59
Figura 23	- Projeto do BSI em 3D - Vista do SAC	59
Figura 24	- Projeto do BSI em 3D - Vista do Leito de Secagem e cobertura do biodigestor	60
Figura 25	- Projeto do BSI em 3D - Vista do canal Canteiro Cultivado	60
Figura 26	- Fluxograma de Processo	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BSI	Biosistemas Integrados
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
COV	Carga Orgânica Volumétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ES	Espírito Santo
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETP	Evapotranspiração
GEE	Gases de Efeito Estufa
H ₂ S	Ácido Sulfídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRM	Instituto Rio Metrópole
NBR	Norma Brasileira
OIA	O Instituto Ambiental
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONG	Organização Não Governamental
PMM	Prefeitura Municipal de Maricá
Ppm	Partes por milhão
PVC	Polyvinyl Chloride
SAC	Sistema Alagado Construído
SANEMAR	Companhia de Saneamento de Maricá
ST	Sólidos Totais
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1	Considerações Iniciais.....	15
1.2	Situação Problema.....	16
1.3	Objetivos da Pesquisa.....	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos.....	16
1.4	Organização da Pesquisa.	17
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1	Biossistemas Integrados (BSI).....	18
2.2	Biodigestor.....	19
2.3	Leito de Secagem.....	23
2.4	Biogás.....	24
2.5	Canteiro Cultivado.....	27
2.6	Sistemas Alagados Construídos (SAC).....	28
2.7	Casos de Aplicação.....	29
3.	METODOLOGIA.....	33
3.1	Instrumento de Coleta de Dados.....	33
3.2	Análise e Tratamento de Dados.....	33
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1	Tratamento Preliminar.....	34
4.2	Concepção do Biodigestor.....	39
4.3	Previsão do Biogás Gerado.....	40
4.4	Concepção do Leito de Secagem.....	42
4.5	Concepção do Sistema Alagado Construído (SAC).....	45
4.6	Concepção do Canteiro Cultivado.....	46

5.	ESTUDO DE CASO.....	47
5.1	O esgotamento sanitário em Maricá/RJ.....	47
5.2	Comunidade da Estação.....	51
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	62
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Saneamento básico pode ser definido como o gerenciamento ou controle dos fatores físicos que podem exercer efeitos nocivos ao homem, prejudicando seu bem-estar físico, mental e social (Organização Mundial da Saúde - OMS) ou como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais (BRASIL, 2007).

O denominado novo Marco Legal do Saneamento (Lei 14.026, de 15/07/20, a qual promoveu diversas alterações na Lei 11.445/07) prevê a universalização do saneamento básico (99% da população com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033), porém segundo o SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), em 2020, apenas 50,8% do esgoto do Brasil era tratado. Ainda segundo o SNIS, neste mesmo estudo, a Região Norte apresentava somente 13,1% da população atendida por tratamento do esgoto, um índice tão baixo como os de grandes comunidades da zona urbana. Isso se deve pela dificuldade em levar tratamento de esgoto em núcleos habitacionais de baixa renda devido as peculiaridades físicas, topográficas e urbanísticas dos assentamentos precários, assim como pelas dinâmicas sociais e as vulnerabilidades a que estão sujeitas essas populações, com maior índice de inadimplência e da pobreza extrema

Neste aspecto, os biodigestores se apresentam como ferramenta consolidada no tratamento de esgotos domésticos, haja vista que o processo de biodigestão de resíduos orgânicos é bastante antigo, sendo que a primeira unidade foi instalada em Bombaim, na Índia em 1819, na Austrália uma companhia produz e industrializa o metano a partir de esgoto desde 1911 e, na China, existem 4,5 milhões de biodigestores que produzem gás e adubo orgânico, sendo que a principal função é o saneamento no meio rural.

Portanto, percebe-se que a utilização dos biodigestores com outros métodos de aproveitamento dos substratos do esgoto, pode ser essencial na resolução desta problemática da não atuação do poder público para o tratamento de efluentes como, por exemplo, em comunidades isoladas, sejam elas urbanas ou rurais.

1.2 Situação Problema

Identificado o baixo índice de soluções de esgoto sanitário em grandes centros urbanos e cidades desenvolvidas, percebe-se, também, a dificuldade de solucionar as problemáticas relacionadas ao esgoto doméstico em pequenas comunidades, sejam elas urbanas, prejudicadas pelo crescimento desordenado e a falta de planejamento ou, ainda, em comunidades rurais que possuem a dificuldade de se integrarem a soluções coletivas de tratamento de esgoto.

1.3 Objetivos da Pesquisa

1.3.1 Objetivo Geral

Concepção e dimensionamento de um Biosistema Integrado, composto de um decantodigestor seguido de alagados construídos e canteiros cultivados, para pequenas comunidades, tendo a aplicação estudada para o município de Maricá/RJ.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para se alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- Conceber um “Biosistema Integrado” para a “Comunidade da Estação”, em Maricá/RJ.
- Definir um traçado de rede de esgotos, do tipo condominial, que atenda a comunidade.
- Definir um layout padrão que atenda as premissas especificadas pelo dimensionamento.
- Estimar o resultado final do tratamento para a comunidade estudada.

1.4 Organização da Pesquisa

Esta pesquisa está dividida em 7 (sete) capítulos:

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO – Este capítulo traz informações acerca da problemática de tratamento de esgoto em pequenas comunidades, bem como apresenta os objetivos gerais e específicos do estudo e da concepção de um Biossistema Integrado em pequenas comunidades.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA – Este capítulo apresenta as informações acerca dos dispositivos de tratamento utilizados em todo o Biossistema Integrado, tais como definição, dados e casos de implementação do Biossistema Integrado.

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA – Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para a coleta de dados e utilização destes dados para conceber o Biossistema Integrado para o estudo de caso estudado.

CAPÍTULO 4: CONCEPÇÃO DO BIOSSISTEMA INTEGRADO – Neste capítulo é feito a concepção de um Biossistema Integrado, a partir do dimensionamento prévio feito por MATTOS (2021), que visa atender a população de 500 habitantes.

CAPÍTULO 5: ESTUDO DE CASO – Neste capítulo é feito um estudo de caso para a cidade de Maricá, no Rio de Janeiro, bem como um estudo de aplicação do Biossistema Integrado em uma comunidade local, denominada comunidade da Estação.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES – Este capítulo apresenta as conclusões desta pesquisa, explicitando os resultados obtidos e orientações para possíveis pesquisas futuras.

CAPÍTULO 7: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – Este capítulo apresenta as referências utilizadas, a partir da literatura, para elaboração desta pesquisa, seja com figuras, dados ou conceitos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

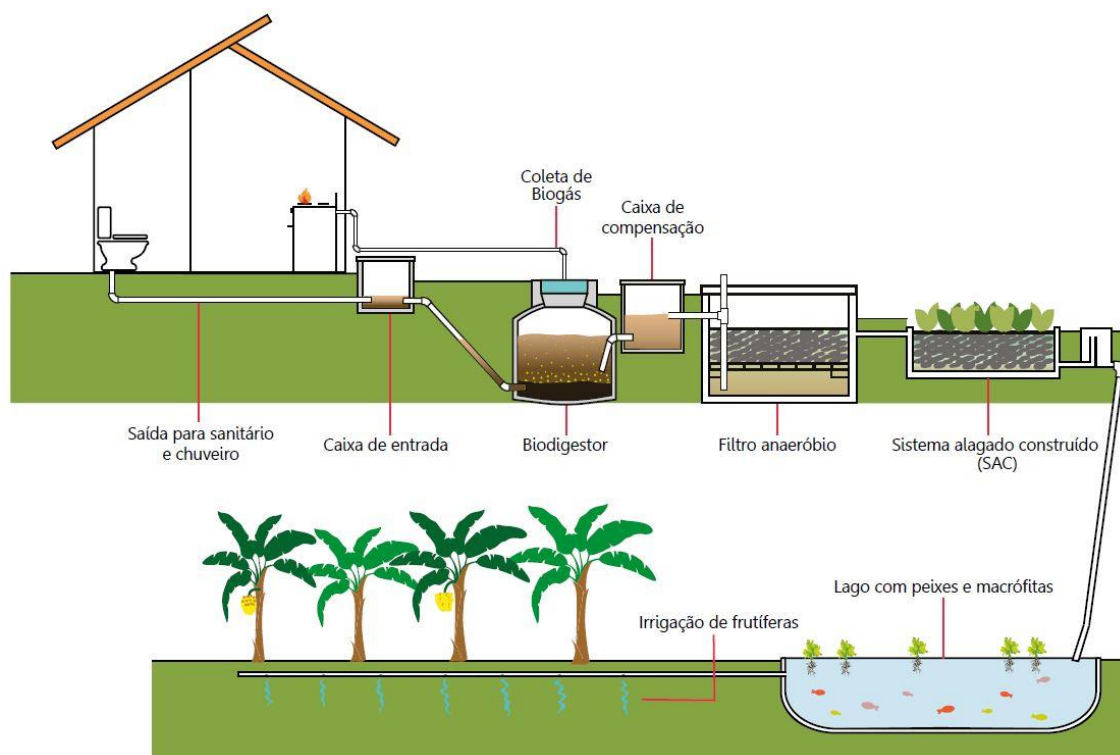
2.1. Biosistema Integrado (BSI)

Tecnologia alvo desse estudo, O BSI pode ser entendido como um sistema através do qual se procura a maximização das variáveis do desenvolvimento sustentável aplicando métodos e técnicas que eliminem os resíduos produzidos em determinado processo produtivo, transformando-os em matérias primas úteis em outros processos. Neste método, há a integração de vários métodos de tratamento de esgoto, a fim de cumprir um ciclo de tratamento de todas as etapas do esgoto, desde o tratamento primário até o reaproveitamento do biogás. Durante o processo, o tratamento é integrado às atividades locais através do reaproveitamento de potencial energético do esgoto. (TONETTI, *et al.*, 2018).

O Biosistema Integrado padrão é iniciado por um biodigestor, onde acontece a digestão anaeróbia do material orgânico. Seguindo o tratamento, o esgoto pode continuar sendo digerido por micro-organismos anaeróbios através de um filtro anaeróbio e, posteriormente, seguir para Sistemas Alagados Construídos, onde parte dos nutrientes presentes no esgoto são absorvida pelas plantas e outra parte evaporada para o ambiente através da transpiração das plantas. (TONETTI, *et al.*, 2018).

Onde houver espaço disponível, o esgoto tratado pelo BSI pode ser integrado a sistemas produtivos como um tanque de algas, peixes e plantas aquáticas (ou macrófitas), cuja construção é opcional, mas são responsáveis pela depuração final do esgoto e a produção de peixes e algas/plantas aquáticas. O esgoto que sai destas lagoas pode ser utilizado para fertirrigação de árvores frutíferas (pomares) ou outras culturas. Após mais de 24 horas no biodigestor e no filtro anaeróbio, o esgoto integrado a sistemas de tratamento com lagoas de algas, peixes e/ou macrófitas, a remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), chega a mais de 90%. (TONETTI, *et al.*, 2018).

Figura 1: Esquema do Biossistema Integrado



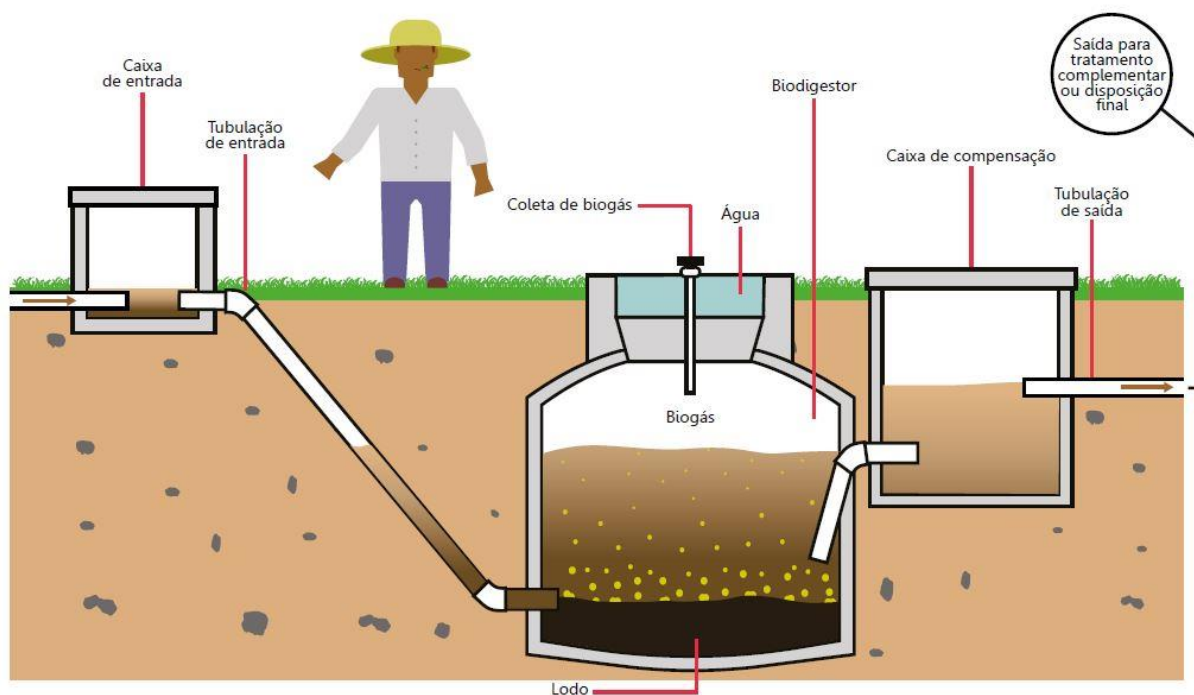
Fonte: Tonetti, *et al.*, 2018.

A figura 1, que esquematiza o fluxo no BSI, mostra de forma simplificada o processo sugerido nesta pesquisa, porém em escala unifamiliar.

2.2 Biodigestor

O biodigestor consiste em uma câmara fechada onde acontece a digestão anaeróbia da matéria orgânica (na ausência de oxigênio) e por um gasômetro que armazena o biogás produzido. O biogás pode ser aproveitado como gás de cozinha, por exemplo, utilizando-se uma tubulação instalada na parte superior do gasômetro. É importante, neste tipo de tecnologia, garantir que o reservatório e a válvula instalada na tampa do biodigestor para controle de gases, possuam vedação suficiente para não permitir vazamento de biogás. Após passar por esse tratamento, o esgoto deve ser encaminhado a outro tipo de tecnologia de tratamento complementar (TONETTI, *et al.*, 2018).

Figura 2: Esquema do Biodigestor



Fonte: Tonetti, *et al.*, 2018.

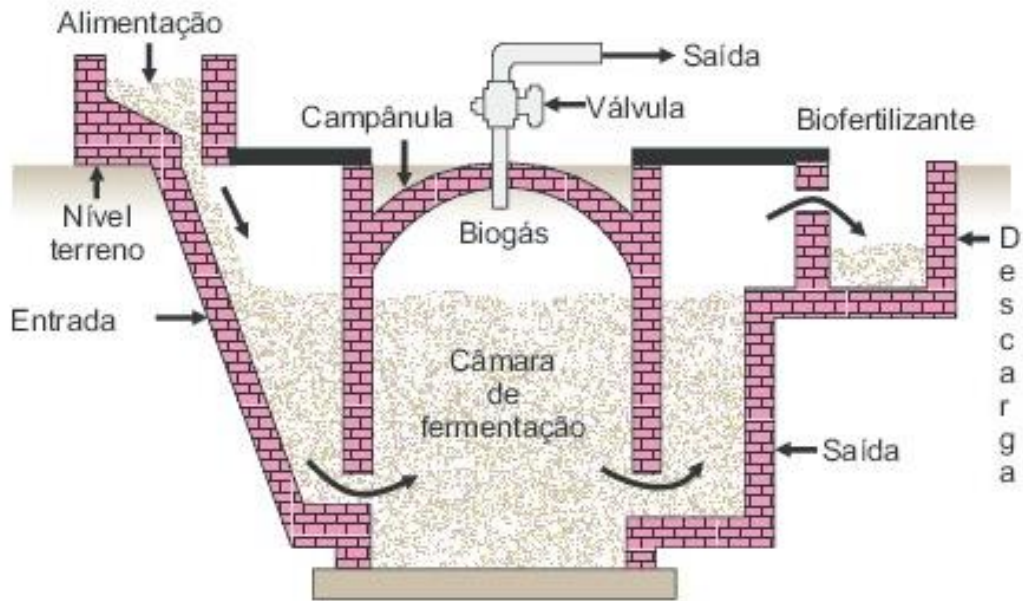
A representação do biodigestor, na figura 2, demonstra como outros importantes substratos podem ser reaproveitados, como o biogás, para além de exclusivamente o tratamento.

Dentre os diversos modelos de biodigestores existentes, pode-se destacar o “chinês” que é de alvenaria de tijolos e tampa côncava, o modelo “índiano” que distingue-se por possuir uma campânula como gasômetro, o modelo “canadense” que consiste em uma lagoa coberta por uma lona, e, até mesmo, biodigestores pré-fabricados.

O biodigestor modelo chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, com teto impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre decompressão (BENINCASA *et al.*, 1990).

Um modelo de biodigestor do tipo “chinês” está representado na Figura 3.

Figura 3: Biodigestor modelo “chinês”.

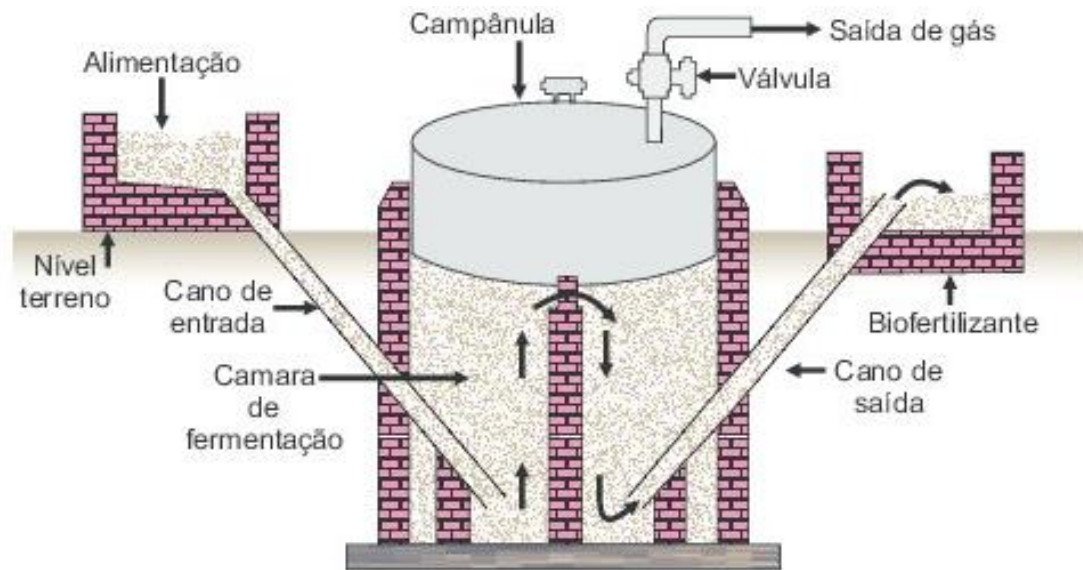


Fonte: Fonseca *et al.* (2009).

O modelo Indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantém a pressão em seu interior constante. Esse modelo de biodigestor apresenta fácil construção, porém o gasômetro de metal pode encarecer o custo final e inviabilizar o projeto de instalação dele. O resíduo utilizado para alimentar o biodigestor Indiano, deve apresentar uma concentração de ST (sólidos totais) não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material (DEGANUTTI *et. al*, 2002).

Um modelo de biodigestor, do tipo “indiano”, está representado a seguir, na Figura 4.

Figura 4: Biodigestor modelo “indiano”.

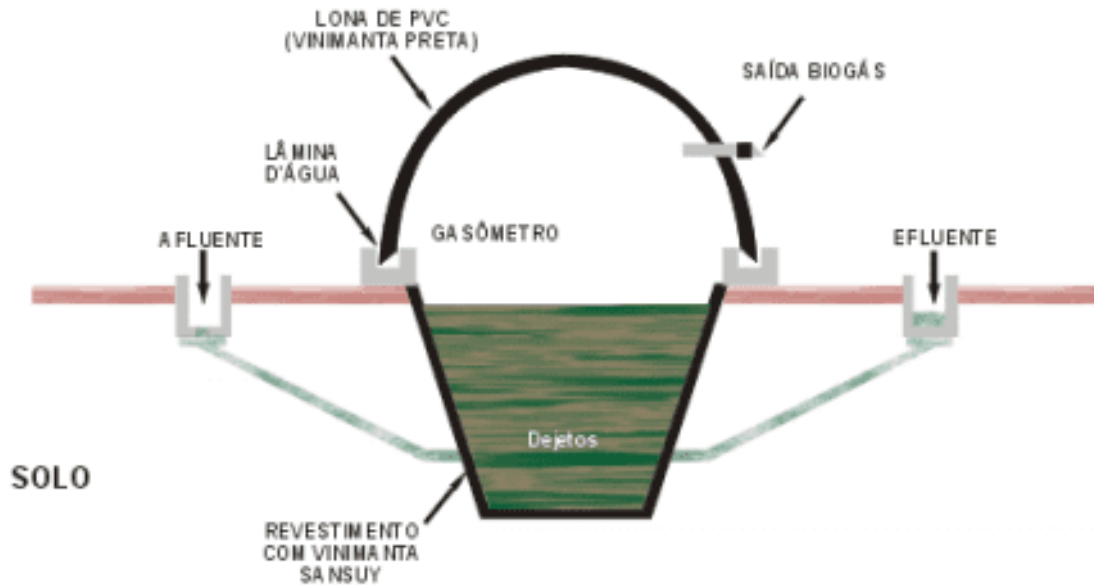


Fonte: Fonseca *et al.* (2009).

O modelo do tipo Canadense é do tipo horizontal, onde geralmente a profundidade é menor que a largura, com o intuito de expor o substrato ao sol e, conseqüentemente, aumentar a produção de biogás. No processo de produção de biogás, a cúpula de material plástico maleável infla, e o biogás se acumula sob esta superfície, sendo possível, em seguida, enviar o biogás para um gasômetro separado para controlar melhor o processo.

Atualmente, esse tipo de biodigestor é o mais difundido no Brasil e no mundo, por ser construído basicamente de material plástico e, conseqüentemente, possuir uma construção bastante simplificada. A Figura 5 representa o modelo de um biodigestor “canadense”.

Figura 5: Biodigestor modelo “canadense”.



Fonte: Oliver *et al.*, 2008

Independente do modelo, o intuito desta tecnologia é o reaproveitamento dos gases provenientes da degradação anaeróbica da matéria orgânica do esgoto, como o metano, gerados após mais de 24 horas no reservatório.

2.3 Leito de Secagem

São unidades de tratamento, com o intuito de secar o lodo gerado nos digestores, geralmente feita de alvenaria em formato retangular. Costumam ser compostos de três partes principais: tanque de armazenamento, camada drenante e cobertura. O tanque de armazenamento é uma unidade de recepção do lodo, geralmente de forma retangular e que armazena o lodo por tempo suficiente para que ele passe pela camada drenante, geralmente é feito de tijolos espaçados e separados por juntas de areia. A camada drenante possui: camada suporte, que serve, principalmente, para facilitar a remoção do lodo seco e evitar a mistura do lodo com a areia da camada filtrante; camada filtrante composta por camada de pedras de diferentes granulometrias dispostas com as de maior granulometria nas camadas superiores, que tem a finalidade de reter o lodo e permitir que a água percole pelo leito; camada drenante

constituída de canalizações dispostas abaixo do meio filtrante para escoar o líquido proveniente do lodo e escoá-lo.

O leito de secagem pode ser coberto ou não, mas em países tropicais a cobertura não se justifica, haja vista que a chuva não afeta a secagem. Em países que nevam, a cobertura costuma ser feita por telhas translúcidas, a fim de que o leito funcione similar a uma estufa.

O lodo em condições normais de secagem poderá ser removido do leito de secagem depois de um período de 12 a 20 dias, quando a umidade atinge valores de 70 a 60%. Assim, o ciclo de operação (descarga, secagem, e retirada do lodo do leito) poderá durar cerca de 18 a 25 dias, de acordo com as condições climáticas. (JORDÃO E PESSOA, 2014)

2.4 Biogás

Um dos subprodutos gerados pelo processo anaeróbio dentro do biodigestor é o biogás, que pode ser reaproveitado como energia térmica ou energia elétrica, desde que haja tratamento prévio. A maior necessidade da adoção de um sistema de purificação se deve à presença do H₂S (ácido sulfídrico) presente no biogás. A remoção pode ser feita por técnicas diversas de dessulfuração, como adsorção, microaeração, percolação em limalha de ferro ou, se não houver a intenção de aproveitamento, a combustão direta em queimadores. A comparação entre a adsorção e a microaeração está resumida na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação das técnicas de remoção de H₂S do biogás em ETEs anaeróbias.

	Tecnologia	
	Adsorção	Microaeração
Implantação	++	+++
Operação/ manutenção	+ (a)	+++
Requisitos de energia	+++	++
Eficiência de remoção de H ₂ S	+++	++
Remoção Seletiva de H ₂ S	+++	++
Simplicidade Operacional	+++	+
Legenda: +++ muito vantajoso ++ vantajoso + pouco vantajoso (a) elevados custos de operação em manutenção se o carvão ativado for utilizado como adsorvente.		

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de ABES, 2021.

A umidade também deve ser removida do biogás para evitar danos aos componentes do sistema de aproveitamento energético (corrosão devido à formação de ácidos pela presença de CO₂ e H₂S em um ambiente úmido), bem como para atender às exigências das etapas de tratamento subsequentes. A remoção de umidade do biogás pode ocorrer através de processos de secagem, como condensação, absorção e adsorção. (ABES,2021)

A Tabela 2, faz a comparação entre as técnicas de remoção de umidade do biogás.

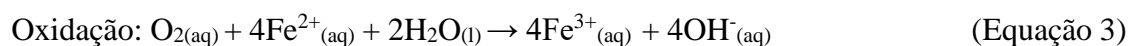
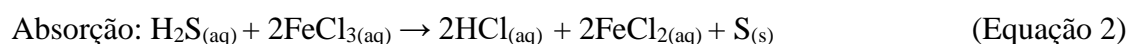
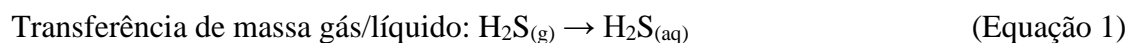
Tabela 2 - Tecnologias para remoção de umidade do biogás em ETEs com reatores anaeróbios.

	Tecnologia		
	Condensação	Absorção	Adsorção
Implantação	++	+	+++
Operação/ manutenção	++	+	++
Requisitos de energia	+	++	+++
Legenda: +++ muito vantajoso ++ vantajoso + pouco vantajoso			

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de ABES, 2021.

Outra técnica eficaz de remoção do H₂S, segundo GENDEL (2009), é a utilização de soluções redox, compostas principalmente por Fe(III) e Fe(II), como adsorvente químico do ácido sulfídrico. Neste sistema, é utilizada uma solução oxidante de Fe(III) capaz de fazer uma oxidação do H₂S a enxofre elementar, que pode ser removido por filtração ou gravidade

Na reação com o H₂S incorporado à fase aquosa (Equação 1), a solução de Fe(III) é reduzida a Fe(II) (Equação 2) que, por sua vez, pode ser facilmente oxidado e regenerado no sistema (Equação 3). A oxidação pode ser realizada através do contato direto da solução com o gás atmosférico (FRARE et. al, 2009) ou então, pela utilização de uma pilha eletrolítica, onde se obtém o gás hidrogênio como coproduto.



Dentre as vantagens da degradação do H₂S por cloreto férrico, podem ser citadas:

- (i) Elevada eficiência de remoção de H₂S;
- (ii) Seletividade na remoção do H₂S, evitando-se gasto desnecessário de reagentes;
- (iii) As condições ambientes são favoráveis ao processo;
- (iv) A solução utilizada é facilmente regenerada;
- (v) A absorção química do H₂S gera o enxofre elementar, produto estável, de fácil comercialização e que pode ser disposto em aterro industrial com menor potencial poluente (HORIKAWA *et al.*, 2004; SOUZA, 2010).
- (vi) Para este processo, pode ser utilizada limalha de ferro, encontrada facilmente em mercados na forma de lã de aço ou esponja de aço.

Nas situações em que o aproveitamento energético do biogás não é uma opção técnica e economicamente atrativa, este deve ser encaminhado para tratamento por combustão direta em queimadores. A queima do biogás é importante no gerenciamento de emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa), uma vez que minimiza as emissões de CH₄ para a atmosfera. Complementarmente, também reduz a emissão de gases odorantes e corrosivos, notadamente o H₂S, salvaguardando as infraestruturas da ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) e a saúde

ocupacional de operadores, já que esses gases são também irritantes e tóxicos aos seres humanos. (ABES,2021)

Sendo o metano o principal componente do biogás, o poder calorífico do fluido pode variar de 5.000 a 7.000 Kcal/m³. No entanto, este valor pode chegar a 12.000 Kcal/m³ se todo gás carbônico for removido da mistura (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Na Tabela 3 a seguir, faz-se uma equivalência entre 1 m³ de biogás e os principais combustíveis utilizados.

Tabela 3 – Equivalência do biogás com outros combustíveis

1 m³ de biogás gerado equivale a:
0,55L de óleo diesel
0,57L de querosene
0,61L de gasolina
0,79L de álcool combustível
0,45kg de gás liquefeito
1,428 KWh de energia elétrica

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de DEGANUTTI, 2002.

2.5 Canteiro Cultivado

Um bom método, para dispor as águas de pós-tratamento, é promover a construção de um canteiro cultivado. Dessa forma, se cumpre os preceitos básicos dos Biosistemas Integrados, que são a utilização total do esgoto e seus subprodutos, gerando um ciclo fechado de tratamento.

Para a construção do canteiro cultivado, deve-se atentar ao fato de que, apesar da alta carga de remoção de DBO, não deve ser cultivado, nesse local, vegetais e hortaliças que terão seus frutos irrigados com o esgoto tratado e consumidas em seguida. O cultivo de árvores frutíferas se mostra como boa opção para compor a canteiro cultivado, pois não só permite o consumo completo da água tratada, como a geração de alimentos para a comunidade.

Nesse local, também se pode adubar o solo com biofertilizantes feitos a partir do lodo proveniente do leito de secagem e, que podem ser produzidos, em uma cooperativa local.

2.6 Sistemas Alagados Construídos (SAC)

Os sistemas alagados construídos (SAC), também conhecidos como zonas de raízes ou *wetlands* (nomenclatura internacional), são valas com paredes e fundo impermeabilizados, similares a piscinas, abertos e que permitem a inundação com esgoto a ser tratado. São reservatórios abertos com profundidade inferior a 1,0 metro e dispõem, na sua composição, de plantas aquáticas ou macrófitas, que removem os poluentes naturalmente e fixam microrganismos digestores de matéria orgânica. As “*Wetlands*” normalmente possuem areia, brita, ou outros materiais que ajudem na fixação e crescimento de plantas e microrganismos. (TONETTI, *et al.*, 2018).

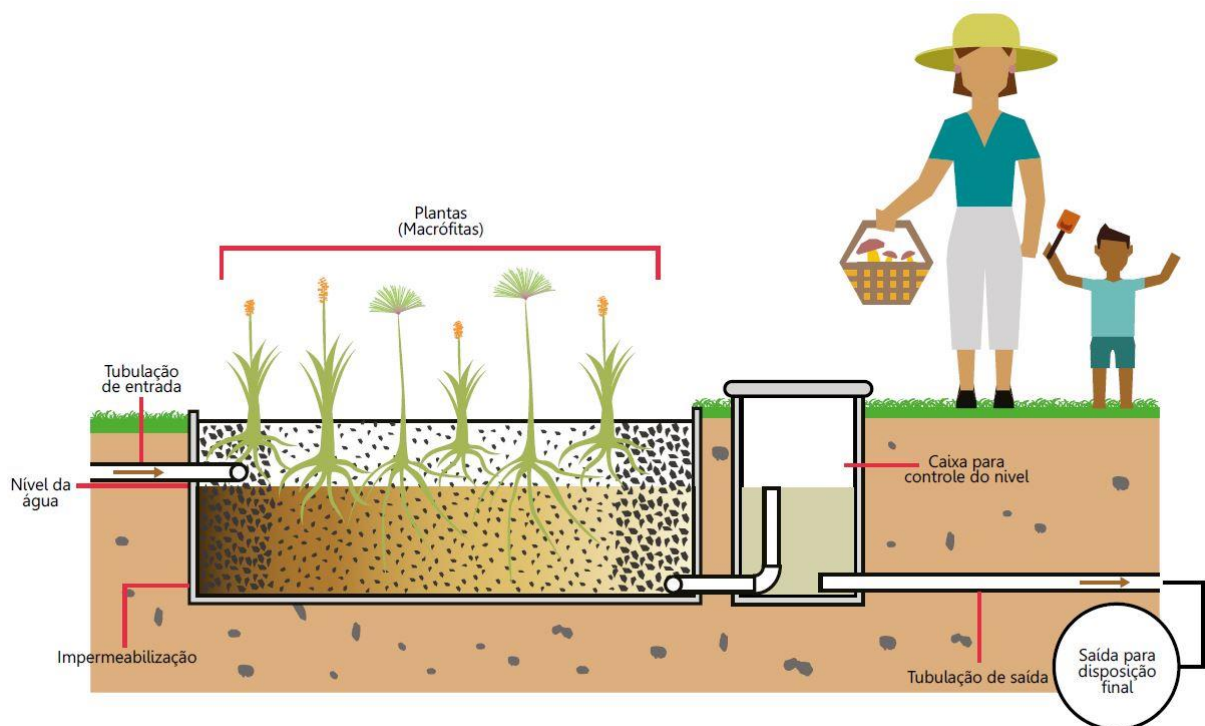
O dimensionamento do SAC se baseia principalmente no volume diário de esgoto a ser tratado e, também, na qualidade do esgoto. Ele deve ter uma área média de 2 m² por pessoa e uma profundidade entre 0,6 e 1,0 m e o fluxo do esgoto mais comum é o subsuperficial, isto é, ocorre abaixo da superfície do material utilizado como suporte e em sentido horizontal. Nesse caso o esgoto é distribuído por tubos de PVC perfurados na superfície de entrada. Esse primeiro trecho pode ser preenchido com brita nº 3 ou 4 para evitar entupimentos. O trecho com plantas recebe o nome de zona de raízes e é onde acontece a maior parte da transformação do esgoto (remoção de nutrientes e matéria orgânica). Essa zona pode ser preenchida com brita nº 1 ou 2, mas há experiências que fazem uso de areia. Por fim, o líquido tratado é coletado no extremo oposto à entrada de esgoto. Para isso, deve-se utilizar tubos de PVC perfurados localizados no fundo da vala do SAC. Esse trecho, chamado de zona de saída, pode ser preenchido com brita nº 3 ou 4. (TONETTI, *et al.*, 2018).

No tratamento de esgoto doméstico, o SAC é uma unidade complementar, sendo precedido de tanque séptico, Biodigestor ou Reator Anaeróbio Compartimentado, que serão abordados a posteriori. Caso esse tratamento preliminar não seja feito, o sistema fica suscetível a entupimentos, o que implicaria na necessidade de remoção total do material filtrante e sua

substituição por material limpo, algo inviável para o uso prolongado do sistema. (TONETTI, *et al.*, 2018).

As espécies de plantas aquáticas escolhidas devem ser de rápido crescimento e propagação. No Brasil, as mais utilizadas são a taboa (*Thypha*), papiro (*Cyperus*), biri (*Canna*) e gramíneas como o capim Tifton (*Cynodon*). A vegetação do SAC deve ser podada periodicamente e recomenda-se no mínimo duas vezes por ano. O material podado pode ser utilizado em pilhas de compostagem. (TONETTI, *et al.*, 2018).

Figura 6: Esquema do Sistema Alagado Construído



Fonte: Tonetti, *et al.*, 2018.

A figura 6 esquematiza a importância da absorção de nutrientes, por parte das plantas, no tratamento de esgotos de forma eficiente e simples.

2.7 Casos de Aplicação

A aplicação de Biosistemas Integrados já foi feita em diversos locais do país, contemplando números variados de pessoas atendidas e instaladas em áreas de diferentes características. Alguns projetos a serem destacados são o da Comunidade do Vale Encantado e

os das comunidades de Petrópolis, ambos no Rio de Janeiro, e da comunidade da Vila Dordeoni, no Espírito Santo.

Os moradores do Vale Encantado, uma comunidade no Alto da Boa Vista, na cidade do Rio de Janeiro, resolveram tratar o seu esgoto de forma ecológica e foram em busca de tecnologias aplicadas em outras situações semelhantes. O objetivo foi o de utilizar o esgoto e resíduos orgânicos como insumo de modo a fechar os ciclos, gerando adubo orgânico que irriga a mata e energia limpa para o fogão. Biossistemas de tratamento que utilizam biodigestores, foram construídos em duas etapas. O primeiro sistema aproveita os resíduos da cozinha que são conduzidos para um biodigestor de metal coberto por uma tampa de fibra de vidro. O gás que sai da decomposição dos resíduos é conduzido por tubulação para botijões de gás a ser usado na própria cozinha. Por baixo, a água sai com excesso de nutrientes descendo para áreas vegetadas, que são adubadas naturalmente pelo biofertilizante que tem nutrientes orgânicos. Esse biodigestor teve o apoio da “*Solar Cities Solutions*”, uma ONG educativa que atua levando tecnologia para gerar energia limpa e ao mesmo tempo gerar fertilizante orgânico para comunidades de todo o mundo. O segundo é um sistema de biodigestor chinês, que na década de 1970 já tinha mais de 7 milhões funcionando na China. Essa tecnologia foi aprimorada. O biodigestor, mostrado na Figura 7, é feito em alvenaria e o efluente gerado entra numa zona de raízes que absorve o excesso de nutrientes e transpira a água por meio das folhas. Esse biossistema teve o apoio da academia no seu desenvolvimento e implantação (OICS, 2021).

Figura 7: Biossistema Integrado do Vale Encantado/RJ.



Fonte: RIOONWATCH, 2021.

Em Petrópolis, a empresa de águas e esgotos da cidade, “Águas do Imperador”, inovou ao introduzir tratamento biológico de esgotos em micro-estações de tratamento em dez comunidades: Quarteirão Brasileiro, Vila Rica, Córrego Grande, Vila Ipanema, Nogueira, Siméria, Bonfim, Independência, Morro do Gavião e Caxambu. A cidade possui um relevo muito acidentado, o que impossibilita coletar e conduzir o esgoto para estações de tratamento de esgoto distantes. A estratégia adotada foi de instalar micro-estações biológicas para garantir a qualidade das águas, com inúmeros benefícios para a comunidade local e para as bacias hidrográficas que abastecem a cidade de águas. D. Pedro II deu nome à cidade de Petrópolis, onde passava os verões por ser uma região serrana com temperaturas mais amenas. Como acontece na maioria das cidades brasileiras, a cidade cresceu sem planejamento para habitação de baixa renda próxima aos polos geradores de empregos. Com isso a população mais carente ocupa localidades em encostas íngremes e em áreas à beira-rio (OICS, 2021). Uma dessas unidades, está demonstrada na Figura 8.

Figura 8: Biossistema Integrado instalado em Petrópolis/RJ.

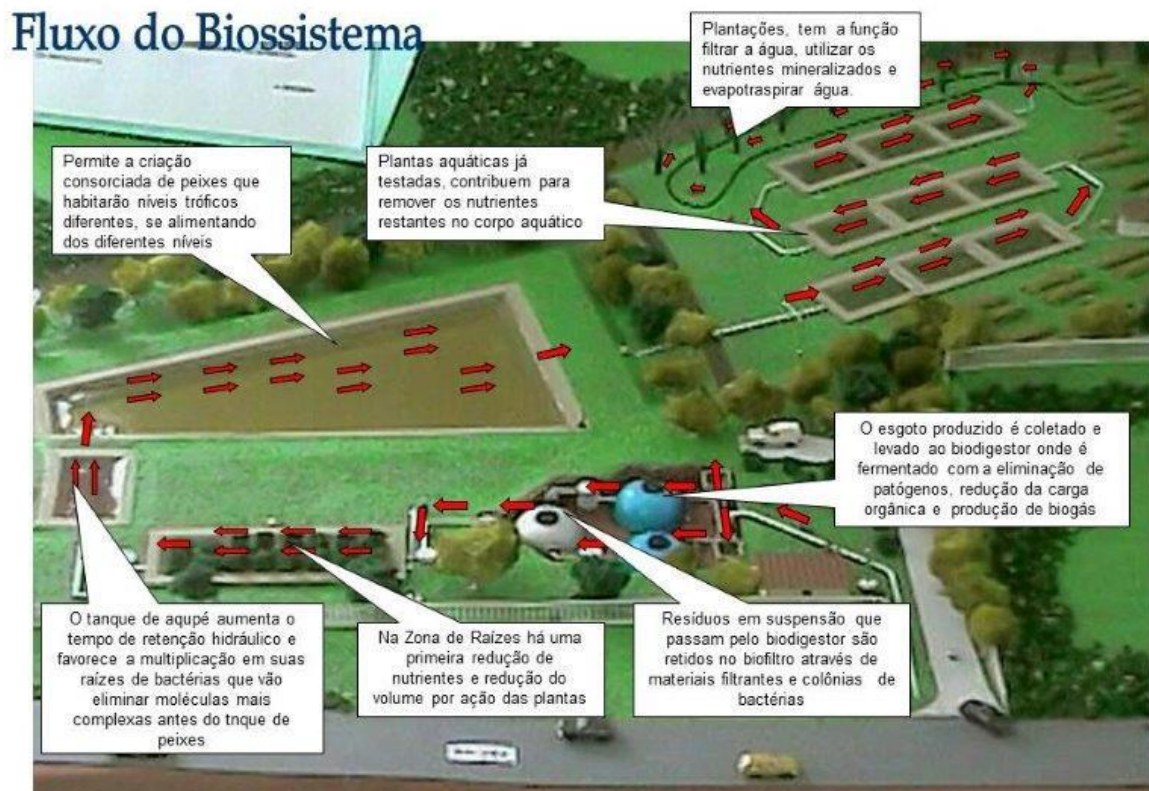


Fonte: OICS, 2021.

O BSI instalado na Vila Dordeoni no Alto Caxixe, bairro da cidade de Venda Nova do Imigrante no Espírito Santo, cujo fluxograma de processo está representado na Figura 9, é um dos exemplos focados em economia circular que transformam resíduos que impactam o

ambiente e a saúde das pessoas em insumos, com o projeto de soluções baseadas na natureza. O biossistema foi instalado em 2008 para atender inicialmente os 500 moradores da vila, com capacidade para chegar a 1200 pessoas. Nesse caso em região periurbana, o sistema ocupou uma área de 3.000 m², e foi consorciado com as águas que são usadas na despolpa do café produzido na região. Essa água residual foi usada para dar início ao funcionamento dos biodigestores, que utilizam as águas servidas das residências. O sistema visou a melhoria da qualidade da água, geração de biogás, reduzir doenças causadas pela poluição das águas e do ambiente, criação de peixes, cultivo de mudas ornamentais e produção de adubo orgânico para uso nas lavouras locais. A comunidade da Vila Dordeoni era uma comunidade agrícola sem sistema de esgoto, que lançava o esgoto no córrego do Caxixe, impactando a qualidade das águas e saúde dos habitantes, especialmente por conta da verminose. A Secretaria de Estado de Agricultura contratou a ONG OIA (O Instituto Ambiental), em parceria institutos internacionais para desenvolver um projeto ecológico, como já havia feito em outros locais e países (OICS, 2021)

Figura 9: Fluxo do Biossistema Integrado instalado em Vila Dordeoni/ES.



Fonte: OICS, 2021.

3. METODOLOGIA

3.1 Instrumento de Coleta de Dados

A partir dos métodos descentralizados de tratamentos de esgotos domésticos estudados por Mattos (2021), bem como sua escolha pela utilização de um Biosistema Integrados (BSI), foi possível conceber um layout que atenda a pequenas comunidades.

Tomando como base a necessidade de esgoto tratado e o tamanho populacional das comunidades urbanas do município de Maricá/RJ, disponibilizadas por órgãos municipais de Maricá, foi possível padronizar um sistema que possa atender a todas as comunidades estudadas, em especial a “Comunidade da Estação”, utilizada como estudo de caso desta pesquisa.

A Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos e a Companhia de Saneamento de Maricá (SANEMAR) foram preponderantes no fornecimento de informações que elucidaram este estudo.

3.2 Análise e Tratamento de Dados

O primeiro passo foi considerar as informações descritas por Mattos (2021) e utilizá-las para confecção desta pesquisa. Algumas premissas foram recalculadas ou aperfeiçoadas para melhor atender o estudo de caso deste projeto.

Feito isso, foi preciso obter informações a respeito da situação do tratamento de esgotos em Maricá/RJ, no que diz respeito ao percentual de tratamento no município. As informações utilizadas foram disponibilizadas pela SANEMAR. Através da Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos do município de Maricá/RJ, foi possível saber a população média de cada comunidade cadastrada e o número total de pessoas que poderiam ser atendidas por soluções de esgotamento sanitário, escolhendo-se pelas características disponíveis, a “Comunidade da Estação”.

De posse das informações supracitadas, foi possível conceber um Biosistema Integrado para a comunidade em questão, bem como dimensionar um layout que atenda às demandas de tratamento de esgoto, ao mesmo tempo que gera alimentos para a comunidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Tratamento Preliminar

Importante considerar, precedendo o biodigestor previamente dimensionado, uma caixa de areia que tem por função, separar por decantação areias e outros materiais pesados suspensos no fluxo de água.

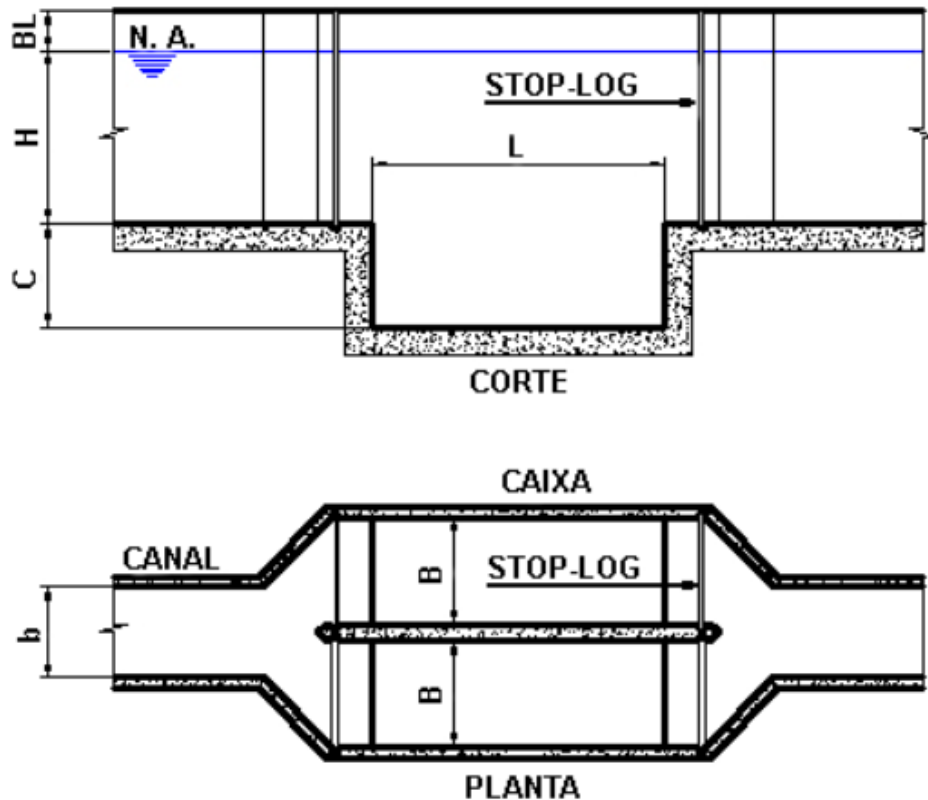
Geralmente, esses dispositivos possuem duas finalidades principais: Proteção de bombas, válvulas e acessórios contra a abrasão e evitar o entupimento e assoreamento das unidades de tratamento. Como este trabalho trata de um sistema coletivo de tratamento, mas sem a utilização de mecanização, será adotada a caixa de areia pela questão do entupimento e assoreamento.

Zattoni (2008), propõe um dimensionamento de caixa de areia a partir dos seguintes parâmetros prévios:

- Tamanho mínimo das partículas de areia: $\varnothing = 0,2\text{mm}$.
- Velocidade de sedimentação da areia: $V = 0,02 \text{ m/s}$ – velocidade de deposição na vertical;
- Velocidade máxima do fluxo na caixa de areia – para deposição: $V1 < 0,30 \text{ m/s}$;
- Velocidade mínima do fluxo no canal de aproximação – para não haver deposição: $V2 > 0,60 \text{ m/s}$
- Divisão da caixa de areia em duas células, cada uma delas deve operar separadamente enquanto a outra se encontra em manutenção e limpeza.
- A velocidade mínima no canal deve garantir que no canal não se tenha deposições e a velocidade máxima na caixa, em oposição, visa garantir a deposição.

Um arranjo típico de uma caixa de areia, com a marcação dos parâmetros notáveis para seu dimensionamento, está representado na figura 10.

Figura 10: Arranjo típico de uma caixa de areia.



Fonte: ZATTONI (2008).

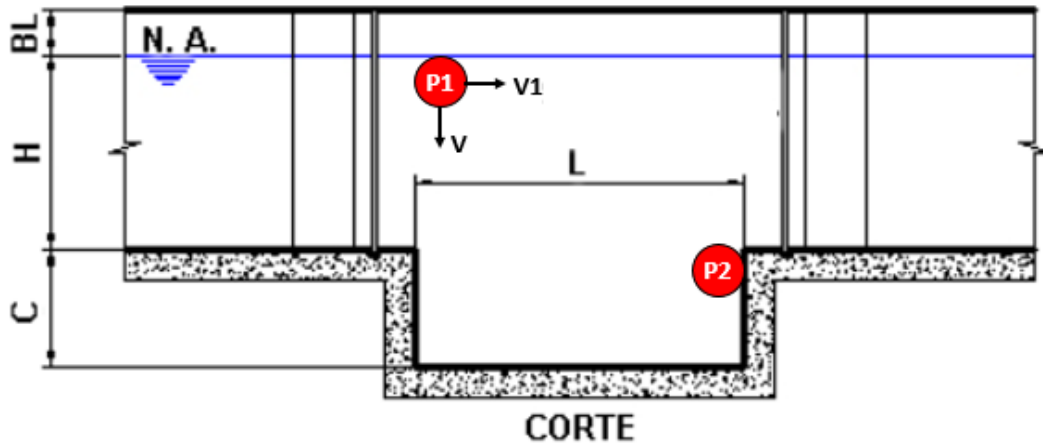
Para o cálculo do comprimento mínimo da caixa de areia, será considerado que uma partícula no ponto 1 (P1) deverá atingir o ponto 2 (P2) decorridos t segundos. Ponto 1 seria a partícula na superfície no início da caixa de areia e, o ponto 2, é abaixo da cota do canal, ao término da caixa de areia. Portanto, decorridos t segundos, podemos afirmar que:

$$t = H / V \quad - \quad \text{tempo de deslocamento na vertical} \quad (\text{Equação 4})$$

$$t = L / V1 \quad - \quad \text{tempo de deslocamento na horizontal} \quad (\text{Equação 5})$$

$$(I) = (II) \rightarrow L / V1 = H / V \rightarrow H = L \times V / V1 \quad (\text{Equação 6})$$

Figura 11: Localização dos pontos P1 e P2 na caixa de areia.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de ZATTONI (2008).

Com a vazão Q , será definida a área $S = B \times H$. Da equação da continuidade podemos escrever:

$$Q = V \times S \rightarrow Q = V \times S \rightarrow Q = V \times B \times H \rightarrow B \times H = Q/V \quad (\text{Equação 7})$$

Conhecida a área $S = B \times H$, decide-se valores convenientes para B e H , adotando-se um coeficiente em torno de 1,5.

Inicialmente, é necessário definir a máxima vazão do sistema, que pode ser dada pela equação 8:

$$Q = \frac{C \times P_f \times q_f \times K_1 \times K_2}{86400} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

- P_f = População de final de plano (hab);
- q_f = Per capita final (L/hab.dia);
- K_1 = Coeficiente de máxima vazão diária;
- K_2 = Coeficiente de máxima vazão horária;
- C = Coeficiente de retorno;

Portanto, considerando 500 habitantes, o consumo per-capita de 100L/hab x dia, coeficiente de máxima vazão diária (K1) igual a 1,2, coeficiente de máxima vazão horária (K2) igual a 1,5 e coeficiente de retorno igual a 0,8, temos que:

$$Q = \frac{0,8 \times 500 \times 100 \times 1,2 \times 1,5}{86400}$$

$$Q = 0,84\text{L/s ou } 0,00084\text{m}^3/\text{s}$$

Ao dimensionar o canal de aproximação com $V = 0,6 \text{ m/s}$, tem-se que:

$$Q = V \times S \rightarrow S = Q / V$$

$$S = 0,00084 \times 1,4 / 0,6$$

$$S = 0,00196\text{m}^2$$

$$\text{Se adotarmos } H = 0,04\text{m} \rightarrow b = 0,05\text{m}$$

Pela equação (III), pode-se dimensionar o comprimento “L” da caixa de areia:

$$H = L \cdot V / V1 \rightarrow 0,04 = L \times 0,02 / 0,3$$

$$L = 0,60\text{m}$$

Entretanto, já prevendo um tempo maior para limpeza do canal e buscando manter as larguras como as de cálculo para não interferir nas velocidades, iremos majorar o comprimento do canal de forma considerável. Logo, adotaremos $L = 2,4\text{m}$.

Pela equação (IV), calcula-se o canal da caixa de areia:

$$B \times H = Q/V \rightarrow B \times H = 0,00084 / 0,3 \rightarrow B \times H = 0,0028$$

$$\text{Como } H = 0,04\text{m} \rightarrow B = 0,0028 / 0,04$$

$$B = 0,07\text{m}$$

O valor de BL, borda livre, pode ser adotado entre 0,10 e 0,25m, adotaremos 0,10m.

Para dimensionar a caixa de retenção de areia, é necessário calcular inicialmente o volume de retenção diário de areia. Para isso, será adotado que a cada 1m^3 de esgoto, tem-se um volume de 0,075ml de sólidos em suspensão, dentre eles, areia.

$$S_s = 0,075 \text{ ml} / \text{m}^3$$

$$S_s = 0,000075 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

$$\text{VRD} = S_s \times \text{Vol. diário}$$

$$\text{VRD} = 0,000075 \times 50$$

$$\text{VRD} = 0,00375\text{m}^3/\text{dia}$$

Para o cálculo do volume da caixa de retenção de areia, utilizaremos autonomia de, pelo menos, 15 dias de detenção de material, haja vista que a operacionalização deve ser a mínima possível. Portanto:

$$VCR = 0,00375 \times 15 = 0,056\text{m}^3$$

$$VCR = B \times L \times C$$

Adotando-se um fator de segurança de 50%

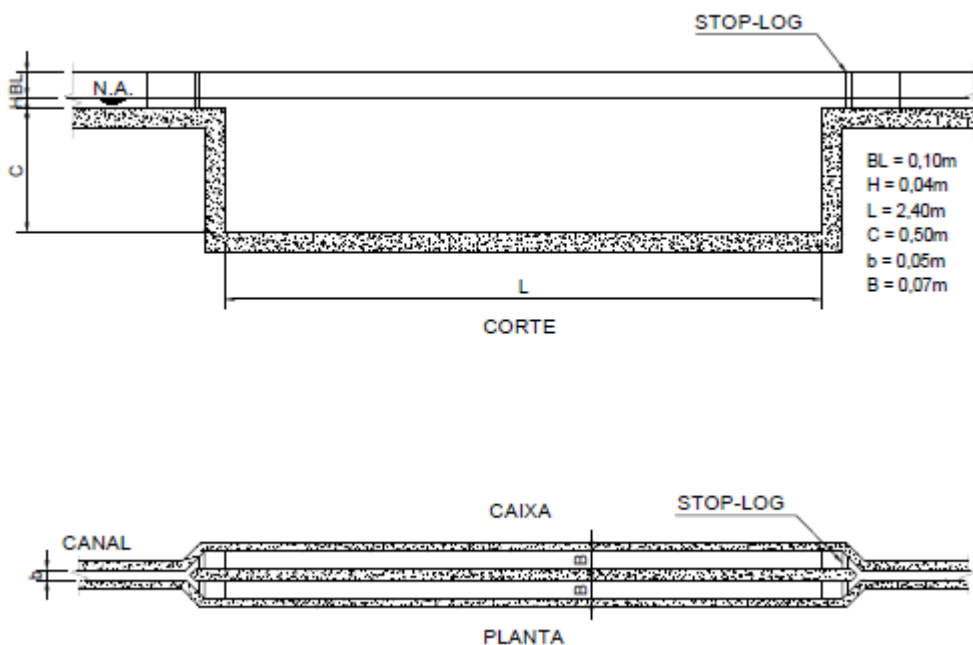
$$C = VCR \times s / (B \times L)$$

$$C = 0,056 \times 1,5 / (0,07 \times 2,4\text{m})$$

$$C = 0,5\text{m}$$

De posse do dimensionamento, foi possível representar os valores calculados na Figura 12.

Figura 12: Representação da caixa de areia a partir das dimensões projetadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Outro dispositivo que poderia ser utilizado após o canal de entrada seria a “Calha Parshall”, cujo objetivo principal é a medição da vazão de entrada de efluentes no biodigestor. Além disso, poderia atuar equalizando o efluente de entrada, junto a uma caixa de compensação.

De acordo com a NBR 12209, para ETE com vazão menor que 250L/s, podemos ter gradeamento com limpeza manual. Seria ideal dimensionar o gradeamento, mas devido à pequena vazão e simplicidade do BSI desta pesquisa, será adotada uma etapa de gradeamento simples, utilizando grade de retenção com espaçamento de 20mm.

4.2. Concepção do Biodigestor

Mattos (2021) projetou um “Biossistema Integrado” composto por um biodigestor com leito de secagem anexo, um SAC (Sistema Alagado Construído), e um canteiro cultivado para dispor as águas tratadas nas etapas anteriores. Como todo o dimensionamento foi feito para atender uma população de 500 habitantes, o presente estudo manterá a população alvo e fará algumas intervenções no processo, seja para aumentar a eficiência de tratamento, reduzir as dimensões e diminuir os custos de implantação.

O biodigestor, foi originalmente dimensionado sob as premissas da norma NBR 7229/93; ou seja, um tanque séptico projetado, neste caso, com duas câmaras. Respeitando o disposto na referida norma, as dimensões estão resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 - Dimensões de cada compartimento do biodigestor.

DIMENSÕES DO BIODIGESTOR				
ÁREA	COMPRIMENTO ÚTIL (m)	LARGURA ÚTIL (m)	ALTURA ÚTIL (m)	ÁREA ÚTIL (m²)
Câmara I	4,65	3,00	2,80	13,95
Câmara II	2,35	3,00	2,80	7,05
Abertura entre Câmaras	-	1,40	0,30	0,42

Fonte: MATTOS, 2021.

Considerando paredes de alvenaria de 0,20m de largura devido aos revestimentos e às camadas impermeabilizantes necessárias e, também, 3,10m de altura interior devido à altura útil e abertura das câmaras calculadas, teremos as seguintes dimensões dispostas na tabela 5.

Tabela 5 – Dimensões externas do biodigestor.

DIMENSÕES EXTERNAS DO BIODIGESTOR		
LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)
3,40	7,60	3,10

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de MATTOS, 2021.

Pela ampla utilização, simplicidade construtiva e melhor visualização do biogás gerado, a laje superior do biodigestor será de material plástico, assim como é utilizado no biodigestor canadense, explicado no item 2.2 desta pesquisa.

4.3. Previsão de Biogás Gerado

Apesar da geração de biogás não ser o objeto principal do escopo deste trabalho, não se pode ignorar a necessidade de dar a destinação devida a este subproduto do tratamento de esgotos domésticos.

Duas opções serão consideradas: Onde houver espaço, dar o tratamento de remoção de umidade e Ácido Sulfídrico (H₂S) e, onde não houver, prever a combustão destes gases em queimadores para que não sejam dispersos na atmosfera.

Mattos (2021), estima que a produção unitária de biogás é de 85,6L por m³ de esgoto, o que para os 500 habitantes em questão, geram cerca de 4290L de biogás por dia. Desse volume, o H₂S ocupa cerca de 1500 ppm de esgoto, o que representa cerca de 6,44L por dia.

Outro método muito utilizado para estimar o volume de biogás gerado é fazer o dimensionamento pela quantidade de substrato. É importante ter em mente que nem sempre se buscar obter o rendimento máximo ou a decomposição total da matéria orgânica, devido ao tempo requerido para isso, uma vez que algumas substâncias se decompõem depois de muito tempo, ou nem se decompõem. Portanto, visando obter uma capacidade adequada de decomposição a um custo aceitável, é importante considerar a carga orgânica volumétrica (COV), explicitada na equação 9. A massa de matéria orgânica seca deve ser carregada no biodigestor por unidade de tempo (KALTSCHMITT; HARTMANN; HOFBAUER, 2009).

$$COV = \frac{V_B \cdot C}{V_b^{100}} \quad \text{(Equação 9)}$$

Onde:

COV – Carga orgânica volumétrica (kg/d);

V_B – Quantidade introduzida de substrato por dia (kg);

C – Concentração da matéria orgânica (m^3/d);

V_b – Volume do biodigestor (m^3).

Outro parâmetro importante a ser estabelecido é o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), que representa o tempo médio, expresso em dias (d), que o substrato permanece no biodigestor até a sua saída. A obtenção deste parâmetro se dá pela razão entre o Volume do biodigestor (V_b) e o Volume de Substrato Introduzido diariamente (V_B), conforme a Equação 10 (KLOSS, 1986).

$$TRH = \frac{V_b}{V_B} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica (d);

V_b – Volume do biodigestor (m^3);

V_B – Volume introduzido de substrato por dia (m^3/d).

A estimativa de biogás gerado pode se confirmar, ou não, a depender de diversos fatores, tais como a composição do esgoto e a temperatura. Visando a pouca operacionalização que promoverá o acúmulo do biogás, o fator econômico, a simplicidade construtiva e incerteza da quantidade de material, será utilizado neste projeto, uma cobertura de lona de PVC flexível que permitirá expandir o volume do biodigestor. Por esse motivo, é possível pensar num período de remoção do excesso de biogás a cada 15 dias, removendo cerca de $64,35m^3$ de biogás e dando a destinação possível: combustão em queimadores ou envase após remoção do Ácido sulfídrico (H_2S).

Levando em consideração o biogás gerado e comparando com a equivalência para o gás de cozinha informado na Tabela 3, pode-se estimar a quantidade de botijões de 50kg que podem ser economizadas a partir da Equação 11.

$$Bg = \frac{Eglp \times b}{50} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

Bg: Botijões gerados (kg/dia)

Eglp: Equivalência entre biogás e gás de cozinha (kg/m³)

b: biogás gerado (m³/dia)

Portanto:

$$Bg = \frac{0,45 \times 4,3}{50} = 0,0387$$

Para um mês (30 dias), têm-se que:

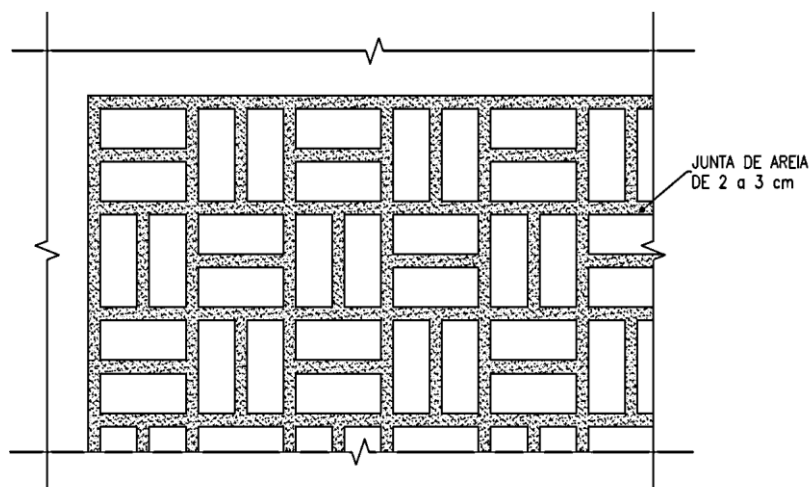
$$Bg = 0,0387 \times 30 = 1,16 \text{ botijões / mês.}$$

4.4. Concepção do Leito de Secagem

Como a área de aplicação deste trabalho é em comunidades e, por esse motivo, não ser garantida a certeza de manutenção constante de caminhões “limpa-fossa”, é necessário projetar um leito de secagem anexo que vai recolher o lodo proveniente do biodigestor para que, a cada 15 dias, seja dada destinação final ao lodo seco. Mattos (2021) estimou o lodo fresco através da NBR 7229/93 e usou os parâmetros de Jordão e Pessôa (2014) para as demais etapas do dimensionamento.

Segundo Jordão e Pessôa (2014), a camada drenante é constituída de camada suporte, meio filtrante e sistema de drenagem. A camada suporte, normalmente, é constituída de tijolos recozidos, assentados em níveis, com afastamento de 2 a 3 cm, preenchido com areia grossa, como a Figura 13 representa. O meio filtrante é constituído por camada de pedras de granulometrias diferentes e arrumadas, de modo que a camada inferior tenha granulometria maior do que a da camada superior.

Figura 13: Espaçamento e disposição dos tijolos no leito de secagem.



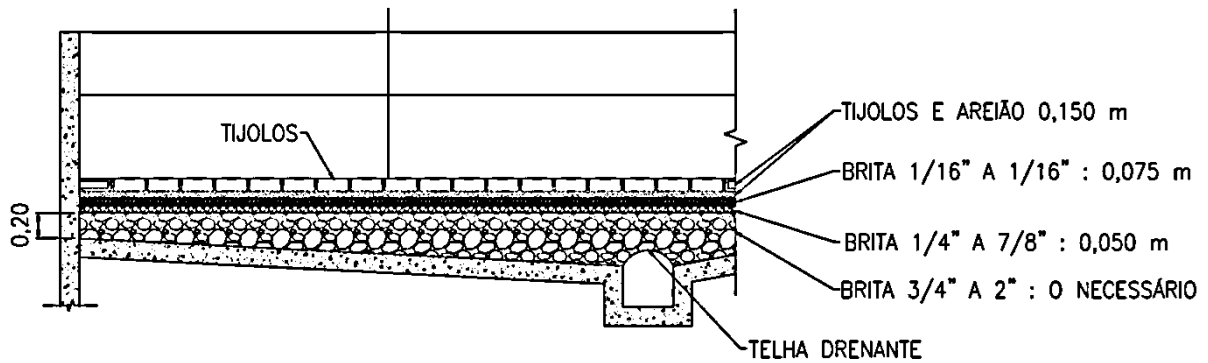
Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de JORDÃO E PESSÔA, 2014.

Ainda segundo Jordão e Pessôa (2014), normalmente o meio filtrante é constituído das seguintes camadas:

- Superior; uma camada com espessura de 7,5 a 15,0 cm, constituída de areia com o diâmetro efetivo de 0,3 a 1,2 mm e grau de uniformidade igual ou superior a 5;
- Média: assentada sob a camada de areia, constituída de três camadas de brita, sendo a inferior de pedra de mão ou pedra 4 com espessura mínima de 15 cm (somente como suporte e nivelamento); a intermediária de brita 3 e 4 com espessura de 20 a 30 cm, e a superior de brita 1 e 2, com espessura de 10 a 15 cm;
- Tijolos: sobre a camada de areia deverão ser colocados tijolos recozidos (5 x 7,5 x 15 cm) de 2 a 3 cm tomadas com areia do mesmo tipo da camada superior; a área total de drenagem das juntas não deve ser inferior a 15% da área total do leito de secagem;
- Fundo: o fundo do leito de secagem deve ser plano e impermeável, com inclinação mínima de 1% no sentido do coletor de escoamento líquido drenado;

Os leitos de secagem deverão ter uma folga (borda livre) de 10 a 25 cm, além do nível máximo atingido pelo lodo digerido, como mostra a figura 14, a seguir:

Figura 14: Disposição das camadas do leito de secagem.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de JORDÃO E PESSÔA, 2014.

Mattos (2021), previu um leito de secagem em formato de “L”, utilizando ambos os lados do biodigestor. Mantendo esta premissa, adotaremos 0,60m de altura útil para o leito, sendo 0,40m para o lodo e 0,20m para borda livre.

A NBR 7229/93 estabelece que, no processo de limpeza, seja mantido cerca de 10% do lodo dentro do tanque. Para uma população de 500 habitantes, em um período de 15 dias, considerando 1L/(hab.dia), seria gerado um volume de 7500 litros, o equivalente a 7,5m³; Ou seja, na primeira limpeza seriam retirados cerca de 6,85m³ e, nas demais, cerca de 7,43m³.

Portanto, a área útil pode ser calculada como disposto a seguir:

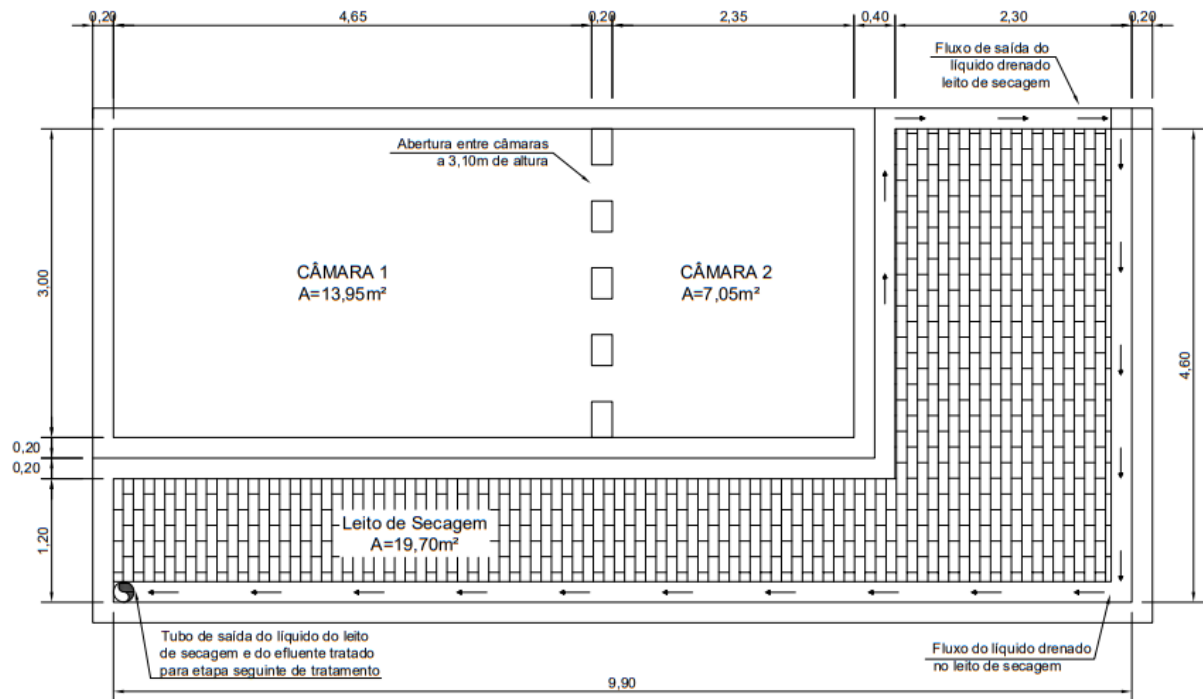
$$V_{\text{leito}} = A_{\text{útil}} \times h_{\text{útil}} \quad (\text{Equação 12})$$

$$A_{\text{útil}} = V_{\text{leito}} / h_{\text{útil}} = 7,43 / 0,40 = 18,58\text{m}^2$$

Para melhor aproveitamento do espaço, será adotado um leito de secagem em forma de “L”, utilizando um dos lados de maior dimensão e um dos lados de menor dimensão. Uma forma de fazê-lo, de forma que atenda às necessidades, seria adotar 1,20m projetado para o maior lado e mais 2,30m para o menor lado. Dessa forma, considerando o cercamento do leito de secagem com tijolos semelhantes aos da construção do tanque, a área útil seria de, aproximadamente, 19m².

A estrutura interligada biodigestor-leito de secagem está apresentada na Figura 15.

Figura 15: Estrutura biodigestor-leito de secagem.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Portanto, as dimensões finais da estrutura biodigestor-leito de secagem são de 10,3m x 5m, totalizando uma área de 51,5m².

4.5 Concepção do Sistema Alagado Construído (SAC)

Passado pelo tratamento preliminar e pelo biodigestor, o esgoto bruto já se encontra com certo nível de tratamento, mas é recomendável um pós-tratamento e, neste sentido, um Sistema Alagado Construído permite que parte dos nutrientes presentes no esgoto sejam absorvidos pelas plantas e outra parte evaporada para o ambiente através da transpiração das plantas.

Por se tratar de um reservatório impermeável de baixo nível d'água, o ponto-chave dos SAC é a área superficial disponível. Mattos (2019), leva em consideração todos os parâmetros necessários e calcula que para a implantação de um SAC na cidade de Maricá, no Rio de Janeiro, são necessários 62,28m².

Baseado na pesquisa de Martins (2008), as plantas aquáticas utilizadas serão a Taboa (*Typha angustifolia*) e o caniço (*Phragmites australis*), que configurados nesta ordem de tratamento, apresentaram 90% de remoção de DBO e 99,99% de remoção de coliformes fecais.

4.6 Conceção do Canteiro Cultivado

Após as etapas anteriores, o esgoto já apresenta remoção de DBO suficiente para ser disposto em corpos hídricos, porém como este estudo trata de pequenas comunidades, é de maior interesse que os quase 50000L de esgoto tratado sejam aproveitados no próprio terreno, cumprindo o preceito da tecnologia de Biosistemas Integrados, onde o tratamento tem caráter continuado e cíclico. O efluente tratado poderia ser usado em agricultura local, para irrigar árvores frutíferas, por exemplo, e gerar alimentos para a comunidade.

Considerando que as pequenas comunidades possam estar em terrenos íngremes e morros, deve-se considerar árvores que necessitam absorver bastante água para não permitir todo esse volume percolando no terreno.

O cálculo da necessidade hídrica de cada cultura depende de diversos fatores, tais como Evapotranspiração, Temperatura média, caracterização do solo, precipitação média da região e coeficiente de cultura.

Sobre qual cultura utilizar no canteiro, se faz necessário pesquisar a estimativa de necessidade hídrica de cada uma e, utilizando as informações citadas anteriormente, fazer a escolha das que mais necessitam de irrigação.

Carvalho, et. al (2013) estimam, em seus estudos, que na cultura do milho (*Zea mays L.*) a demanda hídrica fica em torno de 500 a 800 mm de água em seu ciclo (125 dias em média) e a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) possui demanda hídrica em torno de 1000 e 2000 mm por ciclo de produção (ciclos de 365 dias em média).

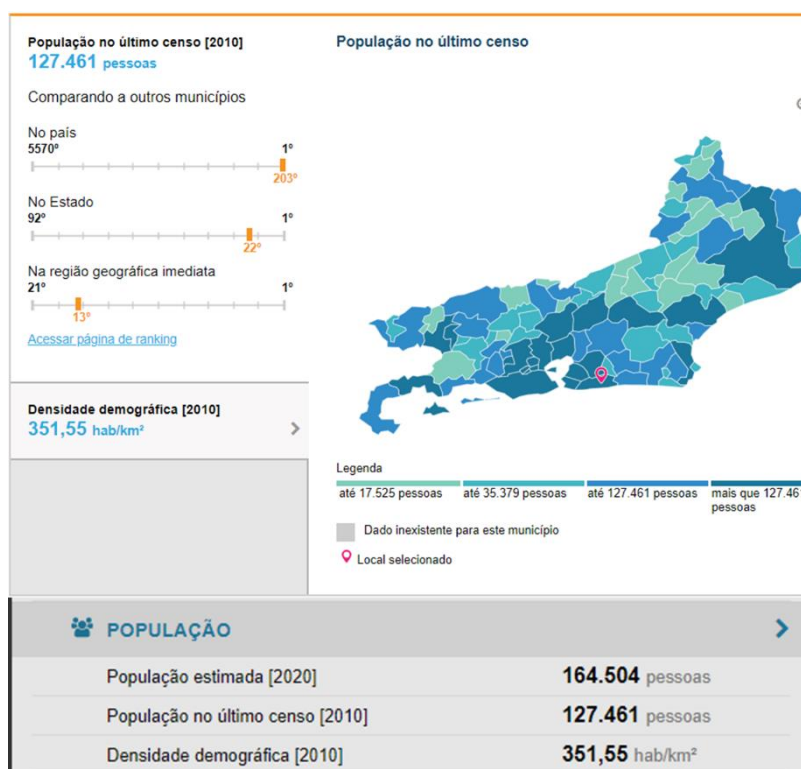
Manica (1997) estima que uma bananeira pode utilizar até 1800mm de água do crescimento até a colheita do cacho, que dura cerca de um ano.

Caso a necessidade de água não utilize toda a água de reuso disponível, é prudente construir um reservatório de armazenamento de água de reuso no local.

5. ESTUDO DE CASO

Assim como feito por Mattos (2021), o estudo de caso desta pesquisa visa a aplicação de um Biossistema Integrado em comunidades de Maricá, município do Rio de Janeiro, que faz divisa litorânea com Niterói e, segundo o IBGE, possuía 127.461 habitantes no Censo de 2010.

Figura 16: População atual e projetada para Maricá/RJ.



Fonte: IBGE, 2021.

A figura 16 mostra a estimativa feita pelo IBGE, de que a população do município para o ano de 2020 seria de, aproximadamente, 164.504 habitantes.

5.1 O esgotamento sanitário em Maricá/RJ

Devido ao constante crescimento populacional da cidade, algumas ocupações urbanas foram feitas de forma desordenada, aumentando o povoamento em áreas irregulares, sem preparo prévio para soluções coletivas de esgotamento sanitário. Diante disso, a Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos do município, trabalha na identificação e cadastramento dessas áreas. As comunidades cadastradas, até o momento, somam uma população de

aproximadamente 16 mil habitantes, algumas em áreas que receberão, futuramente, rede pública de esgotamento sanitário.

Tabela 6 – População de Maricá/RJ cadastrada por Assentamento.

ÁREA	Nº DE FAMÍLIAS	POPULAÇÃO
CAMBURI *	66	264
MARQUÊS I E II*	35	140
QUARENTINHA*	29	116
MUTIRÃO*	53	212
PRAÇA DE ITAIPUAÇU*	50	200
RUA DA CÔRTE*	12	48
MANU MANUELA*	6	24
PRAÇA DO SPAR*	15	40
RUA PERÍ - ITAOCAIA*	20	80
PRAIA DA ITAIPUAÇU*	6	24
DIVINEIA*	10	40
JARDIM NOVA METRÓPOLE*	14	80
BANANAL*	140	560
CLAM I - QUADRA 37*	40	240
CLAM II - QUADRA 38*	47	240
MORRO DO AMOR*	35	120
BECO DO DANTAS*	35	140
CUSTODIO MOREIRA - SÃO JOSÉ	42	168
EUCLIDES PAULA - SÃO JOSÉ	60	240
MONTE CASTELO	50	200
CAMBURI II	16	64
RUA DO JOÃO - INOÃ	20	80
26 DE MAIO - ITAPEBA	20	80
DOM FILIPE	1	4
VEREDA DOS PAINEIRAS - INOÃ	10	40
JACONÉ II - ESTAÇÃO	50	200
JACONÉ PRAÇA (SPU)	125	500
PARQUE NANCI	50	200
MARINE	120	480
ZACARIAS	300	1200
BAIRRO DA AMIZADE	272	806
CORDEIRINHO I	110	440
CORDEIRINHO II	60	240
BEIRA LINHA	260	1040
FAZENDA - INOÃ (ITERJ)	1800	7200
PINDOBAL	35	140
RUA 93 - BAMBUÍ	8	32
SILVADO	50	150
PARQUE NANCI	25	75
ITAIPUAÇU 35	35	105
TOTAL:	4132	16252
TOTAL COM 200 HABITANTES OU MAIS:	3453	13662
<i>*COMUNIDADES COM TÍTULO DE PROPRIEDADE JÁ ENTEGRUE</i>		

Fonte: Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos de Maricá/RJ, 2020.

A Tabela 6, acima, descreve o número de famílias cadastradas pela Secretaria de Habitação e Assentamentos Humanos, por comunidade, na cidade de Maricá/RJ. Ao todo,

estima-se que 16252 habitantes vivam em assentamentos humanos. Importante ressaltar que muitas destas comunidades estão em zonas rurais e não necessariamente ocupam áreas irregulares, entretanto serão consideradas nesta pesquisa pois não inviabilizam a instalação de Biossistemas Integrados. Entretanto, só serão público-alvo desta pesquisa, as comunidades que apresentam mais de 200 habitantes, haja vista que o Biossistema Integrado dimensionado para esta pesquisa é para atender a 500 habitantes e, com a perspectiva de crescimento destas comunidades, a população pode chegar a 500 habitantes em breve. As comunidades que já possuem mais de 500 habitantes, poderiam a aplicar mais de uma unidade dos “BSI”.

A instalação dos “BSI”, como alternativa de tratamento de esgotos, além de ser economicamente viável e gerar alimentos para as comunidades, ainda resolveria outro aspecto que diz respeito à baixa cobertura de redes de esgotamento sanitário no município.

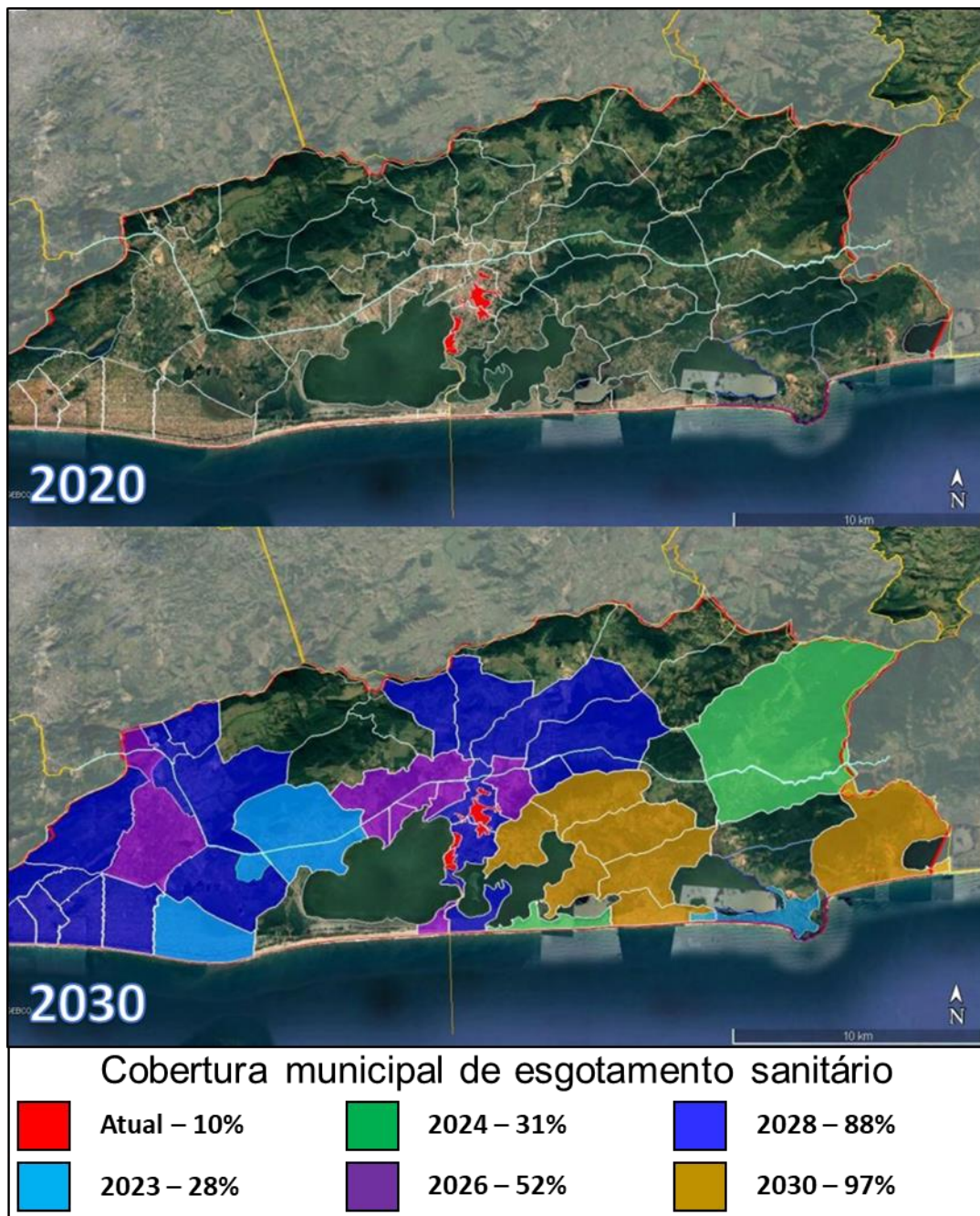
Tabela 7 - População atendida por Sistema.

SISTEMAS	POPULAÇÃO	%
ETE MARICÁ	2970	1,81%
MCMV INOÃ	5061	3,08%
MCMV ITAIPUAÇU	4331	2,63%
ETE PEDREIRAS	715	0,43%
SISTEMA BR MUMBUCA	1573	0,96%
SISTEMA BR ARAÇATIBA SB 2	464	0,28%
SISTEMA BR ARAÇATIBA SB 4	860	0,52%
TOTAL	15974	9,71%
POPULAÇÃO TOTAL DE MARICÁ	164504	100,00%

Fonte: SANEMAR – Companhia de Saneamento de Maricá, 2020.

Estima-se que o número de habitantes atendidos por redes direcionadas a alguma ETE, seja inferior a 10% como disposto na Tabela 7, ou seja: a implementação dos “BSI” praticamente dobraria o número de habitantes atendidos por alguma solução de esgotamento sanitário. Por conta da baixa cobertura de redes de esgotamento, a PMM (Prefeitura Municipal de Maricá), como forma de solucionar a problemática dos efluentes residenciais, publicou o decreto municipal nº 291, em 08 de março de 2019, que exige a presença de fossa, filtro e sumidouro onde não há rede e aponta diretrizes para a instalação das mesmas. A medida é paliativa, enquanto a SANEMAR, que detém a Concessão do esgoto, projeta e executa as redes de esgotamento em todo o município. A previsão é que Maricá atinja 88% da população contemplada por redes de esgotamento até 2028, quando termina a concessão da Companhia.

Figura 17: Estimativa da área coberta por rede de esgotamento sanitário atual e prevista.



Fonte: SANEMAR, 2020.

A figura 17 mostra a estimativa de cobertura por redes de esgoto, feito pela Companhia em 2020, até os anos especificados na legenda. No entanto, em 2021, por ocasião do Leilão da CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro), a Companhia recebeu do IRM (Instituto Rio Metrópole) a concessão da operação do esgoto só até 2028, apesar da estimativa contida na Figura 17 contemplar o ano de 2030. As áreas não contempladas com as

redes futuras são, exatamente, algumas áreas isoladas urbanas e rurais, áreas onde o sistema de Biosistemas Integrados poderia ser aplicado.

5.2 Comunidade da Estação

Para se estudar a implementação do Biosistema Integrado no município de Maricá, será utilizada a comunidade da Estação. A referida comunidade, localizada na divisa entre os bairros de Ponta Negra e Jaconé, conta hoje com cerca de 50 famílias residentes, o que representa cerca de 200 habitantes. Os motivos da escolha desta comunidade, se dá pela possibilidade de crescimento e pela proximidade de uma das lagoas do município, fatores estes que são críticos quando se trata de destinação de esgotos domésticos.

Figura 18: Vista aérea da “Comunidade da Estação” captada por drone.



Fonte: SANEMAR, 2021.

Figura 19: Projeção das residências existentes e loteamento da região.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A Figura 19 representa a área onde hoje existe a “Comunidade da Estação” captada através de voo de Drone e a Figura 19 representa o loteamento previsto que acabou por ser ocupado, mas que ainda apresenta algumas quadras livres, e que podem aumentar a população local. As quadras 4 e 5, representadas na imagem, representarem uma área de possível crescimento populacional, mas também de possível implantação do “BSI”.

De posse das informações da comunidade, foi possível através do Programa Google Earth e SANCAD, projetar uma rede de esgoto condominial para a comunidade e destinar os efluentes a um Biossistema Integrado das dimensões previstas e calculadas nos capítulos anteriores.

Figura 20: Projeto de rede de esgotos na “Comunidade da Estação”



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A Figura 20, apresenta o traçado da rede projetado a partir da imagem gerada por drone presente na Figura 18. Entretanto, é necessário editar a imagem e desfazer algumas rotinas geradas pelo programa, como por exemplo a substituição da EEB-01 (Elevatória de Esgoto Bruto) por um sistema “Fossa, Filtro e Sumidouro) e da ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) pelo BSI.

Outro fator a ser recalculado, a partir dos preceitos estipulados no item 4.6, é o canteiro cultivado. Mattos (2021), em seus estudos, calcula a estimativa de Evapotranspiração para Maricá, bem como fatores de correção calculados pelo método de Thorntwhaite, explicitados nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8 - Evapotranspiração potencial média mensal padrão para a cidade de Maricá/RJ.

MÊS	ETPp (mm/mês)
ETPp JAN	128,29
ETPp FEV	135,67
ETPp MAR	128,29
ETPp ABR	114,34
ETPp MAI	95,35
ETPp JUN	78,56
ETPp JUL	73,44
ETPp AGO	73,44
ETPp SET	78,56
ETPp OUT	83,92
ETPp NOV	101,43
ETPp DEZ	121,18

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de MATTOS, 2021.

Tabela 9 - Fator de correção para a latitude da cidade de Maricá/RJ.

LATITUDE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
20S	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22° 56'S	1,16	1,01	1,05	0,96	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
25S	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18

Fonte: MATTOS, 2021.

CLIMATEMPO (2022) estima a as temperaturas médias mensais e a precipitação média mensal para a cidade de Maricá/RJ, como pode ser visto na Tabela 10, a seguir:

Tabela 10 - Temperaturas máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) ao decorrer do ano.

Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	24°	28°	137
Fevereiro	25°	28°	95
Março	24°	28°	131
Abril	23°	27°	94
Maio	22°	25°	80
Junho	20°	24°	49
Julho	20°	23°	58
Agosto	20°	23°	44
Setembro	20°	24°	79
Outubro	21°	24°	84
Novembro	22°	26°	107
Dezembro	24°	27°	150

Fonte: Climatempo, 2021.

A partir destas informações, é possível estimar a necessidade de irrigação das culturas citadas no item 4.6, para a cidade de Maricá, no Rio de Janeiro. Foi utilizada uma necessidade hídrica de 5,2mm/dia (650mm por ciclo) para o milho, 4,11mm/dia (1500mm por ciclo) para a cana-de-açúcar e 4,93mm/dia (1800mm por ciclo) para a banana. A irrigação, considerando todos esses parâmetros está calculada na Tabela 11, a seguir:

Tabela 11 – Estimativa da necessidade de irrigação, em mm, para algumas culturas a serem plantadas na comunidade.

MÊS	ETPp (mm/mês)	Fator de Correção CORR (Latitude 22°56'S)	ETPp (mm/mês) x CORR	Precipitação (mm)	Necessidade diária de Irrigação para a cultura do milho (5,20mm/dia)	Necessidade diária de Irrigação para a cultura da cana-de-açúcar (4,11mm/dia)	Necessidade diária de Irrigação para a cultura da banana (4,93mm/dia)
JANEIRO	128,29	1,16	148,82	137	5,58	4,49	5,31
FEVEREIRO	135,67	1,01	137,03	95	6,70	5,61	6,43
MARÇO	128,29	1,05	134,70	131	5,32	4,23	5,05
ABRIL	114,34	0,96	109,77	94	5,73	4,64	5,46
MAIO	95,35	0,95	90,58	80	5,54	4,45	5,27
JUNHO	78,56	0,89	69,92	49	5,90	4,81	5,63
JULHO	73,44	0,94	69,03	58	5,56	4,47	5,29
AGOSTO	73,44	0,99	72,71	44	6,13	5,04	5,86
SETEMBRO	78,56	1,00	78,56	79	5,19	4,10	4,92
OUTUBRO	83,92	1,09	91,47	84	5,44	4,35	5,17
NOVEMBRO	101,43	1,10	111,57	107	5,35	4,26	5,08
DEZEMBRO	121,18	1,17	141,78	150	4,93	3,84	4,66

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Importante ressaltar que o fator ETPp, foi calculado para um gramado e, para cada cultura em questão, deveria ser relacionado coeficiente de cultura (Kc) de cada planta, porém como se trata de uma estimativa e este cálculo não faz parte do escopo deste trabalho, o Kc, foi desconsiderado. Considerando o espaço disponível para canteiro na comunidade, pôde-se estimar 6 canteiros de aproximadamente 210m², com dimensões de 3,0m x 70m cada um, espaçados de 1,5m, que serão detalhados mais à frente. Portanto, utilizando as informações da Tabela 11, é possível estimar a necessidade de irrigação de cada canteiro, em litros por dia. Estas informações estão resumidas na Tabela 12, a seguir:

Tabela 12 – Estimativa da necessidade de irrigação, em L/dia, para algumas culturas, por canteiro de 210m².

MÊS	Irrigação para a cultura do milho (mm/dia)	Irrigação para a cultura da cana-de-açúcar (mm/dia)	Irrigação para a cultura da banana (mm/dia)	NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO POR CANTEIRO (L/dia)		
				MILHO	CANA-DE-AÇÚCAR	BANANA
JANEIRO	5,58	4,49	5,31	1172,05	943,15	1115,35
FEVEREIRO	6,70	5,61	6,43	1407,20	1178,30	1350,50
MARÇO	5,32	4,23	5,05	1117,10	888,20	1060,40
ABRIL	5,73	4,64	5,46	1202,36	973,46	1145,66
MAIO	5,54	4,45	5,27	1163,69	934,79	1106,99
JUNHO	5,90	4,81	5,63	1238,43	1009,53	1181,73
JULHO	5,56	4,47	5,29	1166,74	937,84	1110,04
AGOSTO	6,13	5,04	5,86	1286,46	1057,56	1229,76
SETEMBRO	5,19	4,10	4,92	1088,92	860,02	1032,22
OUTUBRO	5,44	4,35	5,17	1142,62	913,72	1085,92
NOVEMBRO	5,35	4,26	5,08	1124,01	895,11	1067,31
DEZEMBRO	4,93	3,84	4,66	1036,32	807,42	979,62

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

No mês mais crítico, dezembro, a necessidade de irrigação caso fosse plantado só milho seria de 6218L, se fosse só cana-de-açúcar, seria de 4845L, só de banana seria de 5878L e, caso cada cultura ocupasse dois canteiros, seria de 5647L.

Como a comunidade em questão não possui ainda os 500 habitantes para o qual foi projetada, mas sim 200 habitantes, a água de reuso sobressalente que seria de 20000L, teria uma sobra de cerca de 14363L caso sejam mescladas as culturas. Por esse motivo, é necessário criar um reservatório de água de reuso para reter a água por determinado tempo e, posteriormente, estudar sua destinação ou utilização na comunidade, como em vasos sanitários, por exemplo.

Ao lado do BSI haverá uma área destinada a tratamento do biogás e recomenda-se, para além do biodigestor existente, a instalação de um biodigestor pré-fabricado que comportaria os resíduos orgânicos da comunidade, como resto de alimentos por exemplo e, por esse motivo, teria uma taxa de geração de biogás em relação ao volume próprio maior que a do biodigestor destinado ao tratamento do esgoto.

Além dessas unidades, será destinada uma área para construção de algum equipamento público, como uma creche ou um centro comunitário, por exemplo, que poderia ser receptor do biogás gerado em sua cozinha e de parte da água de reuso em seus banheiros.

Por fim, calculados todos os parâmetros necessários, a unidade projetada ficaria com O traçado de rede semelhante ao da Figura 21.

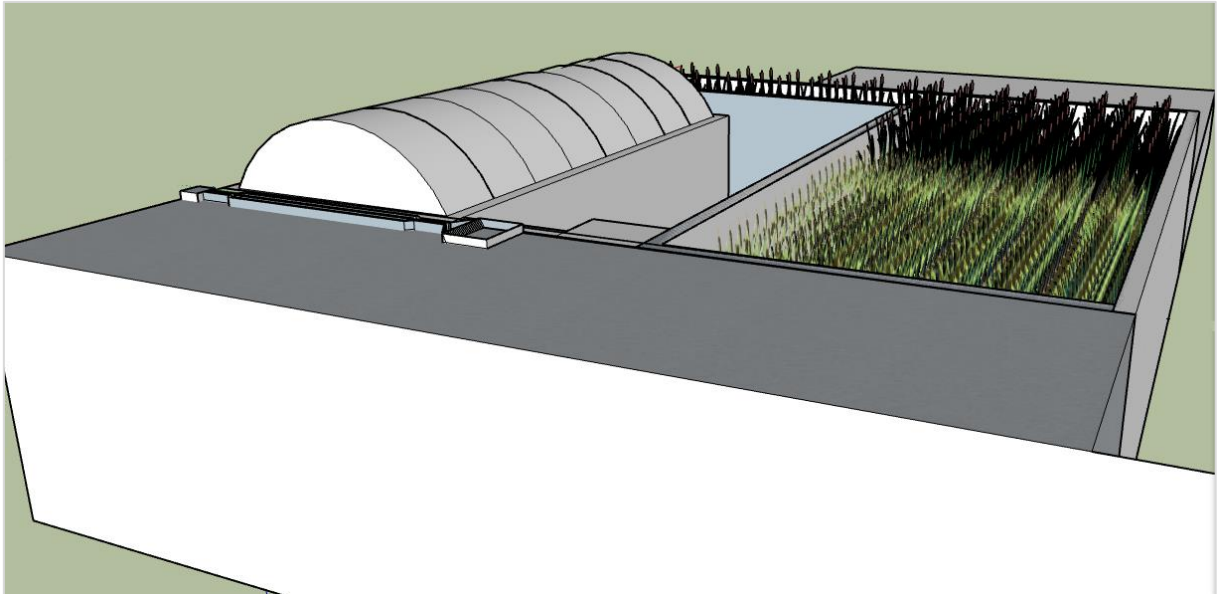
Figura 21: Traçado final da rede de esgotos na “Comunidade da Estação”



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

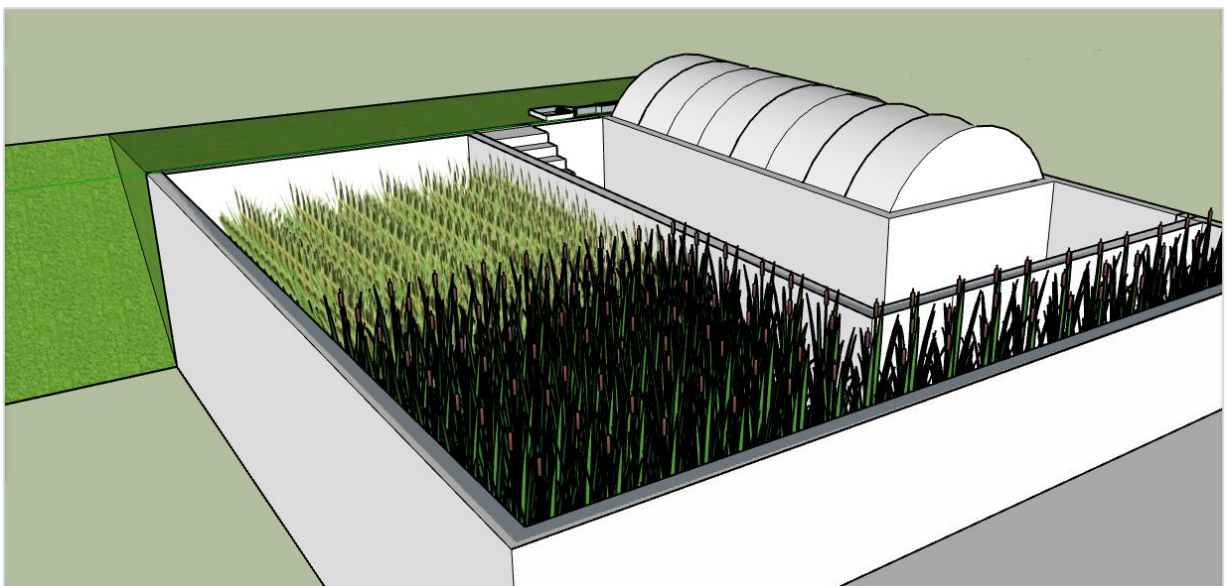
As Figuras 22, 23, 24 e 25 representam o layout 3D criado após os parâmetros calculados nas páginas anteriores.

Figura 22: Projeto do BSI em 3D - Vista do canal de entrada



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 23: Projeto do BSI em 3D - Vista do SAC



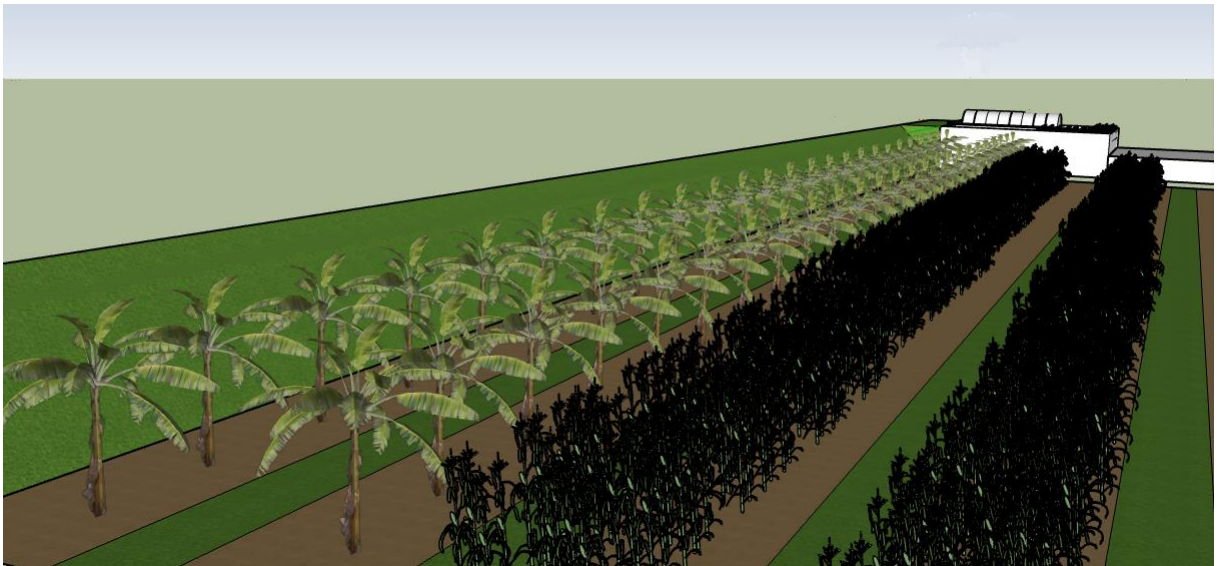
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 24: Projeto do BSI em 3D - Vista do Leito de Secagem e cobertura do biodigestor



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

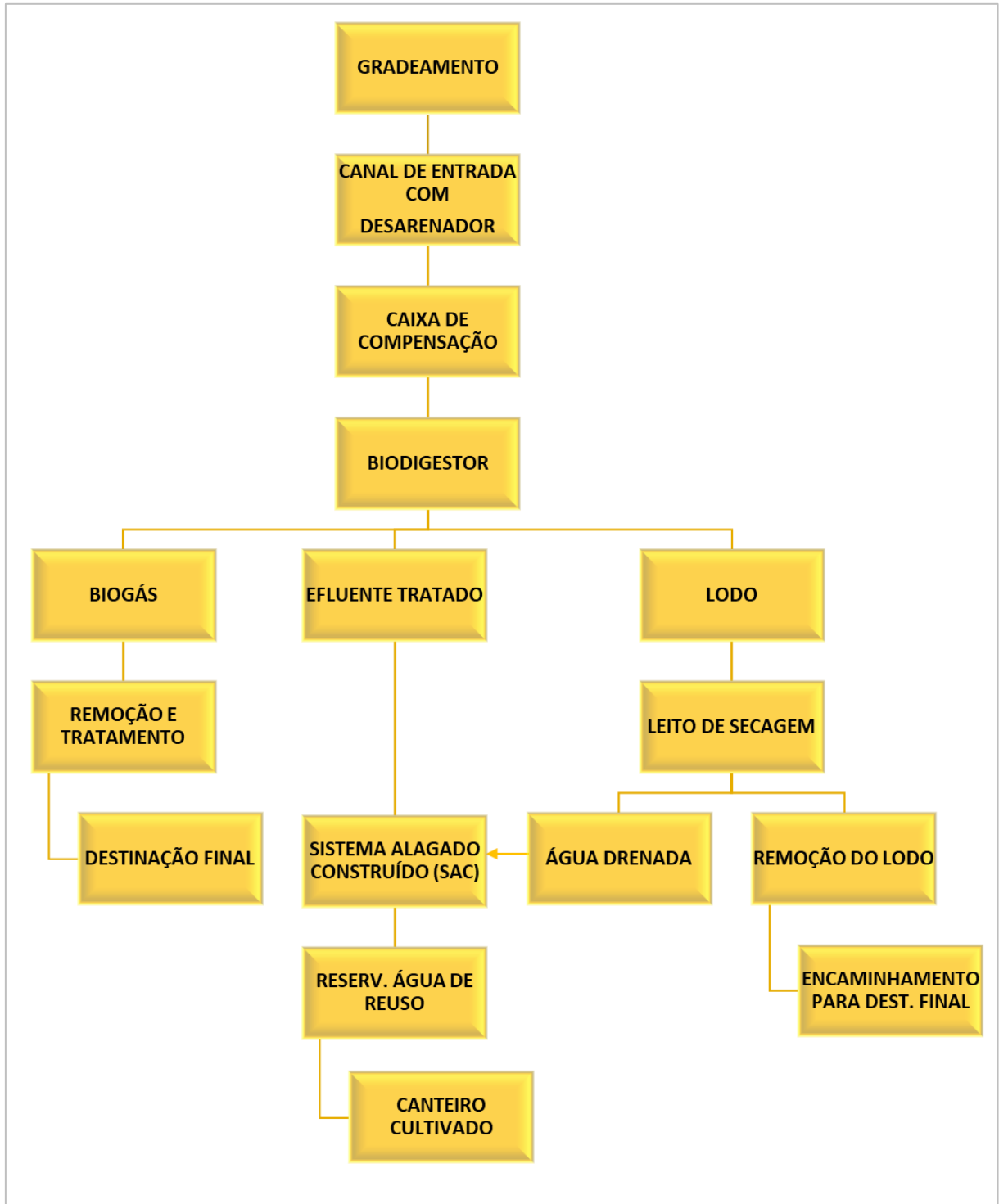
Figura 25: Projeto do BSI em 3D - Vista do canal Canteiro Cultivado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Por fim, o tratamento de efluentes respeitaria o Fluxograma disposto na Figura 26.

Figura 26: Fluxograma de Processo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com as bibliografias utilizadas, que levam em consideração pesquisas de eficiência de decantadores decantador e do SAC para remoção de carga orgânica, por exemplo, evidencia-se a efetividade do Biosistema Integrado como alternativa para tratamento de esgotos domésticos não só em áreas rurais, como é usualmente utilizado, mas também como solução para resolver os problemas relacionados a esgotamento sanitário em comunidades urbanas. A partir desta pesquisa, foi possível dimensionar para o espaço disponível, um BSI que pudesse satisfazer não só o tratamento de esgoto necessário, mas também continuar utilizando os substratos gerados em prol da comunidade.

O biogás, por exemplo, poderia ser reaproveitado usando as técnicas descritas nesta pesquisa e, após dessulfuração, ser utilizado em cozinhas de um equipamento público, como creche ou centro comunitário. Se insuficiente, o volume de biogás pode ser incrementado com biogás gerado a partir de restos de alimentos depositados em outro biodigestor, pré-fabricado, que pode ser instalado mediante conscientização da comunidade.

Com a água de reuso, foi possível dimensionar um canteiro cultivado que pode gerar alimentos para a comunidade. Neste ponto, é importante ressaltar que dificilmente todo volume esgoto tratado poderá ser absorvido pelo solo devido à falta de espaço e, portanto, é necessário estudar, em futuras pesquisas, formas de reaproveitamento desta água de reuso, como instalações em bacias sanitárias da comunidade, ou encaminhamento para algum emissário próximo.

Outro aspecto a ser recomendado, é a criação nas comunidades, de cooperativas para manutenção e aproveitamento dos substratos gerados no tratamento dos esgotos no BSI. O lodo gerado e as briófitas podadas do SAC, podem após estudos, gerar nutrientes para o solo do canteiro cultivado. Os frutos do canteiro precisam também ser colhidos e podem ser comercializados através da cooperativa local. A limpeza e manutenção do BSI também pode ser feita pela comunidade, em vez da companhia de saneamento local, gerando emprego.

Portanto, é inegável as vantagens da instalação deste método de tratamento em pequenas comunidades, haja vista que, se bem trabalhada, gera um fluxo sustentável de reaproveitamento do potencial energético do esgoto, não só solucionando uma problemática recorrente nas comunidades, como também permitindo levar dignidade, emprego e renda para locais que usualmente são invisibilizados pelo poder público.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Coletânea de notas técnicas 1: valoração e gerenciamento de subprodutos gasosos do tratamento do esgoto, v. 1, 2021, 86 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2011. 57 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1993. 15 p.

BENINCASA, M. ; ORTOLANI, A.F; LUCAS JR., J. Biodigestores Convencionais. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. UNESP, Jaboticabal, 25p. , 1990.

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

CARVALHO, I; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A.: ROSA, G. Demanda Hídrica das Culturas de Interesse Agrônômico. Frederico Westphalen. UFSMA, 2013. 17p.

CLIMATEMPO. Site do Climatempo. Disponível em:<<https://www.climatempo.com.br/climatologia/309/marica-rj>>. Último acesso em 15/01/2022.

DEGANUTTI, R, *et al.* Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: 40 encontro de energia meio rural. São Paulo, 2002. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. UNESP. São Paulo, 2002.

EMBRAPA. Site da Empresa brasileira de pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/3746/desenvolvimento-de->

biodigestores-anaerobios-para-tratamento-de-residuos-agricolas-geracao-de-energia-e-uso-do-efluente-na-agricultura>.

FONSECA, F. S. T, *et al.* Analise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas - MA: um estudo de caso. In: congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. Porto Alegre, Jul. 2009. Universidade Estadual do Maranhão. Maranhão, 2009.

FRARE, L.M.; GIMENES, M. L.; PEREIRA, N. C. Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás. Engenharia Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p.167-172, 2009

GENDEL, Y.; LEVI, N.; LAHAV, O. H₂S removal using a modified, Low-pH Liquid Redox Sulfur Recovery (LRSR): Process with electrochemical regeneration of the Fe catalyst couple. Environmental Science & Technology, Israel, p.a-e, 23 set. 2009.

HORIKAWA, M.S. *et al.* Chemical absorption of H₂S for biogas purification. Brazilian Journal Of Chemical Engineering, Maringá, v. 21, n. 3, p.415-422, jul./set. 2004.

IBGE. Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/marica/panorama/>>. Último acesso em 02/08/2021.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 7. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2014. 1050 p.

KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H.; HOFBAUER, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag Berlim, Heidelberg, Nova Iorque, 2ª edição revista e ampliada, 2009.

KLOSS, R.: Planung von Biogasanlagen; Oldenborg Verlag Munique, Viena, 1986.

MANICA, Ivo. Fruticultura Tropical 4 Banana. Porto Alegre: Cinco Continentes. 1997.

MARTINS, L. L.; PITALUGA, D. P. S.; ALMEIDA, R.A.; Eficiência de espécies vegetais e sentidos de fluxo no tratamento de esgotos sanitários por zona de raízes. Anais do V Congresso de pesquisa, Ensino e Extensão, Campus Samambaia. 2008.

MATTOS, D. Biossistema Integrado como alternativa de tratamento de esgoto em comunidade urbanas: Estudo de caso em Maricá/RJ. Niterói. UFF, 2021. 67p.

OICS. Site do Observatório de inovações para Cidades Sustentáveis. Disponível em: <https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/biossistema-de-tratamento-de-esgoto-no-vale-encantado-rio-de-janeiro_5d434de78ff785538982ff4e>. Último acesso em 22/01/2022.

OICS. Site do Observatório de inovações para Cidades Sustentáveis. Disponível em: <https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/biossistema-integrado-em-alto-caxixe-espírito-santo_5d35d4628f2e3d10f4db38ab>. Último acesso em 22/01/2022.

OICS. Site do Observatório de inovações para Cidades Sustentáveis. Disponível em: <https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/tratamento-biologico-de-esgoto-em-comunidades-na-cidade-de-petropolis-rio-de-janeiro_5cb9e5013a41c6725c7bd942>. Último acesso em 22/01/2022.

OLIVER, A.; SOUZA NETO, A.; QUADROS, D.; VALLADARES, R. Manual de Treinamento em Biodigestão. 2008.

SANEMAR. Companhia de Saneamento de Maricá. 2020

SNIS. Site do Sistema Nacional de Informações sobre Esgoto. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-esgotamento-sanitario>>. Último acesso em 10/02/2022.

SOUZA, C.L. Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB. 147 f. Tese (Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos- Doutor) -UFMG, Belo Horizonte, 2010.

TONETTI, Adriano Luiz; BRASIL, Ana Lucia; MADRID, F. J. P. L. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. Biblioteca/Unicamp, Campinas, SP, 2018.

ZATTONI. Dimensionamento de Caixas de Areia. São Paulo. FATEC, 2008. 6p.