

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Helena Amaral Nyffeler Cunha

**Diagnóstico e proposta de adequação de um sistema de tratamento descentralizado no  
município de Florianópolis, SC.**

Florianópolis

2022

Helena Amaral Nyffeler Cunha

**Diagnóstico e proposta de adequação de um sistema de tratamento descentralizado no município de Florianópolis, SC.**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Amanda Silva Nunes, Ma.

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Maria Elisa Magri, Dra.

Florianópolis

2022

### Ficha de identificação da obra

CUNHA, HELENA AMARAL NYFFELER

Diagnóstico e proposta de adequação de um sistema de tratamento descentralizado no município de Florianópolis, SC. / HELENA AMARAL NYFFELER CUNHA ; orientador, AMANDA SILVA NUNES, coorientador, MARIA ELISA MAGRI, 2022.

61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Sistema de tratamento descentralizado. 3. Wetlands construídos. 4. Tanque séptico. 5. Projeto de dimensionamento. I. NUNES, AMANDA SILVA. II. MAGRI, MARIA ELISA. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Helena Amaral Nyffeler Cunha

**Diagnóstico e proposta de adequação de um sistema de tratamento descentralizado no município de Florianópolis, SC.**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheira Sanitarista e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 18 de março de 2022.

---

Prof.<sup>a</sup> Maria Elisa Magri, Dr.<sup>a</sup>

Coordenadora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

**Banca Examinadora:**

---

Eng.<sup>a</sup> Amanda Silva Nunes, Ma.

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Nelson Libardi Junior, Dr.

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup>. Cristina Moreira Lalau Dra.

Avaliadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico à minha mãe e minha avó, as grandes mulheres da minha vida. Especialmente à minha avó Odete por toda sua força e resiliência, que possibilitou-a estar presente nesse momento.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família. Não só aos familiares de sangue, mas também aos que a vida me deu. Obrigada aos meus pais Marcelo e Cristina por me oferecerem o melhor sempre, por todo apoio e incentivo. Cibele e Marilza, agradeço especialmente pela ajuda nessa fase, mas também, por fazer parte da família de vocês.

Agradeço muito ao meu irmão Felipe por ser meu exemplo, minha admiração e por saber que eu sempre terei o meu porto seguro ao seu lado. Agradeço também ao Henrique, um irmão que eu ganhei ao acaso e se tornou parte da nossa família.

Às minhas amigas Sachi, Laís e Daniela que estiveram comigo, lado a lado, do primeiro ao último dia da graduação. Às minhas roomies Letícia, Dani e Ana que compartilharam comigo uma rotina de desafios, aprendizados, apoio e muito amor. À Mafer, uma amizade leve e verdadeira. À Mari que ficou dia a dia ao meu lado nessa reta final. E tantas outras amizades que eu tenho sorte em ter na minha vida.

Ao Del, por compartilhar um amor tão grande comigo, por me acolher sempre, por me ajudar a evoluir e por todos momentos incríveis que vivemos juntos.

Agradeço à UFSC por me proporcionar tantos aprendizados, amizades, experiências e momentos inesquecíveis que vivi durante essa fase incrível da minha vida.

Por fim, agradeço aos meus professores. À minha orientadora Amanda e à minha coorientadora Maria Elisa por me ajudarem a ter orgulho do trabalho que eu construí.

Sou muito grata a esse ciclo que está se encerrando e a todas as pessoas que cruzaram a minha vida e fizeram parte do meu caminho.

*A felicidade só é real quando compartilhada.*  
Henry Thoreau

## RESUMO

Os sistemas de tratamento de esgoto descentralizados, são opções economicamente viáveis e de fácil operação, eficazes para a gestão de esgoto provenientes de povoados de baixa densidade populacional e isolados, até mesmo localidades com razões morfológicas específicas, onde instalações de sistemas centralizados são inviáveis. Os *wetlands* construídos, por exemplo, surgem como abordagens descentralizadas capazes suprir as necessidades sanitárias destas localidades e cooperar com a universalização do acesso aos serviços de saneamento. Nesta perspectiva, o presente estudo objetivou realizar um diagnóstico estrutural de um sistema de esgotamento sanitário existente no CETRE/EPAGRI, município de Florianópolis, composto por tanque séptico seguido de *wetlands*, bem como a proposição de um projeto de concepção de um novo sistema descentralizado empregando a ecotecnologia dos *wetlands* construídos. O diagnóstico foi baseado na verificação das condições estruturais e de funcionamento in loco e teve como finalidade identificar as principais causas para o sistema existente não operar satisfatoriamente. Logo, o projeto de concepção de um novo sistema de esgotamento sanitário, visa a reestruturação, o tratamento bem-sucedido do esgoto proveniente das instalações e futuras pesquisas. As etapas executadas no trabalho apresentam constatações do diagnóstico, análises físico-químicas para caracterização do afluente e dimensionamento dos módulos, tanque séptico e *wetlands*. Constatou-se um sistema colapsado e com necessidade de modificações nas estruturas. Como proposta de reestruturação, com base na norma ABNT NBR 7229/1993 e nas recomendações encontradas na literatura para dimensionamento, o projeto apresentou as seguintes dimensões: tanque séptico com volume de 9,09 m<sup>3</sup>, seguido de dois módulos de *wetlands* construídos com área superficial de 32 m<sup>2</sup> cada. As concentrações efluentes foram estimadas com base em suposições realizadas pela literatura para sistemas de esgotamento sanitário semelhantes aos apresentados no presente projeto. Para tanto, estima-se uma concentração de 224,10 mg.L<sup>-1</sup> para DQO, 39,83 mg.L<sup>-1</sup> para DBO, 24,25 mg.L<sup>-1</sup> para SST, 63,90 mg.L<sup>-1</sup> para nitrogênio amoniacal e 11,35 mg.L<sup>-1</sup> para fósforo total.

**Palavras-chave:** Sistema de Tratamento Descentralizado. *Wetlands* Construídos. *Wetland* Construído de Fluxo Horizontal. Tanque Séptico. Projeto de Dimensionamento.

## ABSTRACT

Decentralized sewage treatment systems are economically viable and easily operational options, effective for the management of sewage from low density population and isolated villages, even localities with specific morphological reasons, where centralized system installations are not feasible. The constructed wetlands, for example, emerge as decentralized approach capable of meeting the sanitary needs of these locations and supporting the access to sanitation services to all. In this perspective, the present study aimed to perform a structural diagnosis of a system of sewage at CETRE/EPAGRI - Florianópolis, composed of septic tank followed by wetlands, and to propose a conceptual project to design a new decentralized system using the ecotechnology of the constructed wetlands. The diagnosis was based on the verification of structural and on-site operating conditions and aimed to identify the main root causes for the existing system not been operating as intended. Therefore, the conceptual project of a new sewage system aims to rebuild, to successful treat the sewage from facilities and support future research. The steps performed in the study include diagnostic findings, physicochemical analyses with characterization of the tributary and sizing of modules, septic tank, and constructed wetlands with horizontal subsurface flow. A collapsed system with a need of structural changes were identified. As a restructuring proposal, based on standards ABNT NBR 7229/1993 and the recommendations found in the literature for sizing, the project presented the following dimensions: septic tank with volume of 9.09 m<sup>3</sup>, followed by two wetlands modules built with a surface area of 32 m<sup>2</sup> each. Effluent concentrations were estimated based on assumptions made by the literature for sewage similar systems to those presented in this project. For this, it is estimated a concentration of 224,10 mg.L<sup>-1</sup> for COD, 39,83 mg.L<sup>-1</sup> for BOD, 24,25 mg.L<sup>-1</sup> for SST, 63,90 mg.L<sup>-1</sup> for ammoniacal nitrogen and 11,35 mg.L<sup>-1</sup> para for total phosphorus.

**Keywords:** Decentralized Treatment System. Constructed Wetlands. Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow. Septic Tank. Sizing project.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma dos níveis de tratamento .....	20
Figura 2 – Esquema de funcionamento de um tanque séptico .....	23
Figura 3 – Classificação dos <i>Wetlands</i> Construídos.....	25
Figura 4 – Localização da ETE .....	34
Figura 5 – Esquema ilustrado do sistema de esgotamento sanitário constituído de tanque séptico e WCFH.....	35
Figura 6 – Tubulação de entrada do tratamento de efluente.....	40
Figura 7 – Componentes do sistema de tratamento em más condições.....	42
Figura 8 – Sistema de WCFH inativado no CETRE/EPAGRI.....	42
Figura 9 – Esquema do sistema dimensionado.....	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Mecanismo de remoção de poluentes nos WC .....	29
Quadro 2 – Principais processos abióticos em <i>wetlands</i> .....	30
Quadro 3 – Principais processos bióticos em <i>wetlands</i> (Continua).....	30
Quadro 4 – Principais processos bióticos em <i>wetlands</i> (Conclusão) .....	30
Quadro 5 – Variáveis avaliadas nas amostras e métodos analíticos utilizados .....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência esperada para tratamento em Tanque Sépticos.....	24
Tabela 2 – Contribuição diária de esgoto e de lodo fresco por tipo de prédio e ocupante .....	36
Tabela 3 – Dados de caracterização do afluente.....	43
Tabela 4 – Parâmetros de projeto definidos pela norma NBR 7229/1993 .....	43
Tabela 5 – Medidas do Tanque Séptico .....	44
Tabela 6 - Estimativa das concentrações do efluente final.....	50
Tabela 7 – Período de detenção do despejo por faixa de contribuição diária .....	61
Tabela 8 – Taxa de acumulação total de lodo (K), por intervalo entre limpezas e temperatura ambiente .....	61
Tabela 9 – Profundidade útil mínima e máxima por faixa de volume útil .....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
bL	Borda livre
C	Contribuição de despejos
CETRE	Centro de Treinamento
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DN	Diâmetro Nominal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EP	Equivalente Populacional
EPAGRI	Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNASA	Fundação Nacional do Meio Ambiente
GESAD	Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado
HI	Distância entre a lâmina de esgoto e a superfície do meio suporte
Hs	Altura do meio suporte
K	Taxa de acumulação de lodo digerido
Lf	Contribuição de Lodo Fresco
LIMA	Laboratório Integrado de Meio Ambiente
L <sub>máx</sub>	Largura máxima de cada módulo
NBR	Norma Brasileira
P	Profundidade da lâmina de esgoto
pH	Potencial Hidrogeniônico
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
T	Período de detenção
OD	Oxigênio Dissolvido
Q <sub>méd</sub>	Vazão média
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
WC	<i>Wetlands</i> Construídos
WCFH	<i>Wetlands</i> Construídos de Fluxo Horizontal
WCVH	<i>Wetlands</i> Construídos de Fluxo Vertical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
2.1	Objetivo Geral .....	18
2.2	Objetivos Específicos .....	18
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
3.1	TRATAMENTO DE ESGOTOS .....	19
<b>3.1.1</b>	<b>Etapas do tratamento de esgoto sanitário .....</b>	<b>20</b>
3.2	TRATAMENTO DESCENTRALIZADO .....	21
<b>3.2.1</b>	<b>Tanque Séptico.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.2</b>	<b><i>Wetlands</i> Construídos .....</b>	<b>24</b>
3.2.2.1	<i>Tipos de Wetlands Construídos .....</i>	25
3.2.2.2	<i>Wetlands construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal .....</i>	26
<b>3.2.3</b>	<b>Elementos constituintes dos sistemas de <i>wetlands</i>.....</b>	<b>27</b>
3.2.3.1	<i>Meio filtrante .....</i>	27
3.2.3.2	<i>Macrófitas aquáticas .....</i>	27
3.2.3.3.	<i>Micro-organismos.....</i>	29
<b>3.2.4</b>	<b>Mecanismos de remoção nos <i>wetlands</i> .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.5</b>	<b>CrITÉRIOS de dimensionamento e parâmetros construtivos para <i>Wetlands</i> .....</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>33</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	33
4.2	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EXISTENTE	34
4.3	DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL .....	35
4.4	PARÂMETROS DE PROJETO .....	36
<b>4.4.1</b>	<b>Contribuição per capita de esgoto.....</b>	<b>36</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Características do afluente.....</b>	<b>36</b>

<b>4.4.3</b>	<b>Critérios de dimensionamento.....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>39</b>
5.1	Considerações sobre a estrutura do sistema de esgotamento sanitário.....	39
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE .....	42
5.3	DIMENSIONAMENTO.....	43
<b>5.3.1</b>	<b>Tanque séptico .....</b>	<b>43</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Wetlands construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal .....</b>	<b>44</b>
5.3.2.1	<i>Cálculos relativos à vazão e à carga de DBO afluente.....</i>	44
5.3.2.2	<i>Cálculo da área superficial requerida .....</i>	45
5.3.2.3	<i>Cálculo das relações dimensionais .....</i>	46
5.3.2.4	<i>Determinação da profundidade útil e da altura do meio filtrante .....</i>	47
5.3.2.5	<i>Cálculo do volume útil ocupado pelo líquido.....</i>	47
5.3.2.6	<i>Tempo de detenção .....</i>	48
5.3.2.7	<i>Cálculos adicionais relacionados ao processo .....</i>	48
5.4	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA.....	49
5.4.1	<i>Estimativa das concentrações do efluente final .....</i>	50
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>58</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A coleta e o tratamento de esgotos são componentes essenciais para o saneamento básico e representam promoção de saúde pública e manutenção de recursos naturais. De acordo com os últimos dados apresentados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), apenas 59,2% (2.807 municípios) dos 85,2% dos municípios brasileiros avaliados (4744 municípios) contam com sistemas públicos de esgotamento sanitário. Nos outros 1.937 municípios (40,8% da amostra), são utilizadas soluções alternativas individuais como fossa séptica, fossa rudimentar, vala a céu aberto ou, até mesmo, lançamento irregular em cursos d'água. Do total de esgoto gerado no Brasil, o SNIS aponta que apenas 50,8% são tratados (SNIS, 2020).

No município de Florianópolis, a situação é complexa, principalmente, devido às características do ecossistema local, como o relevo que dificulta a implantação de redes, e ao acelerado crescimento demográfico sem planejamento e infraestrutura (FUNASA, 2004). Segundo dados do Painel de Saneamento do Brasil (2019), 35,2% da população de Florianópolis não possui coleta de esgoto e apenas 45,6% do esgoto gerado é de fato tratado. Essa carência no tratamento dos esgotos conduz a um panorama preocupante, pois quando lançados aos corpos d'água receptores, causam graves desequilíbrios ambientais comprometendo a biota local e a saúde humana (SEZERINO et al., 2004).

O lançamento de esgoto sem controle e fiscalização nos solos ou em nascentes, rios, lagos e outros corpos d'água representa hoje uma das principais causas da poluição hídrica, que consiste em fontes de degradação do meio ambiente, como eutrofização dos corpos d'água, mortandade da vida aquática, supressão de fontes de água, e de proliferação de doenças como ascaridíase, enterobíase, salmonelose, conjuntivite bacteriana, entre outras (FUNASA, 2004).

Os sistemas centralizados de tratamento envolvem avançados processos de coleta e tratamento de grandes volumes de esgotos e em regiões com grande densidade populacional, o que exige grande investimento de capital, tanto na construção, quanto na operação e manutenção, inviabilizando o atendimento em comunidades rurais, povoados de baixa densidade e isolados (MASSOUD; TARHINI & NASR, 2009). Visto isso, os sistemas descentralizados de esgotamento sanitário são uma ótima opção para atender este cenário, uma vez que possuem custos de implantação e operação reduzidos, menor porte, tratamento mais simplificado e no próprio local e não há necessidade de redes coletoras extensas (KATO et al., 2019).

Tonetti et al. (2018) complementa que, no âmbito dessas propostas, indica-se que as tecnologias relacionadas ao saneamento busquem melhorar as condições de saúde e higiene das comunidades por meio de técnicas de baixo custo, que respeitem a cultura e os conhecimentos locais e que sejam ambientalmente sustentáveis. Dessa forma, algumas soluções que apresentam implantação, funcionamento e operação simplificados, capazes de garantir uma remoção eficaz de matéria orgânica do esgoto a baixo custo, são: tanque séptico, fossa verde ou bacias de evapotranspiração, reatores anaeróbios compartimentados, filtros anaeróbios, *wetlands* construídos, entre outros (TONETTI et al., 2018).

Como uma tecnologia para tratamento descentralizado, os *wetlands* construídos estão sendo introduzidos de forma gradual e com sucesso em muitos países. Essa tecnologia é projetada para utilizar as funções naturais que envolvem vegetação, solo e populações microbianas para tratar águas residuais (CAPODAGLIO et al., 2017). Platzer (2007) afirma que os *wetlands* são sistemas tecnicamente simples, com operação econômica, sem produção de lodo, não precisa do uso de energia elétrica e permite a integração à paisagem natural. Além disso, são flexíveis a variações de carga e hidráulicas, removendo bactérias e outros microrganismos com alta eficiência.

No Brasil, as primeiras experiências com a utilização dos *wetlands* na melhoria da qualidade das águas e no controle da poluição foram conduzidas no início de 1980 pelos pesquisadores Salati e Rodrigues (SALATI JR.; SALATI & SALATI, 1999). Todavia, as experiências brasileiras se intensificaram a partir do ano 2000 (SEZERINO et al., 2015). Na literatura estão presentes inúmeras modalidades de *wetlands* construídos, utilizados para o tratamento de esgotos domésticos e industriais, águas cinzas, lodo de tanque sépticos e estações de tratamento de esgotos e líquidos de drenagem pluvial (VON SPERLING & SEZERINO, 2018).

Os *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal são os mais utilizados no contexto da descentralização dos sistemas de tratamento de esgotos. Os *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal destacam-se pela viabilidade de alimentação sem a necessidade do uso de bombas e a alta capacidade para eliminação de microrganismos, em virtude do maior tempo de detenção hidráulica. Essa modalidade é comumente empregada como unidade de polimento, sendo o tratamento prévio primordial e desempenhado, na maioria das vezes, mediante decanto-digestores, tipo tanque séptico (SEZERINO & PELISSARI, 2015; HUA et al., 2017).

Neste contexto, o presente estudo objetivou investigar as condições estruturais de um sistema de tratamento descentralizado do município de Florianópolis/SC, composto de um tanque séptico, seguido de um *wetland* construído, assim como propor um projeto de concepção de uma nova ETE empregando a ecotecnologia dos *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal. O trabalho visa contribuir com o bom funcionamento de um sistema de tratamento de esgotos, capaz de produzir um efluente com reduzido potencial poluidor. Além disso, tal estudo busca disseminar a importância e aplicabilidade dos sistemas de tratamento descentralizados e fomentar futuras pesquisas para avaliação do desempenho e rotina operacional do novo sistema de esgotamento sanitário.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Descrever e detalhar as condições estruturais do sistema de esgotamento sanitário existente no CETRE/EPAGRI, município de Florianópolis, assim como propor um projeto de concepção de uma nova ETE empregando a ecotecnologia dos *wetlands* construídos, com vistas à adequação.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever as condições da estrutura dos componentes do sistema de esgotamento sanitário existente;
- Verificar o estado de conservação e segurança da infraestrutura, visando a identificação dos pontos críticos que comprometem o bom funcionamento;
- Caracterizar o afluente em termos de matéria orgânica carbonácea, sólidos, nitrogênio e fósforo;
- Desenvolver um memorial de cálculo e confeccionar um projeto com detalhamentos do sistema proposto;
- Estimar a eficiência dos módulos propostos para o tratamento de esgoto.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 TRATAMENTO DE ESGOTOS

Segundo Von Sperling (2005), os esgotos domésticos são compostos por aproximadamente 99,9% de água e a fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos e microrganismos. No entanto, essa mínima parcela possui um enorme potencial poluidor de águas, sendo extremamente necessário passar por um processo de tratamento antes de ser lançada nos corpos d'água. Os constituintes dos esgotos podem ter suas características definidas quanto à natureza: física (sólidos suspensos, sedimentáveis, flutuantes), química (composto orgânico ou inorgânico, tóxico) e biológicas (bactérias, vírus, protozoários, organismos patogênicos) e à forma: sólida, líquida e gasosa (JORDÃO e PESSOA, 2009).

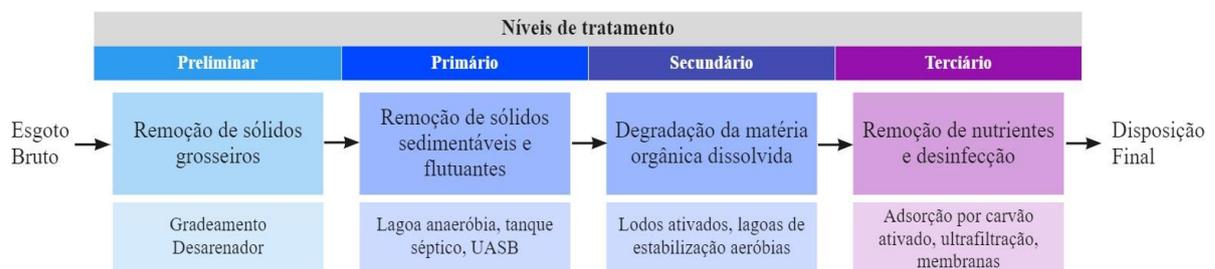
Em virtude desses constituintes presentes, o lançamento de esgoto não tratado é uma das principais fontes de poluição dos corpos hídricos e, também, responsável por comprometer o uso da água. Além da qualidade da água, o efluente sem tratamento também compromete o equilíbrio ambiental, representando uma ameaça aos seres vivos aquáticos. Isso ocorre porque as bactérias que decompõem a matéria orgânica presente nos efluentes demandam grandes quantidades de Oxigênio Dissolvido (OD) na água em ambientes naturais. Assim, a redução de oxigênio dos corpos hídricos causa mortandade dos peixes e seres vivos, além de grande proliferação de algas devido ao aumento de nutrientes, impedindo a entrada de luz solar e as trocas gasosas (SNS, 2020).

De acordo com a ABNT NBR 9648/1986 (ABNT, 1986), o Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) é o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados à coleta, ao transporte, ao tratamento e encaminhamento das águas residuais à disposição final adequada. Existem dois modais de sistema: centralizado (estações de tratamento de esgoto para grandes núcleos) e descentralizado (sistemas locais de tratamento). Os sistemas centralizados coletam grandes volumes de águas residuárias e realizam o tratamento e disposição final longe da fonte de geração, sendo utilizados em regiões urbanas e locais de alta densidade populacional. Enquanto os sistemas descentralizados realizam a coleta, o tratamento e a disposição final próximos à origem, sendo aconselhado em regiões isoladas e locais que não possuem rede de esgoto (LIBRALATO et al., 2012).

### 3.1.1 Etapas do tratamento de esgoto sanitário

O tratamento de esgotos resume-se em quatro níveis básicos, propriamente conhecidos como: preliminar, primário, secundário e terciário, como mostra a Figura 1. De acordo com Von Sperling (2005), estes diferentes níveis, tipos ou combinações de tratamento são selecionados de acordo com as características do esgoto a ser tratado e com o nível de tratamento demandado para atender aos padrões de qualidade e de lançamento requisitados pelas normas e legislações.

Figura 1 – Fluxograma dos níveis de tratamento



Fonte: Adaptado de Tonetti et al. (2018).

O tratamento em nível preliminar é responsável pela remoção de sólidos grosseiros, tais como areia e gordura. Esta primeira abordagem é fundamental para a remoção parcial da carga poluidora (contribuindo para um melhor desempenho das unidades subsequentes) e para a proteção de dispositivos (como bombas, tubulações, meios filtrantes, entre outros) contra desgastes, obstruções, depósitos e acúmulos de sólidos, que podem resultar em perda de desempenho e volume utilizável do sistema (JORDÃO & PESSOA, 2009).

O tratamento de esgoto em nível primário é onde ocorre a remoção de sólidos sedimentáveis (SST), orgânicos e inorgânicos por meio de decantadores e, também, parte da matéria orgânica é degradada (CORNELLI et al., 2014). Além dos SST, esta etapa é capaz de remover sólidos flutuantes, os quais ficam acumulados na parte superior do decantador e são normalmente compostos por óleos e gorduras (SCALIZE & BEZERRA, 2020).

O tratamento em nível secundário é aquele se destina à degradação da matéria orgânica dissolvida. Nessa etapa predominam-se mecanismos biológicos, isto é, a matéria orgânica é consumida por bactérias e microrganismos, removendo-a do esgoto. Além disso, no nível secundário podem ser removidos nutrientes (como nitrogênio e fósforo) e microrganismos patogênicos (CORNELLI et al., 2014; TONETTI et al., 2018; SCALIZE & BEZERRA, 2020).

A última etapa do tratamento, ou seja, o tratamento em nível terciário é uma etapa pouco comum, somente utilizado quando há alguma necessidade de tratamento específica, como a remoção de componentes específicos (usualmente compostos tóxicos ou não biodegradáveis), desinfecção do efluente tratado e/ou para a remoção complementar de contaminantes e nutrientes remanescentes dos processos anteriores. (CORNELLI et al., 2014; SCALIZE & BEZERRA, 2020).

Após tratado, o efluente segue para sua disposição final. Segundo Tonetti et al. (2018), para que o esgoto tratado possa seguir para a disposição final, ele deve ter um padrão mínimo de qualidade para evitar impactos ambientais e não oferecer risco de contaminação das águas.

Portanto, é importante controlar essa atividade e cuidar quanto ao volume de efluente despejado e a proximidade com locais ao redor para não causar danos, como erosão e salinização do solo e contaminação das culturas agrícolas, do solo, das águas superficiais e subterrâneas. Ainda assim, deve ser realizada manutenção adequada e frequente no sistema, garantindo que funcione da forma planejada e produza um efluente final tratado de boa qualidade (TONETTI et al., 2018).

### 3.2 TRATAMENTO DESCENTRALIZADO

Os sistemas convencionais, ou centralizados, de tratamento de águas residuárias envolvem avançados processos de coleta e tratamento para atendimento da coletividade. Esses sistemas de esgotamento sanitário coletam, tratam e descarregam grandes volumes de efluentes, assim, requerem o uso de bombas, tubulações, energia, e, conseqüentemente, grandes investimentos de capital. A construção e operação de sistemas centralizados são caros devido, principalmente, ao elevado custo de instalação da rede coletora e de mecanização (MASSOUD; TARHINI & NASR, 2009).

A aplicação do sistema convencional em comunidades rurais, isoladas ou com baixas densidades populacionais é onerosa não apenas em termos de prestação de serviços, mas também de experiência técnica qualificada para operação e manutenção periódica. Dessa forma, os sistemas de tratamento de esgoto descentralizados são apontados como uma excelente opção para suprir as necessidades sanitárias destas localidades, já que se operadas corretamente, são capazes de garantir os padrões de qualidade do efluente tratado e por consequência reduzir os efeitos sobre o meio ambiente e saúde pública (MASSOUD; TARHINI & NASR, 2009; CAPODAGLIO et al., 2017).

Entende-se por sistema de tratamento de esgotos sanitários descentralizado, ou *in loco*, unidades de saneamento que gerenciam o tratamento e disposição final dos despejos líquidos em locais próximos entre si, ou seja, em área adjacente ao local de geração, renunciando redes coletoras extensas, poços de visita e estações elevatórias, etc. (ABNT, 1997). O conceito de tratamento descentralizado foi fortemente encorajado e difundiu-se nas decisões de implantação de estruturas sanitárias de inúmeras localidades, sendo reconhecido com uma questão de sustentabilidade ambiental (MASSOUD; TARHINI & NASR, 2009).

No modelo de saneamento descentralizado são inúmeras estratégias para gestão de despejos líquidos, sendo o processo de avaliação e escolha da mais adequada, bastante complexo (LIBRATO; GHIRARDINI & AVEZZÚ, 2012). Em termos qualitativos pode-se afirmar que todas as estratégias são “boas”, contudo, a “mais apropriada” é aquela economicamente acessível, ambientalmente sustentável e socialmente aceitável. Nesse sentido, a população local deve ser capaz de financiar desde a implementação, até mesmo melhorias do sistema a longo prazo e por fim, o sistema deve garantir a proteção da qualidade ambiental, conservação dos recursos e a reutilização/reciclagem da água, sempre tendo em consideração o ambiente receptor e a aceitação pública (MASSOUD; TARHINI & NASR, 2009).

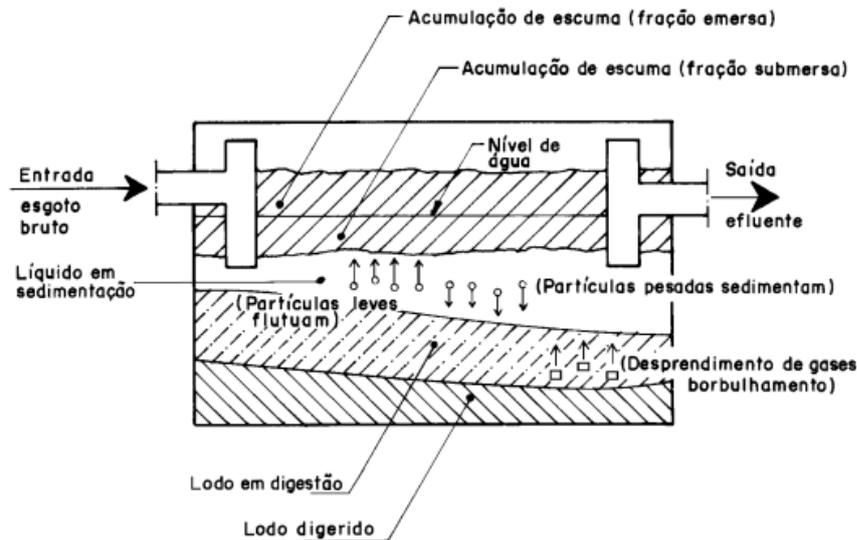
As abordagens descentralizadas são factíveis em nível primário, secundário e terciário. Fossa séptica, filtro anaeróbio, reatores biológicos, lagoas e *wetlands* construídos são algumas das estratégias de tratamento, enquanto a disposição final vai desde evaporação, evapotranspiração, infiltração no solo (valas de infiltração e sumidouros), descarga superficial em corpos d’água e reuso (TONETTI et al., 2018; ARIAS, FEIJOO & MOREIRA, 2020). Neste estudo, em especial, serão estudadas detalhadamente as particularidades do tanque séptico e *wetlands* construídos como unidades de tratamento descentralizadas empregadas no tratamento de esgotos.

### **3.2.1 Tanque Séptico**

O tanque séptico é uma unidade de fluxo horizontal, fundamentada em processos de sedimentação, flotação e digestão e aplicada para tratamento primário de esgotos. Essa abordagem descentralizada caracteriza-se por uma unidade cilíndrica ou prismática retangular e por seu dimensionamento realizado em função do número de pessoas e da contribuição diária per capita. O tanque séptico, ou também denominado decanto digestor, é normatizado pela

ABNT NBR 7229 (ABNT, 1993), norma técnica a qual estabelece as condições exigíveis para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos (Figura 2).

Figura 2 – Esquema de funcionamento de um tanque séptico



Fonte: ABNT NBR 7229 (ABNT, 1993).

Segundo Von Sperling (2005), os tanques sépticos funcionam como decantadores, nos quais os sólidos sedimentáveis que adentram no tanque são sedimentados para o fundo, constituindo a camada de lodo, a qual permanece ali tempo suficiente para sua estabilização. Substâncias como óleos, graxas e materiais leves flutuam até a superfície, constituindo a camada de espuma. Logo, o esgoto livre destes materiais deixa o tanque séptico na sua extremidade oposta (CHERNICHARO, 2016). Segundo Cornelli e colaboradores, o principal fenômeno que ocorre sobre o efluente é de ação física, através da decantação, mas, simultaneamente, ocorrem diversas funções como: flotação, desagregação e digestão parcial dos sólidos sedimentáveis (CORNELLI et al., 2014).

O efluente originário do tanque séptico ainda é contaminado, para tanto, se faz necessário o uso de técnicas para o tratamento complementar e disposição final. São inúmeras as técnicas, que devem ser selecionadas de acordo com as necessidades e condições locais onde é implantado o sistema de tratamento (ABNT, 1997). Outros aspectos que merecem atenção são o lodo e a espuma, os quais devem ser removidos periodicamente por profissionais especializados e gerenciados adequadamente, e em nenhuma hipótese lançados em corpos

d'água. Na Tabela 1, apresenta-se a eficiência do tratamento esperado para tanques séptico para alguns dos poluentes principais.

Tabela 1 – Eficiência esperada para tratamento em Tanque Sépticos

Referência	Parâmetros		
	DBO	DQO	Sólidos Suspensos
Von Sperling (2005)	35 a 60%	30 a 40%	60 a 70%
Jordão e Pessoa (2009)	30%	-	50%
Scalize e bezerra (2020)	30 a 45%	-	60%
Von Sperling e Sezerino (2018)	25 a 35%	20 a 30%	-

Fonte: Aatoria própria (2022).

### 3.2.2 *Wetlands* Construídos

*Wetlands* naturais (como brejos, mangues, pântanos) são áreas de transição entre o ecossistema terrestre e aquático, isto é, essas áreas úmidas estão sujeitas a inundações periódicas ou permanentes e possuem um eficiente processo de autodepuração. Dessa forma, a água, o solo e as plantas formam um ecossistema equilibrado com alto potencial de degradar a matéria orgânica, possibilitando a reciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, a melhora da qualidade da água (ANJOS, 2003).

Logo, os *Wetlands* Construídos (WC), ou zona de raízes, zonas úmidas, filtros com macrófitas e jardins filtrantes, são ecossistemas artificiais que utilizam os princípios básicos das terras úmidas de modificação da qualidade do efluente, reproduzindo as características dos sistemas naturais. Os WC se diferem dos *wetlands* naturais, principalmente, pelo seu regime hidrológico, o qual tem fluxo controlado, e pelo seu material filtrante, o qual é projetado para otimizar a condutividade hidráulica do sistema (SALATI et al., 2009). Assim, os WC são vistos como um filtro biológico pois realizam a remoção de poluentes através da filtração e intensa atividade de microrganismos que promovem reações de depuração da água (POÇAS, 2015).

De acordo com da Silva, Bernardes e Ramos (2015), esses sistemas utilizam o princípio de solo úmido em que a diversidade de interações entre o solo, micro-organismos e rizosfera da planta é responsável pela remoção de poluentes e decorrente transformação da qualidade das águas residuárias, através de processos químicos, físicos e biológicos. Esses processos são regulados por fatores climatológicos, especialmente pela temperatura, intensidade de luz solar e o regime hídrico. Assim, para a correta implantação das unidades de

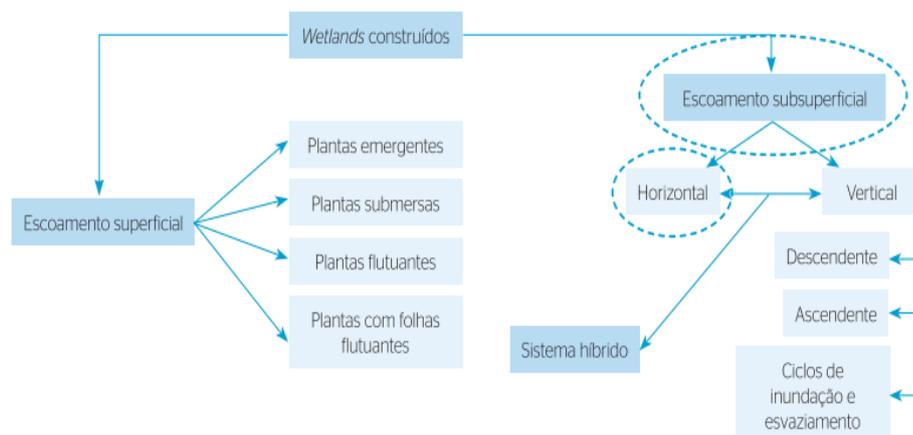
WC, são necessários estudos regionais sobre o funcionamento dos ecossistemas e clima do local em questão (SEZERINO et al., 2004).

Os WC são sistemas de tratamento de esgotos tecnicamente simples e que possuem uma série de vantagens em comparação a outras tecnologias, tais como: baixo custo de implantação e manutenção, operação simplificada e econômica, já que não é necessário o uso de energia elétrica para aeração e a mecanização é reduzida, eficiência considerável na remoção de DBO, DQO, sólidos sedimentáveis e nitrogênio. Além disso, é uma tecnologia resistente à variação hidráulica e de concentrações do afluente, com baixa produção de odores e capaz de fornecer habitat para a vida selvagem (SEZERINO et al., 2004; PLATZER et al., 2007; CORNELLI et al., 2014; DOTRO et al. 2017).

### 3.2.2.1 Tipos de Wetlands Construídos

Os WC são divididos em dois grupos de acordo com seu escoamento: os *wetlands* construídos de fluxo superficial e os *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial, sendo divididos em *wetland* horizontal de fluxo subsuperficial (WCFH) e *wetland* vertical de fluxo subsuperficial (WCFV) (VYMAZAL & KRÖPFELOVÁ, 2008). Além disso, cada uma pode ser dimensionada a operar com variações de dimensionamento, meio suporte, plantas, tipo de fluxo (ascendente/descendente e contínuo/intermitente), de acordo com as características específicas do efluente a ser tratado (DE PAOLI, 2010). O presente estudo aborda a modalidade de escoamento subsuperficial com fluxo horizontal de WC, como demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Classificação dos *Wetlands* Construídos.



Fonte: Sezerino et al. (2015). Em destaque o tipo de *wetland* utilizado neste estudo.

A modalidade de WC mais utilizada é aquela com escoamento subsuperficial combinada com reatores tipo decanto-digestores implantados a montante. Esses decantadores são responsáveis por promover o tratamento primário do efluente, reduzindo as concentrações de sólidos em suspensão e de matéria orgânica particulada da fração líquida. Produzindo, assim, um efluente líquido com menores concentrações desses compostos, o qual segue à unidade que emprega o processo de filtragem, tal como os WC de escoamento subsuperficial (SEZERINO & PHILIPPI, 2015).

Ao considerar a utilização de uma destas modalidades é indispensável delimitar os propósitos do uso, visto que cada uma das configurações é associada a objetivos específicos como remoção de matéria orgânica, nitrificação, desnitrificação e remoção/retenção de fósforo (SEZERINO et al., 2004). Embora existam muitas variantes de WC, nesta revisão bibliográfica será abordada de forma mais detalhada apenas uma das modalidades: os WCFH.

### 3.2.2.2 Wetlands construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal

Nos sistemas de WCFH, o efluente a ser tratado é disposto na porção inicial do leito, denominada “zona de entrada”, após essa etapa inicial, o efluente escoar vagarosamente através do meio filtrante, até atingir a extremidade oposta, denominada “zona de saída”. O escoamento do efluente ocorre de forma horizontal e sempre abaixo da superfície do meio filtrante, sem que a lâmina d’água seja visível, fazendo com que o mesmo percole entre os interstícios do meio filtrante e das raízes e rizomas das plantas. Neste contexto, o escoamento ocorre em um meio hidraulicamente saturado, onde os espaços vazios no meio filtrante estão preenchidos pelo efluente em tratamento (DE PAOLI, 2010; VON SPERLING & SEZERINO, 2018).

Nesta modalidade, o meio filtrante permanece constantemente saturado, o que proporciona condições de anaerobiose e maior tempo de contato entre o efluente e o meio filtrante. Essas circunstâncias contribuem, por exemplo, com a redução do nitrato a nitrogênio gasoso e adsorção/precipitação do fósforo (IWA; 2017; VYMAZAL, 2007). Paoli (2010) afirma que devido ao fato de o efluente não estar exposto durante o período de tratamento nos WC de fluxo subsuperficial, os riscos associados à exposição humana ou de animais aos organismos patogênicos é minimizado. Essa modalidade de WC é empregada como unidade de polimento, uma vez que, o tratamento prévio é primordial e pode ser desempenhado mediante tanque séptico, reatores do tipo UASB ou lagoa anaeróbia (SEZERINO et al., 2015; HUA et al., 2017).

### 3.2.3 Elementos constituintes dos sistemas de *wetlands*

#### 3.2.3.1 Meio filtrante

Esse elemento constituinte é responsável, sobretudo, pela filtragem do efluente, suporte das macrófitas e aderência para crescimento microbiano (POÇAS, 2015; VON SPERLING & SEZERINO, 2018). Conforme da Silva, Bernardes e Ramos (2015), os meios filtrantes, também denominados de meios suporte ou substratos, mais utilizados nos WC de fluxo subsuperficial são: areia grossa, cascalho, pedregulho e brita. Cada um destes materiais possui características distintas, como a permeabilidade e porosidade, que afetam a condutividade hidráulica do sistema e interferem no escoamento do efluente de forma positiva, retendo o líquido a ser tratado por um período maior, auxiliando no tratamento (SEZERINO et al., 2004).

Sezerino (2006) destaca que a associação entre diferentes meios filtrantes é possível, no entanto, não se dá com facilidade. Portanto, a escolha do meio suporte é definida pelo tipo de tratamento a ser empregado no sistema. Os mesmos autores ainda ressaltam a importância em priorizar a utilização de materiais economicamente viáveis e que possam ser encontrados na região com facilidade, com a finalidade de preservar algumas das características principais da tecnologia, a simplicidade. Para o tratamento secundário e terciário de águas residuárias é recomendado a utilização de materiais como britas e areias (SEZERINO et al., 2004).

#### 3.2.3.2 Macrófitas aquáticas

De acordo com Souza (2004), as macrófitas aquáticas cultivadas em sistemas de WC podem ser emergentes ou flutuantes, estas se diferenciam de outros tipos de vegetação em virtude da tolerância a ambientes saturados de água. Entre os diversos critérios de seleção da espécie, podem ser citados: fácil propagação e crescimento rápido; alta capacidade de absorção de poluentes; tolerância a ambiente eutrofizado; fácil colheita e manejo; e baixo valor econômico.

Para sistemas *wetlands* horizontais de fluxo subsuperficial, as macrófitas emergentes, ou seja, plantas enraizadas no meio filtrante e com folhas fora d'água, são o tipo de vegetação

mais adequadas, visto que nesse sistema a lâmina de água permanece abaixo da superfície do meio filtrante (DORNELAS, 2008; ESTEVES, 1998) e devido a sua alta resistência a águas altamente poluídas com grandes variações de nutrientes, pH, substâncias tóxicas, metais pesados e variações de temperatura (SALATI et al., 2019). Em geral, as principais ações atribuídas a vegetação nesse sistema de tratamento, conforme Matos (2021) e Brix (1997), são:

- Aumentar a retenção de sólidos presentes na água residuária (devido a presença das raízes e/ou rizomas que proporcionam melhor distribuição e redução a velocidade de escoamento do efluente e, conseqüentemente, melhores condições para sedimentação de sólidos e aumento no tempo de contato entre a água e as raízes das plantas);
- Facilitar as trocas gasosas no meio;
- Absorver nutrientes e poluentes, por meio de mecanismos de absorção e assimilação, devido ao requerimento nutricional das plantas;
- Servir de meio suporte para o desenvolvimento do biofilme, promovendo uma área disponível para aderência do mesmo nas raízes e rizomas, e propiciar a diversificação da microbiota no meio;
- Promover boas condições para o processo físico de filtração;
- Propiciar a diversificação da microbiota no meio;
- Remover patógenos;
- Servir como fonte de carbono biodegradável para micro-organismos desnitrificantes, possibilitando que ocorra o processo de desnitrificação;
- Melhorar as condições hidrodinâmicas do sistema;
- Proporcionar um agradável aspecto estético e habitat para animais;
- Evitar a exposição da água residuária e possível contato com pessoas.

Segundo Tonetti et al. (2018), no Brasil as macrófitas mais utilizadas são a taboa (*Thypha*), papiro (*Cyperus*), biri (*Canna*) e gramíneas como o capim Tifton (*Cynodon*). Salatti declara que é possível conter apenas uma espécie de plantas ou uma combinação entre espécies diferentes. Embora, a espécie mais estudada é a *Eichornia Crassipesda* (conhecida no Brasil por aguapé) por sua grande capacidade de crescimento vegetativo e robustez (SALATI et al., 2009). Recomenda-se para a escolha da espécie vegetativa a utilização de espécie nativas,

devido a maior capacidade adaptativa. Além disso, espécies exóticas são altamente competitivas e capazes de afetar a região de entorno (NORTE, ZANELLA & ALVES, 2015).

### 3.2.3.3. Micro-organismos

Os WC possuem uma comunidade heterogênea de microrganismos, envolvendo bactérias, fungos, algas, protozoários, sendo as bactérias o grupo mais representativo e principais encarregados pelos processos de decomposição da matéria orgânica carbonácea, mineralização do fósforo orgânico e transformação da série nitrogenada (nitrificação e desnitrificação). Isto é, os microrganismos presentes no biofilme são os responsáveis por promover as ações de depuração do esgoto nos *wetlands* (POÇAS, 2015).

### 3.2.4 Mecanismos de remoção nos *wetlands*

Os WC possuem ampla capacidade de remoção de diferentes tipos de poluentes e através de diferentes mecanismos de remoção, resumidos no Quadro 1.

Quadro 1 – Mecanismo de remoção de poluentes nos WC

Constituintes	Mecanismos de remoção
Sólidos Suspensos	Sedimentação e filtração
Matéria Orgânica	Degradação aeróbia e anaeróbia, sedimentação e filtração
Fósforo	Adsorção, precipitação e consumo pela vegetação
Nitrogênio	Amonificação, nitrificação, desnitrificação e consumo pelas plantas
Patógenos	Sedimentação, filtração, predação, irradiação UV e morte pela liberação de compostos provenientes das raízes das macrófitas presentes
Metais	Precipitação, oxidação e redução, filtração e consumo pelas plantas

Fonte: Adaptado de COOPER et al. (1997) apud POÇAS (2015)

A remoção da carga orgânica e dos poluentes nos *wetlands* ocorre tanto por processos abióticos (físico e químico), quanto por processos bióticos (microbiológico e fitológico), estando frequentemente associados. Os principais processos abióticos responsáveis pela remoção de contaminantes de águas residuárias são deposição e sedimentação, adsorção e

absorção, oxidação, redução, precipitação química, fotodegradação e volatilização (DORNELAS, 2008), detalhados no Quadro 2.

Quadro 2 – Principais processos abióticos em *wetlands*

Tipo de processo abiótico	Descrição
Deposição e sedimentação	Processo físico de remoção de materiais particulados e sólidos suspensos
Adsorção e absorção	Processos químicos que ocorrem nas superfícies de plantas, substrato, sedimento e resíduos, que resultam em retenção ou imobilização de contaminantes
Oxidação, redução e precipitação química	Conversão de metais para uma forma sólida insolúvel, imobilizando, assim, metais tóxicos
Fotodegradação e oxidação	Combinação de degradação e oxidação na presença de luz solar
Volatilização	Processo físico onde elevadas pressões de vapor elevam compostos ao estado gasoso

Fonte: Adaptado de Dornelas (2008).

Já os processos bióticos, ou seja, processos microbiológicos e fitológicos são: biodegradação aeróbica e/ou anaeróbica e assimilação, acumulação, degradação e volatilização de compostos orgânicos e inorgânicos realizado pelas plantas, exposto no Quadro 3.

Quadro 3 – Principais processos bióticos em *wetlands*

Tipo de processo biótico	Descrição
Biodegradação aeróbica/anaeróbica	Processos metabólicos dos microrganismos que resultam na remoção de compostos orgânicos
Fitovolatilização/evapotranspiração	Assimilação e transpiração de compostos voláteis
Fitoacumulação	Processo de assimilação e acumulação de elementos inorgânicos em plantas
Fitoestabilização	Retenção de compostos inorgânicos pelas raízes
Fitodegradação	“Quebra”, através de enzimas, de contaminantes orgânicos e inorgânicos, que são assimilados pela planta durante transpiração
Rizodegradação	Produção de compostos que incrementam a degradação microbiológica de compostos orgânicos

Fonte: Adaptado de Dornelas (2008).

### 3.2.5 Critérios de dimensionamento e parâmetros construtivos para *Wetlands*

Atualmente ainda não são encontradas normas técnicas brasileiras para o dimensionamento de sistemas WC para o tratamento de esgotos. Entretanto, encontram-se modelos e orientações com base no consenso entre pesquisadores e praticantes da área de *wetlands* que podem ser utilizados para definir critérios e parâmetros de projeto para o dimensionamento no Brasil e em regiões de clima tropical. No contexto brasileiro, o documento mais relevante é o intitulado “Dimensionamento de *Wetlands* Construídos no Brasil (documento de consenso entre pesquisadores e praticantes)” elaborado por Marcos Von Sperling e Pablo H. Sezerino, em 2018, base para o presente estudo

No documento referido, os conceitos simplificados de taxa de aplicação orgânica superficial e taxa de aplicação hidráulica superficial são os principais fatores para o dimensionamento de WC, sendo indispensáveis para o cálculo da área superficial requerida. Além destes fatores, os autores mencionam outros critérios de projeto que auxiliam na determinação de outros fatores importantes para o dimensionamento, tais como: comprimento e largura, volume útil ocupado pelo líquido, tempo de detenção, entre outros. Para WCFH, destacam-se algumas recomendações básicas propostas por Sezerino e Von Sperling (2018) para o dimensionamento no Brasil e demais locais de clima tropical, conforme segue:

- Taxa de aplicação orgânica superficial máxima: 6 a 15 gDBO.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;
- Taxa de aplicação hidráulica superficial máxima: 0,02 a 0,08 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;
- Taxa de aplicação orgânica máxima na seção transversal: 250 gDBO.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;
- Pré-tratamento requerido: Esgoto proveniente de tratamento primário (tanque séptico) ou esgoto de tratamento secundário de baixa eficiência (reatores anaeróbios; 1º estágio sistema francês de *wetlands* verticais).

Para esta modalidade de WC ainda são apresentadas características básicas para a construção e operação destes sistemas para o tratamento de esgoto. Embora existam inúmeras características, nesta revisão serão elencadas as principais:

- Altura do meio suporte: 0,5 a 0,9 m;
- Borda livre: ~ 0,1 a 0,2 m;
- Relação comprimento: largura: 2:1 – 4:1;

- Largura máxima de cada módulo: 25 a 30 m;
- Profundidade da lâmina de esgoto: 0,4 a 0,8 m;
- Comprimento da zona de entrada e zona de saída entre 0,5 e 1,0m;
- Plantas potencialmente utilizáveis: são recomendadas plantas como *Typha*, *Cyperus papyrus*, *Juncos spp*, *Brachiaria spp*, entre outras com funções ornamentais. Todas devem se adaptar bem às condições operacionais impostas;
- Manejo: plantas devem receber manejo adequado. Como por exemplo: controle de espécies invasoras e cortes frequentes durante a fase de crescimento da planta.

## 4 METODOLOGIA

O presente estudo está inserido no projeto do Centro de Treinamento da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, com a proposta de reestruturação do atual sistema de esgotamento sanitário. A pesquisa contempla duas etapas, sendo a primeira um diagnóstico para investigação das principais causas para o sistema existente não operar a contento. Para a investigação, foi realizada uma fiscalização *in loco*, com intuito de verificar o funcionamento do sistema como um todo, bem como o estado de conservação das estruturas. A segunda etapa compreende o desenvolvimento de um projeto de concepção de um novo sistema de esgotamento sanitário, com vista a reestruturação e o tratamento bem-sucedido do esgoto proveniente das instalações. O desenvolvimento de um novo sistema de esgotamento sanitário do tipo descentralizado servirá também para futuras pesquisas.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido entre os meses de outubro de 2021 e fevereiro de 2022, no Centro de Treinamento (CETRE) da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), localizada no bairro Itacorubi, no município de Florianópolis, SC, cujas coordenadas geográficas são 27° 34' 51'' de latitude (S) e 48° 30' 24'' de longitude (O). O clima em Florianópolis é classificado como subtropical mesotérmico úmido com verões quentes e invernos amenos, equivalente a classe Cfa de Köppen-Geiger. A temperatura média anual é de 20,5°C, a média de insolação anual é de 193 horas e a média de precipitação acumulada anual é de 1468 mm (CARLON, 2021; WREGGE et al., 2012).

A Epagri é uma empresa pública, vinculada ao Governo do Estado de Santa Catarina por meio da Secretaria de Estado da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural. A criação da Empresa, em 1991, uniu os trabalhos de pesquisa e extensão rural e pesqueira, sendo responsável por planejar, supervisionar, coordenar e controlar as atividades relacionadas à execução de pesquisa agropecuária, assistência técnica e rural. Os efluentes que alimentam o sistema existente atualmente provêm das edificações do CETRE, onde aproximadamente 100 pessoas trabalham e são treinadas, diariamente.

Conforme a CASAN (2021), a região possui rede de coleta de esgoto assentada, porém não está em funcionamento, assim é necessário utilizar um sistema descentralizado para realizar o tratamento do esgoto doméstico gerado. Na Figura 4 é apresentada a localização do município

de Florianópolis, SC, bem como o local onde encontra-se implantado o sistema de esgotamento sanitário, objeto de estudo deste trabalho.

Figura 4 – Localização da ETE



Fonte: Autoria própria (2022).

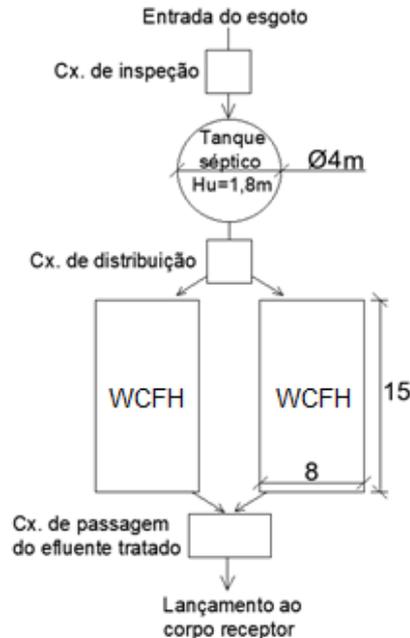
#### 4.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EXISTENTE

O sistema estudado é constituído por um tratamento primário com tanque séptico, seguido pelo tratamento secundário com dois leitos de WCFH e, após tratado, é lançado no corpo d'água próximo. O sistema é alimentado por esgoto doméstico de pessoas que, diariamente, trabalham e utilizam o local. Além disso, ocasionalmente há despejos líquidos resultantes do processamento de oficinas de fabricação de queijos, salames, processamento de conservas, e outros (SEZERINO & PHILIPPI, 2015).

Conforme Sezerino e Philippi (2015), o sistema é composto por uma caixa de inspeção antes de ser lançado no tanque séptico, o qual foi construído a partir de adaptações realizadas sobre uma cisterna circular já existente no local e contém um volume útil de 22,60 m<sup>3</sup>, com diâmetro de 4 m, e altura útil de 1,80 m. Após essa etapa, foi projetado para o efluente seguir para uma caixa de distribuição de seção quadrada (0,60x0,60m) a fim de distribuir uniformemente o efluente para os dois leitos de WCFH localizados a jusante. Cada unidade dos WC possui uma área de 127,50 m<sup>2</sup>, com dimensões de 8,50 x 15,00 m e profundidade média de 0,70 m.

Para melhor compreensão, um esquema ilustrado simplificado do sistema de esgotamento sanitário constituído de tanque séptico seguido de dois WCFH é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema ilustrado do sistema de esgotamento sanitário constituído de tanque séptico e WCFH



Fonte: Autoria própria (2022).

Na implementação do projeto, as plantas utilizadas nos WCFH foram uma espécie de gramínea, as *Zizanopsis Bonariensis*, conhecidas por junco, as quais são nativas dos banhados da região Sul do Brasil. O meio filtrante é composto por camadas alternadas de areia grossa, casca de arroz e brita de diferentes granulometrias, e as valas foram revestidas com lona plástica impermeável e preenchidas, nas extremidades, com brita número 2 cobrindo os drenos de entrada e saída (SEZERINO & PHILIPPI, 2015).

#### 4.3 DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL

O diagnóstico estrutural baseou-se na verificação da estrutura física mediante vistorias *in loco*. O sistema de esgotamento sanitário existente no CETRE/EPAGRI foi vistoriado duas vezes, a primeira no dia 10 de dezembro de 2021 e a segunda no dia 27 de janeiro de 2022, todas devidamente registradas por meio de relatórios fotográficos. Nesta etapa, buscou-se verificar o funcionamento do sistema como um todo, bem como o estado de conservação e

segurança das estruturas. Além de observações, utilizou-se constatações descritas previamente pela equipe do CETRE e informações obtidas mediante entrevistas com colaboradores.

#### 4.4 PARÂMETROS DE PROJETO

##### 4.4.1 Contribuição per capita de esgoto

A contribuição *per capita* de esgoto é o consumo de água por pessoa multiplicado pelo coeficiente de retorno (C). A ABNT NBR 13969 (ABNT, 1997) estabelece valores médios de contribuição de esgoto diária per capita (L.d<sup>-1</sup>) para determinados tipos de ocupação, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Contribuição diária de esgoto e de lodo fresco por tipo de prédio e ocupante

Prédio	Contribuição de esgoto (L.pessoa <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )	Contribuição de lodo fresco (L.pessoa <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )
2. Ocupantes temporários		
- Fábrica em geral	70	0,3
- Escritório	50	0,3
- Edifício público ou comercial	50	0,2
- Escolas e locais de longa permanência	50	0,2
- Bares	6	0,1
- Restaurantes e similares	25	0,1

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7229 (ABNT, 1993).

##### 4.4.2 Características do afluente

As características dos esgotos variam quantitativa e qualitativamente conforme a sua utilização. Identificar as suas características, associadas aos parâmetros de qualidade exigidos para encaminhar à sua destinação final, possibilita definir o nível de tratamento a ser adotado (JORDÃO & PESSOA, 2009). Para tanto, análises físico-químicas foram realizadas em amostras coletadas do afluente ao sistema de esgotamento sanitário.

Para a caracterização do afluente foram coletadas amostras de 1 L, em um ponto (caixa de passagem) precedente à entrada do tanque séptico. Após a coleta, o conteúdo foi devidamente armazenado, acondicionado e encaminhado para as análises. Estas análises foram realizadas nas dependências do Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) e do Laboratório do grupo de pesquisa GESAD da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC),

seguindo os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005).

Todos os parâmetros foram avaliados três vezes no mês de fevereiro de 2022, sempre em duplicata. No Quadro 4 apresentam-se de forma resumida os seguintes parâmetros físico-químicos avaliados, com propósito de caracterizar o afluente, e suas respectivas metodologias empregadas ao longo deste estudo. Para analisar os parâmetros DQO e nitrogênio amoniacal, em especial, foram utilizados kits da empresa ALFAKIT.

Quadro 4 – Variáveis avaliadas nas amostras e métodos analíticos utilizados

Parâmetro	Parâmetro	Unidade
DBO	Método Manométrico	mg.L <sup>-1</sup>
DQO	Método Colorimétrico (5220 D)	mg.L <sup>-1</sup>
pH	Método Potenciométrico (4500 H+)	-
Nitrogênio Amoniacal	Método Colorimétrico de Nessler	mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos Totais	Método Gravimétrico (2540 B)	mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos Suspensos Totais	Método Gravimétrico (2540 D)	mg.L <sup>-1</sup>
Fósforo Total	Método Colorimétrico (4500 P-C)	mg.L <sup>-1</sup>

Fonte: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005.

#### 4.4.3 Critérios de dimensionamento

Considerando a necessidade de tratamento do esgoto produzido nas instalações do CETRE e reestruturação do sistema de esgotamento sanitário do sistema de esgotamento sanitário existente, o objeto deste estudo compreende o dimensionamento de um sistema constituído de tanque séptico seguido de WCFH. Para o dimensionamento do tanque séptico, foram utilizadas informações, parâmetros e fórmulas fundamentadas na ABNT NBR 7229 (ABNT, 1993). As informações e parâmetros que se aplicam em projetos e construção de sistemas de tanque sépticos são apresentadas abaixo:

- Contribuição de despejos (Cd);
- Período de detenção (T);
- Taxa de acumulação de lodo digerido (K);
- Contribuição de lodo fresco (Lf);
- Profundidade útil mínima: 1,5 m;

- Profundidade útil máxima: 2,5 m;
- Diâmetro interno mínimo: 1,10 m;
- Dispositivo de entrada: parte emersa, pelo menos 5 cm acima da geratriz superior do tubo de entrada, e parte imersa aprofundada até 5 cm acima do nível correspondente à extremidade inferior do dispositivo de saída;
- Dispositivo de saída: parte emersa nivelada, pela extremidade superior, ao dispositivo de entrada, e parte imersa medindo um terço da altura útil do tanque a partir da geratriz inferior do tubo de saída;
- As geratrizes inferiores dos tubos de entrada e saída são desniveladas em 5 cm; entre a extremidade superior dos dispositivos de entrada e saída e o plano inferior da laje de cobertura do tanque, deve ser preservada uma distância mínima de 5 cm.

Enquanto, para o projeto de dimensionamento e construção do WCFH os parâmetros foram determinados de acordo com o documento “Dimensionamento de *Wetlands* Construídos no Brasil: documento de consenso entre pesquisadores e praticantes” e são apresentados novamente abaixo (VON SPERLING & SEZERINO, 2018):

- Taxa de aplicação orgânica superficial máxima: 6 a 15 gDBO. m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;
- Taxa de aplicação hidráulica superficial máxima: 0,02 a 0,08 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;
- Taxa de aplicação orgânica na seção transversal máxima: 250 gDBO. m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentadas informações sobre as características estruturais do sistema de esgotamento sanitário já existente no CETRE/EPAGRI, cálculos de vazão média, dimensionamento das unidades do sistema proposto, ou seja, tanque séptico seguido de WCFH, bem como as características dos elementos constituintes tais como: detalhes hidráulicos, detalhes do meio filtrantes, aspectos construtivos e a eficiência esperada do sistema. Logo, nos Apêndices A e B são encontradas as plantas de projeto com a planta baixa e perfil do sistema, assim como o detalhamento do tanque séptico e dos módulos de WCFH.

### 5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESTRUTURA DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

O sistema de esgotamento sanitário existente no CETRE/EPAGRI foi utilizado como objeto de estudo para o presente trabalho. A partir das vistorias *in loco*, relatórios fotográficos e entrevistas com colaboradores da unidade foi possível observar a atual situação da estrutura física do sistema de esgotamento sanitário como um todo e verificar suas condições operacionais, estados de conservação e segurança das estruturas, assim como pontos que influenciam negativamente seu funcionamento/desempenho. No geral, o sistema apresenta mau estado de conservação, inexistência de placa de identificação/sinalização, bem como falta de informações aos usuários. A falta de identificação e isolamento do sistema permite que qualquer pessoa tenha acesso com os módulos de tratamento.

O tanque séptico, o qual funciona como etapa de tratamento primário, encontra-se ativo. No entanto, verificou-se rachaduras frequentes nas paredes deste módulo e tampas de inspeção não vedadas corretamente, propiciando a visualização do esgoto no interior do tanque séptico e desprendimento de gases. Sabe-se que, tanques sépticos são reatores biológico anaeróbios que tratam o esgoto na ausência de oxigênio, e que a efetividade do tratamento depende do tempo de detenção hidráulica e andamento dos processos físicos, químicos e biológico em seu interior (SILVA, 2018; RICHARDS et al., 2016). Essas informações nos permitem pressupor que o mau estado de conservação deste módulo compromete diretamente a qualidade do tratamento, já que os micro-organismos responsáveis pela estabilização na matéria orgânica dependem da ausência de oxigênio.

Em relação ao sistema de tubulações de PVC de entrada e saída (Figura 6), em partes encontra-se desprotegida e suscetível a danos externos, apresenta crescimento vegetativo que compromete sua estabilidade e estrutura de sustentação improvisada. No geral, foi possível perceber na avaliação visual o estado de máxima deterioração do sistema de distribuição do esgoto. Também se constataram indícios de rachaduras e vazamentos constantes do esgoto, o que compromete a chegada de esgoto no tanque séptico e funcionamento do sistema como um todo. O vazamento do esgoto a montante do tanque séptico e o mau funcionamento da etapa de tratamento primário são as motivações para não se avaliar a qualidade do efluente tratado pelo tanque séptico. Acredita-se que estas circunstâncias não permitiriam uma caracterização real do efluente.

Figura 6 – Tubulação de entrada do tratamento de efluente



Fonte: Autoria própria (2022).

Caixas de passagem, inspeção e distribuição (Figura 7) apresentavam em seu interior vasta quantidade de material vegetativo, gramíneas e folhas. Este fato pode representar alterações significativas nas características físico-químicas tanto do afluente, quanto do efluente. Tais alterações vão desde alterações no pH, sólidos, nitrogênio e matéria orgânica carbonácea, devido aumento de substâncias orgânicas geradas pela decomposição do material vegetativo (NUNES, 2020; ÁVILA et al., 2019).

Figura 7 – Componentes do sistema de tratamento em más condições



Legenda: a) Caixa de inspeção após saída de um edifício; b) Caixa de passagem a montante do TS; c) Caixa de passagem após tanque séptico; d) Tampa de inspeção do tanque séptico. Fonte: Autoria própria (2022).

Os WCFH (Figura 8), etapa de pós-tratamento, apresentam-se como a parte mais deficiente do sistema. Observou-se que os módulos de WCFH estão inativos, devido, principalmente, à colmatção do meio filtrante. A colmatção é considerada uma das maiores disfunções manifestadas em WCs e em casos mais extremos apenas pode ser revertida mediante substituição do meio filtrante (NIVALA et al., 2012). Esse processo está diretamente associado ao acúmulo de sólidos, produção de lodo excedente e estratégias operacionais e tem como consequência a redução da de infiltração do esgoto no meio filtrante (NUNES, 2020; LANGERBRABER et al., 2003).

A redução efetiva de área livre para fluxo no meio filtrante, contribui efetivamente com o aumento dos níveis de esgoto dentro do perfil dos leitos e com o surgimento de escoamento nas superfícies (DE PAOLI; VON SPERLING, 2013). Segundo os mesmos autores, essa condição cria condições propícias para a proliferação de insetos e geração de odores desagradáveis. Adicionalmente apontou-se a existência de grandes rachaduras no sistema de tubulações de entrada (distribuição do afluente) e saída (coleta do efluente), bem como falta de manutenção das macrófitas e presença de espécies vegetativas invasoras.

Figura 8 – Sistema de WCFH inativado no CETRE/EPAGRI



Fonte: Aatoria própria (2022).

No tocante as macrófitas, as mesmas demandam manutenção periódicas, mediante podas, retirada de ervas daninhas e folhagem desprendida. Este processo garante a eficiência do módulo de tratamento e evita a devolução de nutrientes e matéria orgânica ao sistema (SUBTIL et al., 2018). Segundos os mesmos autores, o crescimento vegetativo exagerado pode ser o responsável pelo entupimento das tubulações, bloqueamento dos canais e proliferação de insetos. Levando em consideração todas as constatações feitas, infere-se que as falhas estruturais comprometem significativamente o funcionamento do sistema de esgotamento sanitário. Vide a adaptação do sistema já existente e à carência de rede de coleta e tratamento de esgoto na localidade, é indispensável a implantação de um novo sistema de tratamento de esgoto *in loco*.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE

Os resultados das análises físico-químicas representam a caracterização do esgoto bruto afluente ao sistema de esgotamento sanitário. Os dados obtidos para os parâmetros físico-químicos avaliados modificaram-se de acordo com a rotina de atividades das instalações do CETRE/EPAGRI, tais como atividades didático-industriais, uso excessivo da cozinha e

sanitários, devido a treinamentos e hospedagem de pessoas. Na Tabela 3 são apresentados os resultados das análises físico-químicas que caracterizam o afluente, com valores médios.

Tabela 3 – Dados de caracterização do afluente

Parâmetro	Unidade	Afluente			Média global
		Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg.L <sup>-1</sup>	360,50	170,50	-	254,50
Demanda Química de Oxigênio	mg.L <sup>-1</sup>	2453,40	541,20	366,87	1120,49
Fósforo Total	mg.L <sup>-1</sup>	18,87	18,02	5,67	14,19
Nitrogênio Amoniacal	mg.L <sup>-1</sup>	156,75	119,75	43,00	106,50
pH	-	8,3	8,2	7,3	7,9
Sólidos Totais	mg.L <sup>-1</sup>	739	892	710	780,33
Sólidos Suspensos Totais	mg.L <sup>-1</sup>	185	168	132	161,67

Fonte: Aatoria própria (2022).

### 5.3 DIMENSIONAMENTO

#### 5.3.1 Tanque séptico

O dimensionamento de tanques sépticos envolve parâmetros e fórmulas fundamentadas na ABNT NBR 7229 (ABNT, 1993), como já descrito anteriormente. Para o dimensionamento da primeira etapa foram adotados valores encontrados na referida norma técnica como parâmetros básicos (ver Tabelas 7, 8 e 9 do Anexo A), tem-se os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros de projeto definidos pela norma NBR 7229/1993

Parâmetro	Valor utilizado	Unidade
Número de pessoas	100	-
Contribuição de despejos (C)	50	L.pessoa <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup>
Tempo de detenção (T)	0,75	dias
Taxa de acumulação do lodo digerido (K)	217	-
Contribuição de lodo fresco (Lf)	0,2	L.pessoa <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup>

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7229 (ABNT, 1993).

Considerando a população de projeto de 100 pessoas e os parâmetros de projeto definidos pela norma NBR 7229/1993 e apresentados primeiramente, o volume útil total do tanque séptico pode ser obtido através da equação (I):

$$V \text{ útil [L]} = 1000 + n^{\circ} \text{ de pessoas } (C \times T + K \times L_f) \quad (I)$$

$$V \text{ útil} = 1000 + 100 (50 \times 0,75 + 217 \times 0,20) = 9090 \text{ L}$$

$$V \text{ útil} = 9,09 \text{ m}^3$$

A Tabela 5 resume as dimensões calculadas para o tratamento primário proposto. Maiores detalhamentos serão apresentados posteriormente na Seção 5.4

Tabela 5 – Medidas do Tanque Séptico

Medida	Valor	Unidade
Volume útil	9,09	m <sup>3</sup>
Profundidade útil	2	m
Altura Total	2,25	m
Diâmetro	2,4	m
a	5	cm
b	5	cm
c = 1/3.h	7	cm

Fonte: Autoria própria (2022).

### 5.3.2 *Wetlands* construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal

#### 5.3.2.1 Cálculos relativos à vazão e à carga de DBO afluente

O WCFH foi dimensionado com o objetivo de realizar o pós-tratamento do esgoto advindo do tanque séptico. Para este dimensionamento, como mencionado no tópico 3.2.5, a taxa de aplicação orgânica superficial e a taxa de aplicação hidráulica superficial foram os principais fatores considerados.

A vazão afluente considerada para o dimensionamento é a vazão média ( $Q_{méd}$ ). Por não se tratar de um sistema de tratamento de esgotos coletivo, ou seja, para pequenas comunidades, não se deve incorporar a este valor componentes associados à vazão de infiltração e parasitária, apenas a vazão doméstica (VON SPERLING & SEZERINO, 2018). Portanto, a

$Q_{méd}$  é calculada a partir da população de projeto e de um valor atribuído para a contribuição diária de esgoto de uma pessoa (C).

Para estimar o dado de entrada relativo à vazão média afluyente foram adotados os seguintes valores: população de projeto igual a 100 pessoas e contribuição diária de esgoto estimado em  $50 \text{ L.dia}^{-1}.\text{pessoa}^{-1}$  para edifícios públicos, assim a vazão média afluyente é calculada conforme a equação (II).

$$Q_{méd} = n^{\circ} \text{ pessoas} \times C \quad (\text{II})$$

$$Q_{méd} = 100 \times 50 \div 1000 = 5 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$$

A carga de DBO afluyente ao WCFH foi obtida por meio do produto da vazão média afluyente pela concentração de DBO obtida na etapa de caracterização do esgoto bruto (apresentada na), considerando o valor da carga removida na etapa de tratamento que precede o WCFH. Com isso, adotou-se uma eficiência esperada de 65% de remoção da DBO no tanque séptico e a carga de DBO afluyente à etapa de *wetlands* foi calculada pela equação (III).

$$\text{Carga de DBO}_{\text{afluyente}} = \text{Concent. DBO}_{\text{afluyente}} \times Q_{méd} \times \text{Efic. de remoção TS} \quad (\text{III})$$

$$\text{Carga DBO}_{\text{afluyente}} = 5 \times 254,50 \times 0,35 = 445,38 \text{ gDBO.d}^{-1}$$

### 5.3.2.2 Cálculo da área superficial requerida

O cálculo da área superficial requerida envolveu as variáveis taxa de aplicação orgânica superficial e taxa de aplicação hidráulica superficial, como mencionado anteriormente. Dentre as variáveis citadas, a taxa de aplicação orgânica superficial deve ser priorizada. Conforme Von Sperling e Sezerino (2018), a partir da carga de DBO afluyente aos WCFH e uma taxa de taxa de aplicação orgânica superficial limite de  $15 \text{ [gDBO.m}^{-2}.\text{d}^{-1}]$ , calcula-se a área superficial requerida, como mostra a equação (IV):

$$\text{Área superficial requerida [m}^2] = \frac{\text{Carga de DBO afluyente [gDBO.d}^{-1}]}{\text{Taxa de aplic. org. sup. [gDBO.m}^{-2}.\text{d}^{-1}]} \quad (\text{IV})$$

$$\text{Área superficial requerida} = \frac{445,38}{15} = 29,69 \text{ m}^2$$

Recomenda-se a verificação da taxa de aplicação hidráulica superficial mediante a área superficial requerida obtida. O valor resultante deve-se encontrar dentro da faixa usual de valores estabelecidos pela literatura: 0,02 a 0,08  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . Assim, calculou-se conforme a equação (V) a taxa de aplicação hidráulica superficial:

$$\text{Taxa de aplic. hid. sup. resultante } \left[ \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \right] = \frac{\text{Qméd afluente } \left[ \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \right]}{\text{Área superficial requerida } \left[ \text{m}^2 \right]} \quad (\text{V})$$

$$\text{Taxa de aplic. hid. sup. resultante} = \frac{5}{29,69} = 0,17 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$$

Nos casos em que a taxa de aplicação hidráulica esteja acima de valores típicos, como observado no cálculo anterior, a área superficial deve ser aumentada, de forma a que a taxa de aplicação hidráulica seja reduzida e adequada-se à faixa usual. Assim, a área superficial requerida foi recalculada a partir do critério da taxa de aplicação orgânica superficial, segundo a equação (VI).

$$\text{Área superf. requerida } \left[ \text{m}^2 \right] = \frac{\text{Qméd afluente } \left[ \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \right]}{\text{Taxa de aplic. hidráulica sup. } \left[ \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \right]} \quad (\text{VI})$$

$$\text{Área superficial requerida} = \frac{5}{0,08} = 62,50 \text{ m}^2$$

Com base nos dois valores de área superficial calculados, recomenda-se adotar o maior valor entre eles. Assim, conseqüentemente, cumpre-se com os critérios de taxa de aplicação orgânica superficial e taxa de aplicação hidráulica superficial. Ou seja, a área superficial requerida considerada é de 62,50  $\text{m}^2$ .

### 5.3.2.3 Cálculo das relações dimensionais

Após a determinação da área superficial requerida total, estabelece-se o número de unidades em paralelo, bem como a relação comprimento e largura de cada unidade (L:C). Com a intenção de flexibilizar a operação, na hipótese de manutenção, optou-se pela divisão da área total requerida em mais de uma unidade, neste caso 2 unidades. Desta forma, considerando 2 unidades de WCFH e a área total requerida de 62,50  $\text{m}^2$ , calcula-se a área de cada unidade confirma a equação (VII):

$$\text{Área de cada unidade [m}^2\text{]} = \frac{\text{Área total [m}^2\text{]}}{\text{Número de unidades em paralelo}} \quad (\text{VII})$$

$$\text{Área de cada unidade} = \frac{62,5}{2} = 31,25 \text{ m}^2$$

Para definição das relações dimensionais, optou-se pela relação comprimento e largura usual de 1:2. Por motivos de facilidades construtivas, a área total requerida considerada é de 32,0 m<sup>2</sup>. De acordo com estas definições, a L (largura) e C (comprimento) são obtidos seguindo as equações (VIII) e (IX):

$$L \text{ [m]} = \sqrt{\frac{A}{2}} \quad (\text{VIII})$$

$$L = \sqrt{\frac{32,2}{2}} = 4 \text{ m}$$

$$C = 2 \times L \quad (\text{IX})$$

$$C = 2 \times 4 = 8 \text{ m}$$

#### 5.3.2.4 Determinação da profundidade útil e da altura do meio filtrante

No documento de dimensionamento para *wetlands* construídos no Brasil (SEZERINO e VON SPERLING, 2018), recomenda-se altura do meio suporte entre 0,50 e 0,90 m e profundidade útil da lâmina de esgoto entre 0,40 e 0,80 m. Com essas informações, adotou-se para o presente sistema, uma altura do meio filtrante de 0,90 m e profundidade útil da lâmina de esgoto de 0,80 m. Ainda, especificou-se a distância entre o nível de esgoto e o topo do meio filtrante de 0,10 m e uma altura de borda livre (distância entre o topo do meio filtrante e o nível do terreno de 0,20 m, configurando um WCFH de 1,10 m de altura total).

#### 5.3.2.5 Cálculo do volume útil ocupado pelo líquido

Como sabe-se, os WCFH possuem meio filtrante permanentemente saturado. Desta forma, para o cálculo do volume útil ocupado pelo esgoto deve-se considerar o índice de vazios do material que compõe o meio filtrante, ou seja, porosidade (SEZERINO e VON SPERLING,

2018). Os autores recomendam o uso de materiais com alta resistência física e que não sofram desagregação. Neste caso, definiu-se a brita nº1 como meio filtrante, o que configura uma porosidade correspondente a 40% (TEIXEIRA, 2018). Posto isso, considerando o comprimento, largura e profundidade útil da lâmina de esgoto definidos anteriormente e a porosidade do meio filtrante referenciada, define-se o volume útil ocupado pelo líquido da seguinte maneira:

$$V_{\text{útil}} = \text{Comprimento} \times \text{Largura} \times \text{Profundidade útil} \times \text{Porosidade} \quad (\text{X})$$

$$V_{\text{útil}} = 8 \times 4 \times 0,8 \times 0,4 = 10,24 \text{ m}^3$$

#### 5.2.3.6 Tempo de detenção

Para o cálculo do tempo de detenção hidráulica no WCFH, utilizou-se a relação entre volume útil ocupado pelo esgoto ( $V_{\text{útil}}$ ) e a vazão média, conforme a equação (XI):

$$\text{Tempo de detenção} = \frac{\text{Volume útil [m}^3\text{]}}{\text{Qméd [m}^3\text{.dia}^{-1}\text{]}} \quad (\text{XI})$$

$$\text{Tempo de detenção} = \frac{10,24}{5} = 2,0 \text{ d}$$

#### 5.2.3.7 Cálculos adicionais relacionados ao processo

Como cálculos adicionais relacionados ao processo, recomenda-se calcular a taxa de aplicação orgânica na seção transversal. A determinação deste parâmetro visa evitar cargas aplicadas excessivas na seção transversal e uma possível colmatação prematura do meio filtrante. Para o cálculo, adotou-se um limite máximo permitido de  $250 \text{ gDBO.m}^{-2}\text{.d}^{-1}$ , conforme apresentado na seção de metodologia. Desta maneira, assumindo a carga de DBO afluente e a área da seção transversal (largura e profundidade útil da lâmina de esgoto), calculou-se a taxa de aplicação orgânica na seção transversal, conforme a equação (XII).

$$\text{Taxa aplic. orgânica máx. na seção transv. [gDBO.m}^{-2}\text{.d}^{-1}\text{]} = \frac{\text{Carga DBOafluente [gDBO.d}^{-1}\text{]}}{\text{Área da seção transv. [m}^2\text{]}}$$

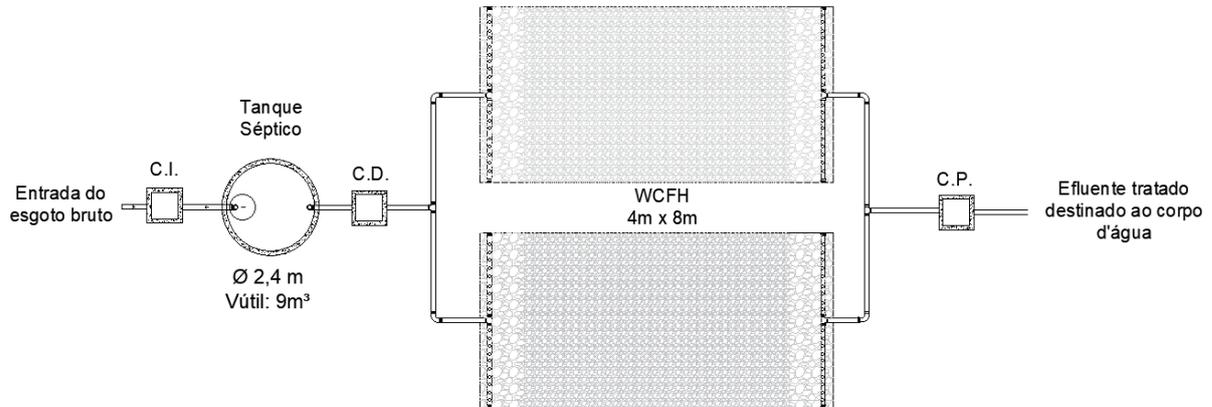
$$\text{Taxa aplic. orgânica máx. na seção transv.} = \frac{445,38}{(4 \times 0,8)} = 139,20 \text{ gDBO.m}^{-2}\text{.d}^{-1}$$

Aguiar (2020), aponta que para este valor é provável de constatar que o risco de colmatação precoce por excesso de sólidos é mínimo, visto que o valor resultante para o cálculo da Taxa de aplicação orgânica máxima seção transversal é inferior ao limite máximo permitido.

#### 5.4 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

Projetou-se um sistema de esgotamento sanitário do tipo descentralizado constituído de tanque séptico e WCFH, como indicado na Figura 9. Além desses módulos, o sistema contará com caixas de inspeção, distribuição e passagem, com dimensões de 0,60 m de largura e 0,60 m de comprimento. O tratamento se iniciará a partir da chegada do esgoto bruto no tanque séptico de um volume útil de 9,0 m<sup>3</sup> e profundidade útil de 2,0 m. Após esta etapa inicial, o efluente proveniente do tratamento primário será distribuído por gravidade diretamente para a etapa de pós-tratamento, no presente estudo WCFH.

Figura 9 – Esquema do sistema dimensionado



Fonte: Autoria própria, 2022.

Os WCFH foram projetados para uma área superficial total de 32 m<sup>2</sup>, 0,20 m de borda livre e 0,90 m de altura do meio suporte. Conforme as recomendações de Von Sperling e Sezerino (2018), cada uma das unidades de WCFH deverão ser revestidas com lona plástica impermeável ou geomembranas. As zonas de entrada (distribuição do afluente) e saída (coleta do efluente) terá comprimento de 1,0 m e deverá ser preenchida com britagem correspondente a brita 4 (50 a 76 mm). A tubulação de distribuição será submersa na zona de entrada e deverá

ter diâmetro nominal de 100 mm com furos de 20 mm, espaçados a cada 0,1 m. Deve-se considerar as mesmas especificações para a tubulação de drenagem ou coleta do efluente.

Para compor o leito filtrante, optou-se por brita nº1, devido a fácil disponibilidade. Para os WCFH do presente projeto, a espécie de macrófita selecionada foi a *Cyperus Papyrus*, também denominada como papiro. A seleção da macrófita foi realizada levando-se em consideração a boa adaptação às condições operacionais impostas, a função ornamental, assim como a disponibilidade local, o que simplifica o transplântio. Quanto a manutenção, as macrófitas devem ter manejo adequado periodicamente e controle de espécies invasoras, de forma a evitar as complicações descritas na Seção 5.1 (ver página 41) e maximizar sua contribuição positiva. Com as podas regulares, deve-se manter ocupação da espécie vegetativa em torno de 50%, tal procedimento preserva o ambiente arejado, garante umidade, incidência de luz, assegura a taxa de crescimento e suas atividades biológicas relacionadas à assimilação de nutrientes e outros compostos. Um destino para a biomassa gerada e podada nos *wetlands* é a compostagem (SUBTIL et al., 2018; VON SPERLING & SEZERINO, 2018).

#### 5.4.1 Estimativa das concentrações do efluente final

Globalmente, sistemas constituídos por tanque séptico seguido WCFH são capazes de alcançar elevadas remoções para parâmetros tais como: DBO, DQO e SST. No entanto, o mesmo não pode ser dito para parâmetros como fósforo e nitrogênio. Como atestam os autores do “documento de dimensionamento para *wetlands* construídos no Brasil”, a eficiência global para sistemas constituídos de tanque séptico e WCFH é de 85% para DBO, 80% para DQO, 20% para fósforo total, 40% para nitrogênio amoniacal e 85% para SST.

Assim, assumindo as concentrações de entrada descritas na Seção 3.2.5 (ver Tabela 2) e a eficiência global dos respectivos parâmetros, descritas por Von Sperling e Sezerino (2018), estimou-se as concentrações do efluente final. Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros principais, as respectivas eficiências globais e concentrações finais estimadas.

Tabela 6 - Estimativa das concentrações do efluente final

Parâmetro	Concentração afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência estimada Tanque séptico + WCFH	Concentração efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
Demanda Bioquímica de Oxigênio	265,50	85%	39,83
Demanda Química de Oxigênio	1120,49	80%	224,10
Fósforo Total	14,19	20%	11,35
Nitrogênio Amoniacal	106,50	40%	63,90
Sólidos Suspensos Totais	161,67	85%	24,25

Fonte: Aatoria própria, 2022.

O reuso planejado apresenta-se como um tema atual e de interesse crescente, bem como uma prática capaz de proporcionar máximos benefícios (MIERZWA & HESPANHOL, 2005). Portanto, para o sistema de esgotamento proposto recomenda-se fazer o reuso do efluente tratado internamente nas dependências do CETRE/EPAGRI. Para tanto, deve-se avaliar o tipo de reuso pretendido e a qualidade necessária. O reuso para fins não potáveis, ou seja, “menos nobres”, tais como irrigação de jardins e campos agrícolas, lavagem de pisos e veículos automotivos deve ser considerada a primeira opção de aplicação (FIGA, 2017; COSTA, 2010).

Por se tratar de um sistema de esgotamento sanitário experimental e considerando as concentrações finais de nutrientes é possível combinar os módulos de tratamento propostos a outro sistema de polimento final para alcançar uma qualidade superior e sanitariamente segura, assim como avaliado por Figa (2017). No Brasil não há critérios bem definidos sobre o reuso, mas existem documentos que podem servir como base. O Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), por exemplo, apresenta perspectivas quanto a utilização controlada de esgotos tratados: segurança sanitária, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica.

Segundo o Prosab (2003) o reuso de esgoto tratado tem uma série de vantagens e pode entre outras coisas, contribuir com a reciclagem de água e nutrientes, proporcionando alívio na demanda por água e economia com aquisição de fertilizantes, contribuir com a produção de alimentos, preservação e proteção do meio ambiente e amenização do clima. Mesmo diante de tantos aspectos vantajosos a caracterização e o monitoramento prévio periódico de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos são essenciais para o sucesso da prática.

## 6 CONCLUSÃO

Mediante a proposta do diagnóstico estrutural, verificou-se os dois módulos de WCFH são a etapa mais colapsada no sistema de esgotamento sanitário do CETRE/EPAGRI, apresentando meio filtrante colmatado, tubulações de entrada e saída com rachaduras e presença de espécies vegetativas invasoras, o que impede seu funcionamento. Para os demais componentes do sistema de esgotamento sanitário foi identificado mau estado de conservação e segurança das estruturas, rupturas frequentes nas paredes do tanque sépticos, caixa de inspeção e distribuição e extravasamento de esgoto.

As constatações feitas parecem comprometer significativamente o funcionamento do sistema de esgotamento sanitário existente e a qualidade do efluente final. Isto posto, considerando a adaptação do sistema já existente, associada à carência de rede de coleta e tratamento de esgoto na localidade, o que impossibilita a conexão à rede, é indispensável a implantação de um novo sistema de tratamento *in loco*. Mediante esta necessidade, o presente trabalho propôs o projeto de concepção um novo sistema de tratamento composto por tanque séptico como tratamento primário e, para o pós-tratamento, dois leitos de WCFH, dimensionados para atender a geração de esgoto doméstico para 100 pessoas, possibilitando a adequação necessária do tratamento atual.

O projeto de concepção de exibiu as seguintes dimensões para os novos componentes: tanque séptico com volume de 9,09 m<sup>3</sup>, seguido de dois módulos de WCFH com área superficial de 32 m<sup>2</sup> cada. As eficiências de tratamento esperadas para este projeto foram embasadas no que a literatura recomenda para sistemas de esgotamento sanitário semelhantes aos apresentados no presente projeto. Ademais, o novo sistema será considerado como uma estação de tratamento experimental e será capaz de servir para futuras pesquisas de caráter acadêmico para avaliação do desempenho, rotina operacional e até mesmo reuso do efluente internamente nas dependências do CETRE/EPAGRI para fins não potável, tais como: irrigação de plantas ornamentais e plantas não alimentícias.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Com a realização deste trabalho, surgem algumas recomendações para trabalhos futuros, sendo elas:

- Estimar os custos dos materiais e mão de obra para implantação do sistema proposto;
- Avaliar o desempenho do sistema proposto em termos de remoção de matéria orgânica carbonácea, sólidos, nitrogênio e fósforo;
- Avaliar o potencial de reuso de água por meio do efluente gerado pelo sistema proposto e as modalidades que apresentam melhor viabilidade para o CETRE/EPAGRI;
- Realizar estudos de monitoramento em relação à aspectos microbiológicos, incluindo avaliação de riscos em função do uso pretendido;
- Compilar informações sobre operação e desempenho durante os anos de operação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS, A.; FEJOO, G.; MOREIRA, M. T. Environmental profile of decentralized wastewater treatment strategies based on membrane Technologies. **Current Developments in Biotechnology and Bioengineering**, p. 259-287, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **ABNT NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **ABNT NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ÁVILA, F. G. et al. **Performance of Phragmites Australis and Cyperus Papyrus in the treatment of municipal wastewater by vertical flow subsurface constructed wetlands. International Soil and Water Conservation Research**, 2019.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. **Manual de Saneamento**. 3 ed. Brasília: FUNASA, 2006.

BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS. **Diagnóstico Temático: Serviço de Água e Esgoto – 2020**. Brasília: SNIS, 2021.

BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?. **Water Science and Technology**, v. 35, n. 5, p. 11-17, 1997.

CAPODAGLIO, A. G. et al. Sustainability of decentralized wastewater treatment Technologies. **Water Practice & Technology**, v. 12, n 2, 2017.

CARLON, P. **Aplicação de biofertilizantes de excretas humanas para o cultivo de alimentos: eficiência agrônômica e comportamento microbiológico**. Florianópolis, 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina.

CASAN. 2021. **Florianópolis: seguem obras de implantação da rede coletora de esgotos no bairro José Mendes**.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbicos**. 2ª ed. Belo Horizonte: DESA – Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. v. 5, 379 p.

CORNELLI, R. et al. Métodos de Tratamento de esgotos domésticos: uma revisão sistemática. **Revista de Estudos Ambientais**. v. 16, n. 2, p. 20-36. 2014.

COSTA, R. H. P. G. Reuso. In: TELLES, Dirceu D'alkmin; COSTA, R. H. G. **Reuso da Água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. p. 153-207

DA SILVA, S. C.; BERNARDES, R. S.; RAMOS, M. L. G. **Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 4, p. 533–542, out/dez 2015.

DE PAOLI, A. C. **Análise de desempenho e comportamento de wetlands horizontais de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos**. Belo Horizonte, 2010. 165 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais.

DE PAOLI, A. C.; VON SPERLING, M. Evaluation of clogging in planted and unplanted horizontal subsurface flow constructed wetlands: solids accumulation and hydraulic conductivity reduction. **Water Science e Technology**, p. 1345-1352, 2013.

DORNELAS, F. L. **Avaliação do desempenho de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. Belo Horizonte, 2018. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais.

DOTRO, G. et al. Treatment Wetlands. Londres: **IWA Publishing**, 2017. 154 p

FIGA, J. B. **Tratamento de efluente de wetlands construídos para reuso em fins não potáveis**. 2017. Florianópolis.

HUA, Y et al. Effects of plants and temperature on nitrogen removal and microbiology in pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands treating domestic wastewater. **Ecological Engineering**, p. 70-77, 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Painel Saneamento Brasil**. 2022.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro, 2009. 5 ed.

KATO, M. T. et al. Oportunidades e desafios na implementação de estações de tratamento de esgoto descentralizadas. In: DOS SANTOS, A. B. (Org.). **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. p. 23-47. Ceará, 2019.

LIBRALATO, G.; VOLPI GHIRARDINI, A.; AVEZZÙ, F. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. **Journal of Environmental Management**, p. 61–68, 2012.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. **Journal of Environmental Management**, v. 90, 64, p. 652–659, 2009.

MATOS, M. P.; MATOS, A. T. Importância do substrato poroso e atuação das macrófitas no desempenho dos wetlands construídos utilizados no tratamento de águas residuárias. In: SEZERINO, P. H.; PELISSARI, C. (Org). **Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras**. Curitiba, 2021.

MENDONÇA, A. A. J. **Avaliação de um sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos em escala real composto por tanque séptico e wetland construída híbrida**. São Paulo, 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo.

MONTEIRO, R. C. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo “Wetlands” para tratamento de água cinza visando o reuso não potável**. São Paulo, 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária), Universidade de São Paulo.

NIVALA, J. et al. Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Measurement, modeling and management. **Water Research**, 46, p. 1625-1640, 2012.

NUNES, A. S.; COSTANZI, R. N. **Wetland construído para o tratamento de esgoto sanitário bruto: problemas e soluções**. 2020. In.: III Encontro sul brasileiro de engenharia sanitária e ambiental.

PLATZER, C. et al. **O wetland como componente de ECOSAN – experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical**. In.: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE SANITATION. Fortaleza, 2007

POÇAS, C. D. **Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário: controle de nutrientes**. São Paulo, 2015. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo.

SALATI, E.; SALATI FILHO, E.; SALATI, E. **Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas**. *Biológico*, São Paulo, v. 65, n. 1/2, p. 113-116, jan./dez. 2003.

SCALIZE, P. S.; BEZERRA, N. R. **Saneamento Básico Rural**. Goiânia: Universidade Federal de Goiânia, 2020.

SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S. **Tratamento de esgotos utilizando o potencial solo – planta**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

SEZERINO, P. H. et al. Wetlands construídos horizontais aplicados no tratamento descentralizado de esgotos. **Revista Engenharia e Construção Civil**, Curitiba, v.2, n.2, p.1-9, jul. 2015.

SEZERINO, P. H. et al. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias**: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.20, n.1, p. 151-158, jan/mar. 2015.

SEZERINO, P. H. et al. **Sistemas naturais para o tratamento descentralizado de esgotos nos municípios da Grande Florianópolis/ SC**: Ferramenta para o desenvolvimento regional sustentável. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Florianópolis, 2004.

SUBTIL, E. L. et al. Manual de sistemas de Wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitários: implantação, operação e manutenção. 2018.

TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas**: referencial para a escolha de soluções. 1 ed. Biblioteca UNICAMP, Campinas. 2018.

VYMAZAL, J.; KRÖPFELOVÁ, L. Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow. **Environmental Pollution**, v. 14, 2008.

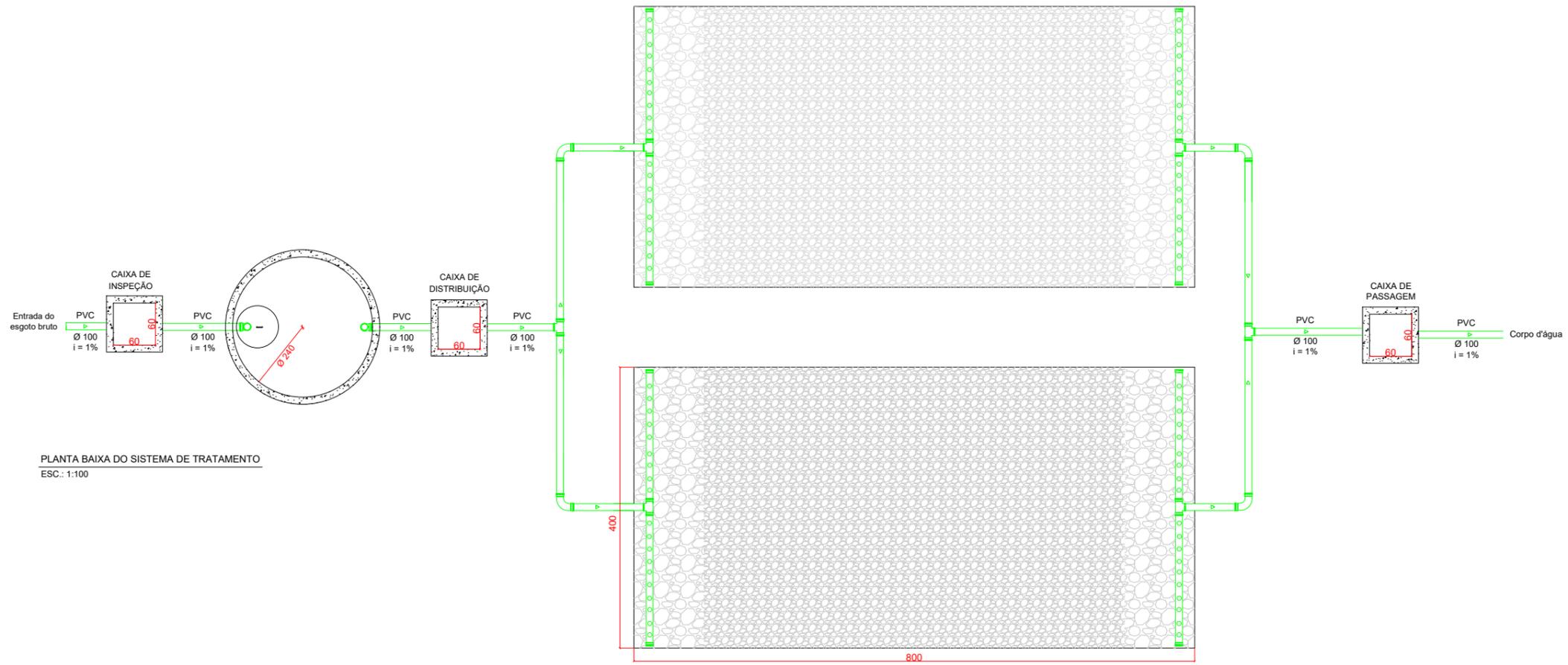
VON SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 3 ed, v. 1.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. **Boletim Wetlands Brasil**: Edição Especial. 65p. dez./2018.

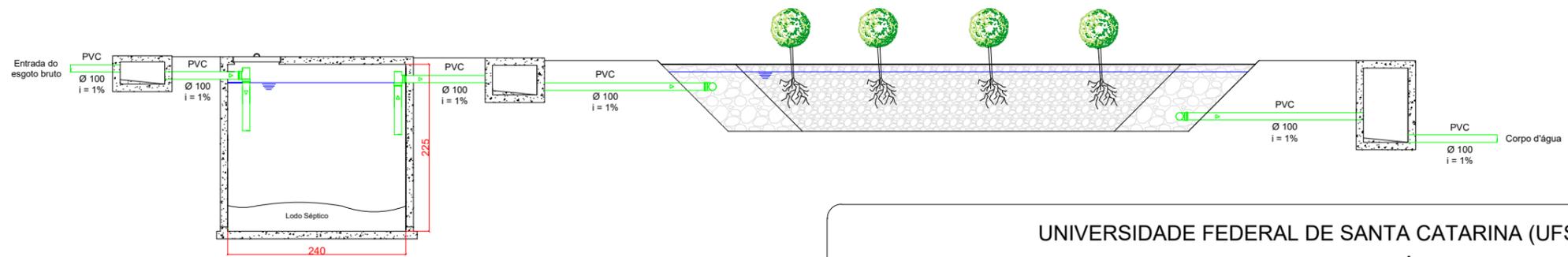
WREGGE, M. S. Embrapa Brasília. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil**. Distrito Federal, 2012.

## APÊNDICE A

Planta baixa e perfil do sistema de tratamento.



PLANTA BAIXA DO SISTEMA DE TRATAMENTO  
ESC.: 1:100



PERFIL DO SISTEMA DE TRATAMENTO  
ESC.: 1:100

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC)  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ENS)  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:  
PLANTA BAIXA E PERFIL DO TRATAMENTO DE EFLUENTE

MUNICÍPIO:  
FLORIANÓPOLIS

ORIENTADORA:  
AMANDA SILVA NUNES

FOLHA:  
01/02

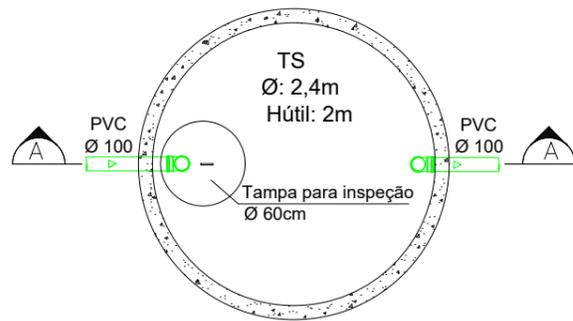
DATA:  
MAR/2022

ELABORADO POR:  
HELENA AMARAL NYFFELER CUNHA

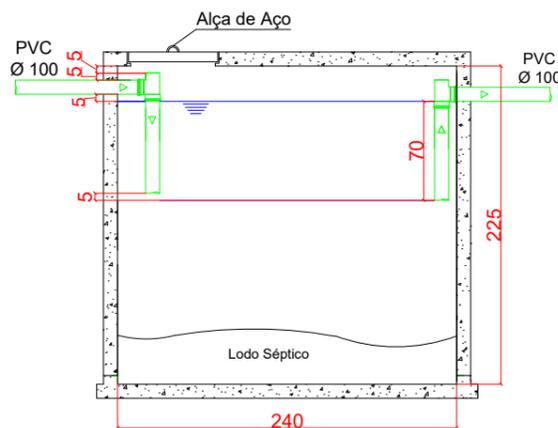
ESCALA:  
Indicada

## **APÊNDICE B**

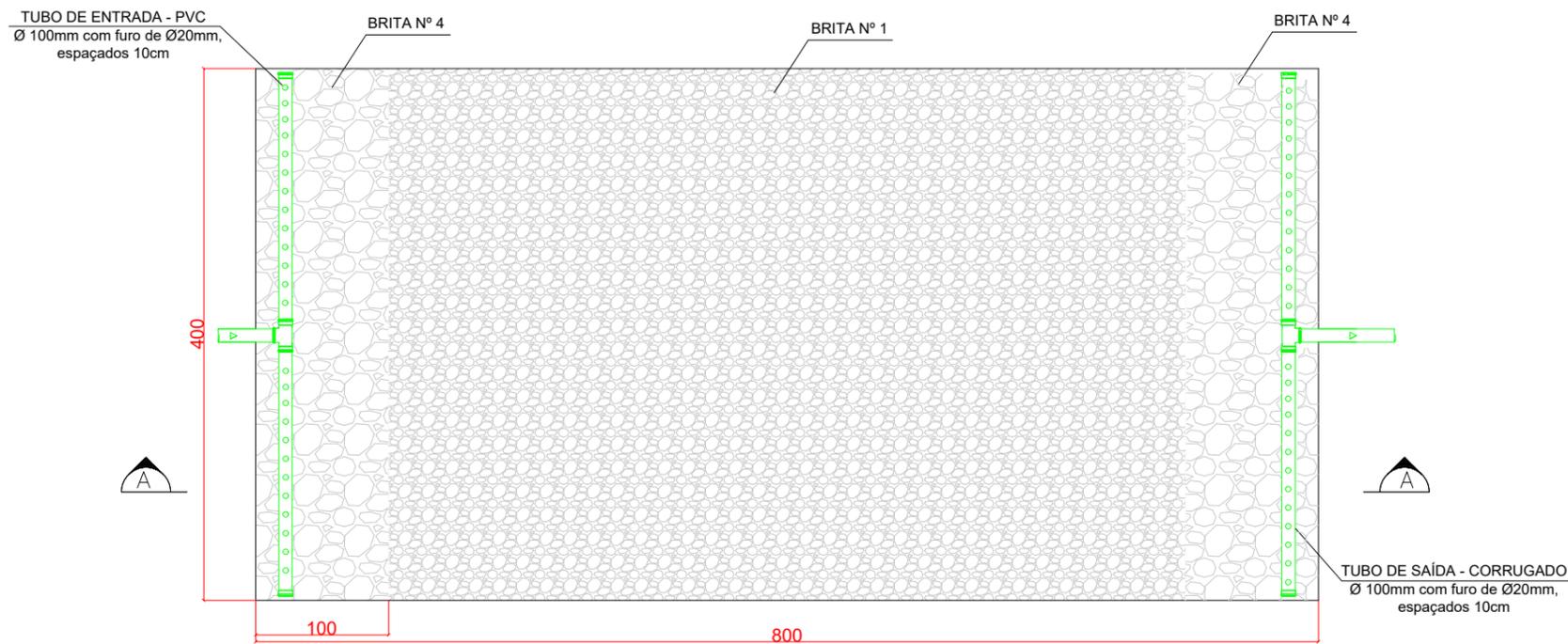
Detalhamento do tanque séptico e do WCFH.



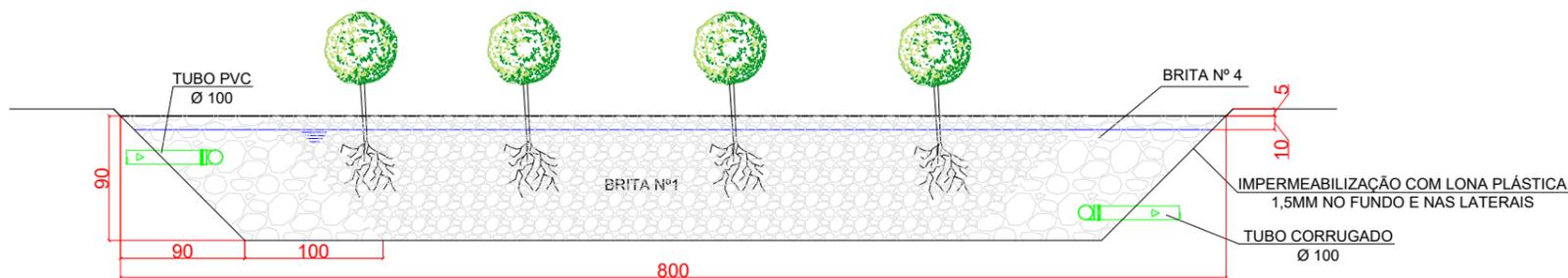
PLANTA BAIXA TANQUE SÉPTICO  
ESC.: 1:50



CORTE AA  
ESC.: 1:50



PLANTA BAIXA WCFH  
ESC.: 1:50



CORTE AA  
ESC.: 1:50

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC)  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ENS)  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:

DETALHAMENTO TANQUE SÉPTICO E WCFH

MUNICÍPIO:

FLORIANÓPOLIS

ORIENTADORA:

AMANDA SILVA NUNES

FOLHA:

02/02

DATA:

MAR/2022

ELABORADO POR:

HELENA AMARAL NYFFELER CUNHA

ESCALA:

Indicada

## ANEXO A

As Tabelas 7, 8 e 9 foram retiradas da norma ABNT NBR 7229/1993.

Tabela 1 – Período de detenção do despejo por faixa de contribuição diária

Contribuição diária [L]	Tempo de detenção [dias]
Até 1500	1,00
De 1501 a 3000	0,92
De 3001 a 4500	0,83
De 4501 a 6000	0,75
De 6001 a 7500	0,67
De 7501 a 9000	0,58
Mais que 9000	0,50

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7229 (ABNT, 1993)

Tabela 2 – Taxa de acumulação total de lodo (K), por intervalo entre limpezas e temperatura ambiente

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

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7229 (ABNT, 1993)

Tabela 3 – Profundidade útil mínima e máxima por faixa de volume útil

Volume útil [m <sup>3</sup> ]	Profundidade útil mínima	Profundidade útil máxima
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7229 (ABNT, 1993)