



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

THAÍS CONCEIÇÃO CUTRIM

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE *WETLAND* CONSTRUÍDO COMO
COMPLEMENTAÇÃO AO TRATAMENTO DA ETE DE UMA EMPRESA DE
RECICLAGEM**

Palhoça

2019

THAÍS CONCEIÇÃO CUTRIM

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE *WETLANDS* CONSTRUÍDO COMO
COMPLEMENTAÇÃO AO TRATAMENTO DA ETE DE UMA EMPRESA DE
RECICLAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária
da Universidade do Sul de Santa Catarina
como requisito parcial à obtenção do título de
Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Carlos Roberto Bavaresco, Ms.

Palhoça

2019

THAÍS CONCEIÇÃO CUTRIM

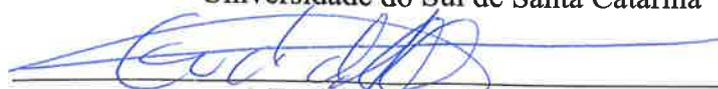
**DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE *WETLANDS* CONSTRUÍDO COMO
COMPLEMENTAÇÃO AO TRATAMENTO DA ETE DE UMA EMPRESA DE
RECICLAGEM**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina.

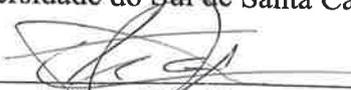
Palhoça, 18 de junho de 2019.



Professor e orientador Carlos Roberto Bavaresco, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Euclides Ademir Espíndola, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Thiago Braglia, Lic.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho a minha mãe e meus avós que me apoiaram e lutaram para que isso fosse possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, e minha mãe que sempre me apoiou com todo amor e confiança em mim.

A minha família que me deu a oportunidade da graduação com todo apoio e compreensão.

Aos meus amigos que viveram comigo durante este período alvorçado, Bruno e Hitalo. As duas grandes apoiadoras Juliana e Julyanna, muita gratidão e orgulho por ter vocês ao meu lado.

Ao proprietário da empresa e a engenheira responsável pelo monitoramento da ETE pela disponibilidade e ajuda nos materiais para que fosse possível este trabalho.

“O conhecimento nos faz responsáveis” (Che Guevara).

RESUMO

O lançamento de efluentes indústrias e doméstico gera grandes problemas ambientais no país, com a contaminação de mananciais de água, alteração da dinâmica dos ecossistemas aquáticos e a saúde humana. Apesar do avanço dos serviços de gestão do saneamento básico no Brasil com a criação em 1969 do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), a eficiência e universalização dos serviços de esgotamento sanitário estão distantes da realidade brasileira. Com os altos custos de implantação destes serviços, os sistemas descentralizados de tratamento de esgoto surgem como solução tecnológica para a melhoria desse cenário. As *wetlands* construídas apresentam-se como tecnologias eficientes recentemente comprovadas para tratamento e polimento de esgoto sanitário. Comparando com os sistemas convencionais de tratamento, são de baixo custo, fácil operação e manutenção, além de harmonizar paisagisticamente com o ambiente.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho dos *wetlands* construídos como complementação aos sistemas individuais de tratamento para melhoria da qualidade dos efluentes, através de estudos que avaliaram o *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV) de uma ETE pertencente a uma empresa de reciclagem na cidade de Garopaba - SC, no qual apresentou boa eficiência de remoção de carga orgânica, e outros parâmetros físico-químicos analisados, atendendo aos padrões da legislação brasileira, além de bons custos de implantação e baixo custo de operação e de alta viabilidade quanto à demanda de área.

O monitoramento foi realizado através de análise das amostras coletadas na entrada e saída da ETE, com periodicidade trimestral entre maio de 2018 a maio de 2019, e inserido e analisado na última análise do período, outro ponto de coleta intermediário ao sistema, para verificar a eficiência de remoção inerente ao WC. Os custos e demanda de área foram estimados através de um levantamento do memorial descritivo do sistema disponibilizado pela empresa e embasado na bibliografia utilizada.

Palavras-chave: Saneamento. Tecnologias. Descentralizado. *Wetland* Construído. Monitoramento da ETE. Custos. Demanda de Área.

ABSTRACT

The launching of industrial and domestic effluents generate major environmental problems in the country, with the contamination of the water springs, the change of the aquatic ecosystems dynamic and the human health.

Despite the progress of the management services of the basic sanitation in Brazil after the creation, in 1969, of the Sanitation National Plan (PLANASA), the efficiency and universalization of sewage services are still far from the Brazilian reality. With high implementation costs of these services, the decentralized sewage treatment systems arise as a technological solution for the scenario improvement. The built *wetlands* present itself as efficient technology recently proven for the treatment and polishing of the sanitary sewage. Comparing with the conventional treatment systems, they are cheaper, easier to operate and maintain, in addition to harmonize with the landscape.

This work had as objective to evaluate the performance of the built *wetlands* as a complementation to the individual treatment systems for the improvement of the effluents' quality, through studies that evaluated the vertical flow built *wetlands* (WCFV) of a ETE belonged to recycling company in Garopaba-SC, which presented good efficiency for the organic load removal, and other physicochemical parameters analyzed, meeting the Brazilian law standards, besides low implementation costs and operation, plus the high viability of the area's demand.

The monitoring was performed through the analysis of the samples collected in the entrance and exit of the ETE, quarterly, between May of 2018 and May 2019, inserted and analyzed in the last analysis of the period, another collect point intermediary to the system, to verify the efficiency of removal inherent to WC. The costs and area demand were estimated through a survey of the descriptive memorial of the company's available system and based on the bibliography used.

Keywords: Sanitation. Technologys. Decentralized. *Wetlands*. Constructed. ETE monitoring. Costs. Area's demand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Alternativas para o sistema local de tratamento de esgoto sanitário.....	23
Figura 2 - Desenho esquemático de um canal com macrófitas emergentes de fluxo superficial	27
Figura 3 – Desenho esquemático de um canal com fluxo sub-superficial	28
Figura 4 – Representação esquemática da formação do biofilme aderido ao material filtrante e nas raízes.....	28
Figura 5 – Tipos de Macrófitas que podem ser utilizadas em <i>wetlands</i> construídos	29
Figura 6 – Representação esquemática de um sistema de um <i>wetland</i> construído de fluxo horizontal.....	31
Figura 7 – Representação esquemática de um sistema de um <i>wetland</i> construído de fluxo horizontal sub-superficial	32
Figura 8 – Desenho esquemático de solos filtrantes com fluxo ascendente.....	33
Figura 9 – Desenho esquemático de solos filtrantes com fluxo descendente.....	33
Figura 10 – Desenho esquemático de um sistema de um <i>wetland</i> construído de fluxo vertical	34
Figura 11 – Situação geográfica da empresa	46
Figura 12 – Divisão das Regiões Hidrográfica de Santa Catarina	47
Figura 13 – Infraestrutura da ETE.....	49
Figura 14 – Dimensões da área do <i>wetland</i> construído.....	51
Figura 15 – Perfil do <i>wetlands</i> construído da ETE.....	51
Figura 16 – Áreas diretamente e indiretamente afetadas.....	54
Figura 17 – Coleta na ETE das amostras para análise.....	55
Figura 18 – Cálculo de custos das macrófitas para o plantio	70
Figura 19 – Planilha orçamentária do sistema do <i>wetland</i> construído	71

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Vazão diária de esgotos por pessoa	53
Equação 2: Carga orgânica diária de esgotos	53
Equação 3: Estimativa da $DBO_{5,20}/d$	53
Equação 4: Porcentagem ou eficiência de remoção de determinado poluente	56
Equação 5: Cálculo da redução de DBO proporcionada pela eficiência do tratamento	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Papel das macrófitas nos <i>wetlands</i> construídos.....	30
Quadro 2 – Padrões de lançamento de efluentes	44
Quadro 3 – Mecanismos do WC para remoção dos poluentes	51
Quadro 4 – Métodos aplicados nas análises	58
Quadro 5 – Classificação do IQA.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados das amostras obtidas em P2 e P3.....	61
Tabela 2 – Eficiência de Remoção do WC.....	61
Tabela 3 – Resultados da quantidade de <i>DBO5</i> nas amostras analisadas	62
Tabela 4 – Resultados da eficiência na remoção de <i>DBO</i> nas amostras analisadas.....	63
Tabela 5 – Resultados das quantidades de amônia nas amostras analisadas.....	63
Tabela 6 – Resultados das quantidades de nitrato nas amostras analisadas	64
Tabela 7 – Resultados das quantidades de óleos vegetais e gorduras animais nas amostras ...	65
Tabela 8 – Resultados das quantidades de óleos minerais nas amostras.....	65
Tabela 9 – Resultados dos valores de pH nas amostras analisadas	66
Tabela 10 – Resultados das quantidades de surfactantes aniônicos nas amostras.....	67
Tabela 11 – Resultados das quantidades de oxigênio dissolvido nas amostras.....	67
Tabela 12 – Resultados das quantidades de sólidos sedimentáveis nas amostras	68
Tabela 13 – Resultados do monitoramento das águas subterrâneas	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	JUSTIFICATIVA	18
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1	SANEAMENTO BÁSICO	19
4.2	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	19
4.3	ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL.....	20
4.4	SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	22
4.4.1	Sistemas Coletivos	22
4.4.2	Sistemas Individuais.....	22
4.4.2.1	Fossa Séptica	23
4.4.2.2	Filtro Anaeróbio	23
4.4.2.3	Caixa de Inspeção.....	24
4.4.3	Sistemas Alternativos para Tratamento de Esgoto Sanitário	24
4.5	SISTEMA DE WETLANDS	25
4.5.1	WETLANDS NATURAIS	25
4.5.2	WETLANDS CONSTRUÍDOS.....	26
4.5.2.1	Escoamento Superficial	27
4.5.2.2	Escoamento Sub-superficial	27
4.5.2.3	Macrófitas.....	28
4.5.2.4	Configurações de Wetlands Construídos para Tratamento de Esgoto Sanitário	30
4.5.2.4.1	<i>Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal (WCFH)</i>	31
4.5.2.4.2	<i>Wetlands Construídas de Fluxo Horizontal Sub-superficial (WCFHS)</i>	32
4.5.2.4.3	<i>Wetlands Construídas de Fluxo Vertical (WCFV)</i>	33
4.6	COMPOSIÇÃO E PARÂMETROS DOS ESGOTOS	35
4.6.1	Composição	35
4.6.2	Parâmetros	35
4.6.2.1	Parâmetros Químicos.....	35
4.6.2.1.1	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</i>	35
4.6.2.1.2	<i>Nitrogênio</i>	36

4.6.2.1.3	Fósforo.....	37
4.6.2.1.4	Óleos Vegetais, Minerais e Gorduras Animais	39
4.6.2.1.5	Oxigênio Dissolvido (OD).....	39
4.6.2.1.6	Metais	40
4.6.2.2	Parâmetros Físicos	40
4.6.2.2.1	Sólidos Totais (ST).....	40
4.6.2.2.2	Sólidos Sedimentáveis.....	41
4.6.2.2.3	Turbidez.....	41
4.6.2.2.4	Potencial Hidrogeniônico (pH)	41
4.6.2.2.5	Temperatura	42
4.6.2.3	Parâmetros Biológicos.....	42
4.6.2.3.1	Coliformes Totais.....	43
4.6.2.3.2	Coliformes Fecais.....	43
4.7	LEGISLAÇÃO PARA O LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS	43
5	MATERIAIS E MÉTODOS	46
5.1	APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	46
5.1.1	Local de Estudo	46
5.1.2	Descrição da Estação de Tratamento	48
5.1.2.1	Wetland Construído	50
5.1.2.1.1	Mecanismos dos Wetlands Construídos para remoção dos poluentes.....	51
5.1.3	Estimativa de projeto para vazão de esgotos e carga orgânica.....	52
5.1.4	Área Diretamente e Indiretamente Afetadas.....	54
5.2	COLETA DE AMOSTRA E ANÁLISE LABORATORIAIS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO EFLUENTE.....	55
5.2.1	Coleta de Amostra	55
5.2.2	Monitoramento	56
5.2.3	Pontos de Amostragem	56
5.2.4	Eficiência de Remoção de Poluentes por etapas	56
5.2.5	Eficiência da ETE na remoção de DBO	57
5.3	METODOLOGIA DE ANÁLISES LABORATORIAIS	57
5.3.1	Standard Methods	57
5.3.2	USEPA Test Methods.....	58
5.3.3	Métodos aplicados nos parâmetros analisados	58
5.4	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)	59

6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
6.1	ANÁLISES DAS AMOSTRAS	61
6.1.1	Eficiência gerada pelo <i>wetland</i> construído à ETE	61
6.1.2	Eficiência da ETE na remoção de DBO	62
6.1.3	Parâmetros de análises.....	63
6.1.3.1	Temperatura.....	63
6.1.3.2	Amônia	63
6.1.3.3	Nitrato.....	64
6.1.3.4	Óleos e Graxas.....	64
6.1.3.5	pH.....	66
6.1.3.6	Surfactantes Aniônicos	66
6.1.3.7	Oxigênio Dissolvido.....	67
6.1.3.8	Sólidos sedimentáveis	68
6.1.4	IQA	68
6.2	ÁREAS INDIRETAMENTE AFETADAS	69
6.3	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE <i>WETLAND</i>	70
6.3.1	Área do projeto.....	70
6.3.2	Macrófitas	70
6.3.3	Orçamento estimativo do projeto	71
6.3.4	Custo de implantação per capita.....	72
6.4	VIABILIDADE DO SISTEMA QUANTO Á DEMANDA DE ÁREA E CUSTOS.....	72
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	73
8	LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS	74
	REFERÊNCIAS.....	75
	ANEXOS.....	83
	ANEXO A – BACIAS HIDROGRÁFICAS DO TERRITÓRIO DE LOCAL DO ESTUDO.....	84
	ANEXO B – UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO TERRITÓRIO	85
	ANEXO C – PONTOS DE COLETA DAS ANÁLISES ESTUDADAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

A água constitui um elemento essencial para a vida vegetal e animal. O consumo deste elemento é intrínseco às atividades humanas direta e indiretamente além da grande maioria dos processos produtivos e cultivo de alimentos.

Os despejos resultantes do uso da água nos diversos fins são chamados de esgotos, águas residuárias ou águas servidas, constituídos por uma mistura complexa de microrganismos, dentre eles, agentes patogênicos, matéria orgânica degradável, produtos químicos tóxicos, metais pesados, detritos e nutrientes (CUNHA; SEZERIANO JÚNIOR, 2018).

O destino final das águas residuárias urbanas é sempre algum corpo d'água. Entretanto, o lançamento direto ao meio ambiente, sobretudo em corpos d'água, pode gerar sérios problemas ambientais, como uma total degradação do ambiente, além de apresentar risco à saúde das pessoas e animais, devido à presença de organismos patogênicos que podem transmitir doenças. O objetivo de o tratamento preceder os lançamentos é evitar tais consequências ao meio (BRASIL, 2015; KARL; IMHOFF, 1996).

O tratamento dos esgotos ocorre através de sistemas formados por um conjunto de processos unitários, cada um com sua funcionalidade, visando à remoção dos poluentes ali presentes. Esta remoção deve atender as condições e padrões de lançamentos e de qualidade das águas receptoras conforme à classe na qual se está enquadrada (NUNES, 2012). Este tratamento faz parte de um sistema de esgotamento sanitário que integra a uma das dimensões do saneamento básico, antecedidos pela coleta e transporte, e posterior disposição final adequada.

Entretanto, de acordo com IBGE (2010), dos 5.564 municípios, apenas 3.069 possuíam rede coletora de esgoto, enquanto que apenas 3,4 % do esgoto sanitário coletado nos domicílios brasileiros recebem tratamento adequado. O crescente aumento da população aliado com o baixo índice de municípios no Brasil com sistemas completos de esgotamento sanitário abrangendo a rede coletora e tratamento leva a contaminação dos solos, rios, lagos e das águas subterrâneas. Deste modo, a descentralização dos serviços de esgotamento sanitário, incluindo os sistemas individuais e de pequenas coletividades, e a sua disposição final adequada apresentam-se como uma solução para os deficientes serviços sanitários no país (BRASIL, 2015).

Desta forma, o presente trabalho busca compreender, analisar e difundir os *wetlands* construídos, através do estudo de um sistema atuante como tratamento

complementar em uma Estação de Tratamento de Esgotos de uma empresa de reciclagem. Esta tecnologia figura entre as tecnologias de tratamento descentralizadas mais simplificadas e de baixo custo aliada a uma alta eficiência e boa remoção de patógenos. Além disso, sua aplicação é favorecida no território brasileiro, devido à disponibilidade de áreas e condições climáticas. Portanto, são de suma importância a busca e estudos de novas alternativas de esgotamento sanitário descentralizado, onde se atenda as demandas no próprio lote do gerador, para uma universalização do saneamento básico no país (SEZERINO *et al.*, 2018).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o desempenho de um sistema de *wetlands* construído, utilizado em uma empresa de reciclagem situada no Município de Garopaba - SC.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o sistema *wetlands* construído como alternativa tecnológica na descentralização dos sistemas de tratamento de esgotos domésticos e industriais;
- Caracterizar os afluentes e efluentes a serem tratados pelo *wetlands* e através da análise de parâmetros físico-químicos;
- Comparar os parâmetros do efluente final do sistema *wetlands* para avaliar quanto a eficiência na remoção de DBO e comparar com os padrões estabelecidos pela legislação para o lançamento de efluentes líquidos em corpos de água receptores;
- Avaliar a eficiência que o sistema *wetlands* proporciona a ETE do local e sua necessidade/importância como um tratamento complementar aos sistemas individuais;
- Verificar a viabilidade do sistema de *wetlands* construído quanto aos custos de implantação e à demanda de área, como alternativa para o complemento aos sistemas individuais de tratamento de efluentes.

3 JUSTIFICATIVA

Os *wetlands* contruídos apresentam-se como uma alternativa tecnológica para o tratamento descentralizado das águas residuais. No Brasil a utilização destes sistemas foi introduzida no tratamento de esgotos ano de 1980, intensificando-se a partir do ano 2000. Com a necessidade cada vez maior de soluções simples e economicamente viáveis que possam ser empregadas a fim de realizar o tratamento de águas residuais, os *wetlands* surgem como uma solução promissora (SEZERINO, 2015; ZINATO, GUIMARÃES, 2017).

Ainda que a técnica de *wetlands* construídos tenha avançado no cenário brasileiro, os conhecimentos sobre o tema ainda são incipientes e fragmentados. Isto se deve entre outros fatores, a grande complexidade ecossitêmica e número de variabilidades do sistema (LAUTENSCHLAGER, 2001; LIMA, 2016).

A justificativa deste trabalho de conclusão de curso está baseada na ampliação de estudos e pesquisas envolvendo *wetlands* como unidades de tratamento de efluentes para maior compreensão e difusão acerca dessa técnica.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 SANEAMENTO BÁSICO

A Organização Mundial de Saúde (OMS) conceitua o saneamento básico como um conjunto de medidas necessárias para melhorar e proteger a saúde e o bem-estar das pessoas, promovendo a destinação adequada de resíduos humanos e animais, uso adequado de banheiro e evitando a defecação de espaço aberto (WHO, 2000). Na Lei do Saneamento Básico 11.445/2007, sua definição consiste em um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais destinados à população (BRASIL, 2007).

Para Carvalho e Oliveira (1997), os serviços inerentes ao saneamento básico são de fundamental importância para a comunidade, baseando-se nos seguintes dados:

- Cada pessoa produz, em média, um quilo de lixo doméstico por dia;
- O consumo médio diário de água por cada pessoa é de 150 a 200 litros;
- A produção de esgotos por pessoa (dejetos, águas servidas com detergentes e outros poluentes) é equivalente ao seu consumo diário de água (CARVALHO; OLIVEIRA, 1997, p. 13).

Portanto, é de suma importância o uso do saneamento como um instrumento para promover saúde gerando a resolução dos entraves tecnológicos políticos e gerenciais que dificultam o beneficiamento para a população de áreas rurais, municípios e pequenas regiões. Além disso, grandes problemas sanitários ligados ao meio ambiente que afetam a população mundial são ocasionados por condições inadequadas de saneamento (BRASIL, 2004).

4.2 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

De acordo com a NBR 9648 (ABNT, 1986, p. 1) o esgotamento sanitário é o “conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro”.

Portanto, o esgotamento sanitário é o conjunto de ações que contemplam desde a coleta dos esgotos no estabelecimento gerador, levando-o através das redes coletoras até a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), onde será tratado de forma que possa ser disposto em um corpo d’água ou no solo corretamente sob a ótica sanitária (SEZERINO *et al.*, 2018).

Para um sistema corretamente construído do ponto de vista sanitário, o esgoto que sai das canalizações dos domicílios é canalizado para coletores secundários, que recolhem os

despejos de cada rua e os conduzem para posterior disposição final sanitariamente adequada evitando a contaminação das águas servidas à comunidade (CARVALHO; OLIVEIRA, 1997).

Os esgotos domésticos provem principalmente de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõe de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas. É composto essencialmente por água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (BRASIL, 2004). Enquanto que os esgotos sanitários são os despejos líquidos constituídos de esgotos domésticos e industriais junto com as águas de infiltração (BRAGA *et al.*, 2003). Os sistemas de esgotamento sanitário responsáveis por estes esgotos sanitários são divididos em sistemas coletivos e individuais. Von Sperling *et al.* (2005) dividem os sistemas de esgotamento sanitário em duas variantes:

- Sistema coletivo ou sistema dinâmico (solução com afastamento dos esgotos da área servida);
- Sistema individual ou sistema estático (solução no local, individual ou para poucas residências) (VON SPERLING, 2005, p. 53).

4.3 ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL

Com a Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), estabeleceram-se as diretrizes a serem seguidas nacionalmente nas ações de saneamento, incluindo sua universalidade e integralidade na prestação dos serviços, além da interação com outras áreas como recursos hídricos, saúde, meio ambiente e desenvolvimento urbano. Entretanto, esta universalidade e integralidade no setor de saneamento estão distante da realidade brasileira.

Para Mota *et al.* (2010), houve uma intensificação no debate dos serviços de gestão do saneamento básico no Brasil, devido grande parte a criação em 1969 do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA). A formulação deste desenho institucional teria como missão combinar o interesse público na universalidade e na qualidade dos serviços com o retorno financeiro esperado pela iniciativa privada.

Entretanto no país ainda é muito baixo o número de municípios que possuem sistemas completos de esgotamento sanitário, na qual contemple a rede coletora e o tratamento, e quando a possui, muitas vezes atendem apenas a uma parcela da cidade (BRASIL, 2015). A prestação destes serviços é de obrigatoriedade dos Municípios, iniciando pela elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) onde cada Município estabelece sua realidade, áreas sensíveis, situações problema e soluções em todas as áreas integrando e relacionando-as.

Todavia, apenas 38,2% dos municípios em 2017 informaram ter Política Municipal de Saneamento Básico, com uma tendência a realizar-se apenas nos municípios mais populosos do país (IBGE 2018). “Dentre os 42 municípios com mais de 500 000 habitantes em 2017, 69,0% (29 municípios) declararam possuí-la em 2017, em 2011 eram 22 municípios” (IBGE, 2018, p. 16).

Como indicadores do quadro brasileiro de esgotamento sanitário, é utilizada a segmentação em três grandes grupos, estabelecida pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) feita pelo IBGE:

- Rede Coletora de Esgoto – domicílios conectados à rede de esgoto via canalização ou fossa séptica;
- Sem Rede Coletora de Esgoto – domicílios que não dispõem de rede coletora, que esgotam via fossa séptica não ligada à rede, via fossa rudimentar ou outras formas;
- Sem Esgotamento – domicílios que não dispõem de nenhuma forma de esgotamento (ABES, 2016, p. 10).

O panorama brasileiro deste serviço é representado por 55,16% dos domicílios com rede geral coletora, 18% possuem o serviço de coleta sem o tratamento e 27% contam com nenhum serviço de coleta sanitário, já 12% da população faz uso de alguma solução individual para destinar seus esgotos (ANA, [2019]). Na zona rural, a rede coletora de esgotos e a utilização de banheiros exclusivos somam 0,44% e 10,02% dos domicílios respectivamente (IBGE, 2010). Além da falta de redes coletoras, apenas 43% da população possui esgoto coletado e tratado (ANA, [2019]).

O sistema de esgotamento sanitário também apresenta acentuadas diferenças regionais. A Região Norte apesar de apresentar o maior crescimento em números relativos na quantidade de domicílios com 3,1% (156 mil novas residências), ainda aponta o menor percentual de cobertura de esgoto do país, com apenas 22,6%, enquanto que na Região Sul essa cobertura chega a 65,1 % (ABES, 2016).

Esta disparidade regional se deve principalmente à falta de recursos financeiros, técnicos e sanitários capazes de suprir as atuais demandas de coleta e tratamento de esgoto por parte dos municípios brasileiros. O setor de saneamento no país requer grandes investimentos na área de infraestrutura e ao crescimento periférico das cidades, majoritariamente, não planejados (LUCCA, 2013).

Dentro de tal problemática, as alternativas tecnológicas para sistemas sanitários através de sistemas descentralizados ou minissistemas coletivos apresentam-se como soluções tecnológicas viáveis e eficientes.

4.4 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

4.4.1 Sistemas Coletivos

Os sistemas coletivos podem ser dos tipos sistema unitário ou combinado e sistema separador. Entre os sistemas separadores, é subdividido dos tipos convencional ou condominial (BARROS *et al.*, 1995).

4.4.2 Sistemas Individuais

A NBR 13969 (ABNT, 1997) define que a solução de tratamento de esgotos por sistemas individuais consiste no tratamento e disposição final próximo as fontes geradoras de esgotos, normalmente não sendo necessário o uso de rede coletora extensa, coletor-tronco, poços de visita, emissários, elevatórias etc.

Os sistemas individuais ou descentralizados são indicados para regiões que apresentem baixa densidade de ocupação, solo com boas condições de infiltração e um nível de água subterrânea com profundidade adequada para evitar sua contaminação (VON SPERLING, 2005).

No Brasil não consta uma legislação específica que coordene estes tipos de sistema. Entretanto, alguns municípios brasileiros possuem instruções normativas indicando tecnologias alternativas para suplementar os sistemas de esgotamento sanitários convencionais.

As dificuldades em implantação dos sistemas de esgotamento sanitário centralizado em alguns municípios, está associada à falta de recursos financeiros para o alto custo de implementação e, principalmente, operação e manutenção, por apresentarem baixa densidade populacional e baixa captação de verba para cobrir tais custos (SEZERINO *et al.*, 2018). Com isto, o uso de tecnologias alternativas de sistemas individuais pode apresentar-se como solução para as dificuldades em universalizar os serviços de saneamento. A Figura 1 apresenta um esquema geral das alternativas nos sistemas individuais, utilizando-se como princípio básico no tratamento via fossa séptica.

Figura 1 – Alternativas para o sistema local de tratamento de esgoto sanitário



Fonte: NBR 13969 (ABNT, 1997).

4.4.2.1 Fossa Séptica

As fossas sépticas constituem um tipo de tratamento primário à remoção dos seguintes poluentes: sólidos em suspensão sedimentáveis e os sólidos flutuantes. Nelas, “os sólidos sedimentáveis são removidos para o fundo, permanecendo um tempo longo (alguns meses), suficiente para sua estabilização” (BARROS *et al.*, 1995, p. 146).

O tratamento funciona no sistema com o recebimento das águas residuárias, separação dos sólidos do líquido, digestão parcial da matéria orgânica presente, estoque dos sólidos enquanto o líquido clarificado é conduzido para outro tratamento ou disposição posterior (AISSE, 2000).

Grande parte dos sólidos em suspensão é formada pela matéria orgânica em suspensão. Portanto, a remoção destes sólidos pela fossa séptica proporciona uma redução da carga de DBO, e assim, gera ao sistema maior eficiência por apresentar um custo mais oneroso para a redução dessa carga no tratamento secundário (VON SPERLING, 2005).

Esta unidade de tratamento é bastante utilizada no tratamento de esgotos sanitários em áreas rurais e conjuntos habitacionais. Entretanto, pela sua baixa eficiência na remoção de matéria orgânica, as fossas sépticas necessitam de formas complementares para o tratamento do efluente (BARROS *et al.*, 1995).

4.4.2.2 Filtro Anaeróbio

O filtro anaeróbio figura entre os sistemas de tratamento secundário por sistemas anaeróbios. O tratamento anaeróbio é realizado por bactérias que não necessitam de oxigênio para sua sobrevivência (BARROS *et al.*, 1995).

O processo de tratamento pela estabilização da matéria orgânica ocorre através das bactérias anaeróbias, no qual estão aderidas a um meio suporte de um tanque. O reator constitui um tanque fechado contendo dentro dele um meio suporte, com o seu funcionamento de forma submersa e o líquido percola na unidade de baixo para cima (AISSE, 2000; BARROS *et al.*, 1995).

Estes filtros funcionam como unidades de “polimento” do efluente, sendo recomendados maiores exigência nos corpos receptores para sua disposição final, como sistema complementar as fossas sépticas (CETESB, 1997).

4.4.2.3 Caixa de Inspeção

A caixa de inspeção é um órgão acessório do esgotamento sanitário para assegurar condições adequadas de funcionamento e manutenção do sistema (CETESB, 1977).

É um “dispositivo destinado a permitir a transição entre o ramal interno de esgoto e o ramal predial de esgoto, bem como a inspeção, limpeza, desobstrução, junção, mudanças de declividade e/ou direção da tubulação” (SABESP, 2017, p. 2).

4.4.3 Sistemas Alternativos para Tratamento de Esgoto Sanitário

Os altos custos de implantação de um sistema de esgoto sanitário e suas estações de tratamento demandaram uma busca por sistemas alternativos simplificados que propiciem condições satisfatórias para tratamento e disposição final de esgotos (SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

O aumento da discussão e implementos de tecnologias ditas de engenharia ecológica¹ em alguns países expandiu a atenção em torno da descentralização dos sistemas de tratamento de esgoto, incluindo os sistemas individuais e de pequenas coletividades (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Em meio a este panorama, os *wetlands* figuram como uma alternativa tecnológica mais acessível e que pode se direcionar principalmente para comunidades isoladas, pequenas e com poucas condições financeiras e tecnológicas adequando-se perfeitamente às condições

¹ A Engenharia Ecológica é definida como uma ciência que cuida do projeto de ecossistemas e das organizações humanas, para beneficiá-los (MITSCH, 1994 *apud* ORTEGA, 2003, p. 1).

de países de clima tropical com áreas disponíveis à sua implantação, como é o caso do Brasil. Devido à reduzida densidade populacional e arrecadação para o serviço, inerente às regiões brasileiras com menor atendimento do sistema de esgotamento sanitário, torna-se necessário buscar por alternativas descentralizadas que atendam as demandas no próprio lote do gerador (SEZERINO *et al.*, 2018).

Dentro deste contexto, os sistemas de *wetlands* passaram a ser utilizados como uma tecnologia emergente no tratamento de esgoto por sua eficiência, simplicidade operacional e construtiva, harmonização paisagística e à qualidade ambiental, tornando-os uma solução segura e atrativa (WETLANDS, [2019]).

Além disso, eles possuem dimensionamentos adaptados a uma condição indispensável para uma operação estável e com grande flexibilidade contra picos de carga ou hidráulicos (PLATZER; HOFFMANN; CARDIA, 2007).

4.5 SISTEMA DE WETLANDS

Os *wetlands* constituem entre os tipos de sistemas de tratamento de águas residuárias de categoria natural. As zonas úmidas naturais (*natural wetlands*) são utilizadas desde as civilizações antigas como ponto de descarga para efluentes, onde o tratamento é realizado por plantas aquáticas (SILVA, 2007; PHILLIPI; SEZERINO, 2004).

Os processos nos sistemas naturais, a exemplo dos *wetlands*, ocorrem sob taxas naturais e tem a tendência a ocorrer de forma simultânea em um simples reator de ecossistemas. Dentro do sistema *wetlands* de tratamento aquático, existem dois tipos: os naturais e os construídos (METCALF; EDDY, 1991).

4.5.1 WETLANDS NATURAIS

O termo *wetland* é utilizado para caracterizar vários ecossistemas naturais que ficam parcial ou totalmente inundados durante o ano e que apresentam características e propriedades com grandes variações quanto sua geologia, geomorfologia e solos, mas com apropriadas condições para o crescimento de macrófitas (SALATI, 1998).

São os sistemas facilmente reconhecidos como os banhados, onde os esgotos a serem tratados podem ser dispostos diretamente no ecossistema, sem controle quanto à infiltração, entretanto, serve como destino final a esses esgotos depurando-os biologicamente (PHILLIPI; SEZERINO, 2004).

4.5.2 WETLANDS CONSTRUÍDOS

Os sistemas de *wetlands* construídos consistem na criação de ecossistemas artificiais através do uso de diferentes tecnologias e princípios básicos de modificação da água que ocorrem em ambientes alagados, como pântanos e mangues. Estes sistemas replicam e aperfeiçoam os processos naturais envolvendo a vegetação, solos e as associações microbianas dos *wetlands* naturais, através dos mecanismos de gravidade, permeabilidade e degradação biológica para melhorar a qualidade da água (EPA, 2004; SEZERINO *et al.*, 2018).

Zanella (2008), explica o sistema WC como um arranjo de água, substrato, plantas, animais invertebrados e microrganismos como bactérias, que são o grupo mais importante por relacionar-se entre si e contribuir para a melhoria na qualidade da água através dos seguintes processos:

- retenção de material particulado suspenso;
- filtração e precipitação química pelo contato da água com o substrato/meio suporte;
- transformações químicas;
- sorção e troca iônica na superfície das plantas, substrato/meio suporte e sedimentos;
- quebra, transformação e metabolização de poluentes e nutrientes por microrganismos e plantas;
- predação e redução natural de organismos patogênicos (IWA, 2000; CHERNICHARO, 2001; USEPA, 1988, *apud* ZANELLA, 2008, p. 29).

As construções dos sistemas de *wetlands* consistem em uma depressão superficial no solo com um fundo nivelado, onde o fluxo é controlado para que a água seja distribuída uniformemente entre as plantas do sistema. Nos *wetlands*, 90% da água podem fluir através de pequenos canais. O controle do fluxo possibilita a ocorrência de processos naturais que filtrem as águas residuais com mais eficiência (National Small Flows Clearinghouse, [2019]).

Segundo Philippi e Sezerino (2004), os sistemas de *wetlands* construídos são classificados de acordo com o seu fluxo hidráulico (vertical ou horizontal) através do leito, subdividido pelos tipos de escoamento superficial (FS) e sub-superficial (FSS) e a macrófita utilizada.

4.5.2.1 Escoamento Superficial

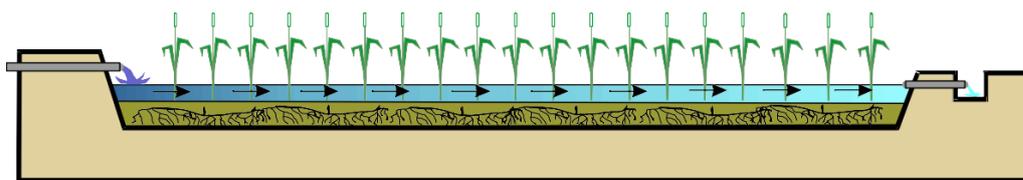
Os sistemas de escoamento superficial (Figura 2), também chamados de lâminas livres, partilham propriedades com as lagoas facultativas², onde há presença majoritária de algas planctônicas ou filamentosas, ou de macrófitas aquáticas (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Os *wetlands* superficiais são sistemas que recriam um ecossistema aquático e incorporam uma diversidade de plantas aquáticas, sendo o único tipo em que é possível ver a água na superfície. Seus principais mecanismos envolvem o polimento final do efluente, com remoção de patógenos e remoção complementar de nutrientes (WETLANDS, [2019]).

Valentim (2003) conceitua o sistema como canais construídos, no qual fornecem condições para o desenvolvimento das raízes das macrófitas, sendo que a água flui em uma pequena profundidade de 0,1 a 0,3m.

O tratamento do efluente consiste na passagem do fluxo acima da superfície, pelas folhas e caules, e as plantas apresentam-se enraizadas na camada de sedimento localizada na base. O oxigênio é maior englobado neste modelo devido à exposição do efluente ao meio atmosférico e aos raios ultravioletas, gerando maior inativação de patógenos. Entretanto, esta exposição ao meio ambiente proporciona também uma maior a criação e proliferação de vetores (ZINATO; GUIMARÃES, 2017).

Figura 2 - Desenho esquemático de um canal com macrófitas emergentes de fluxo superficial



Fonte: Salati (1998).

4.5.2.2 Escoamento Sub-superficial

Nesta configuração de WC o efluente escoar abaixo de leito filtrante, assim, o líquido não é visível na superfície do sistema. A concepção deste sistema (Figura 3) é distinta

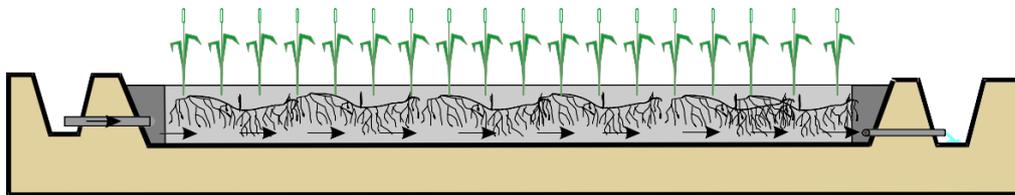
² Sistema de tratamento biológico que retém o esgoto por um período de tempo suficiente para que a matéria orgânica se desenvolva através de processos naturais de estabilização (VON SPERLING, 1996).

a dos sistemas de escoamento superficial, entretanto, seus mecanismos de depuração são semelhantes (MELLO, 2016; PHILLIPI; SEZERINO, 2004).

O efluente penetra os meios porosos que contém as raízes de plantas, através de fluxos horizontais e verticais. Este fluxo de passagem do efluente, gera o contato com bactérias facultativas e com raízes das plantas macrófitas, onde ocorre à depuração da matéria orgânica através da formação de biofilme (Figura 4) (LAUTENSCHLAGER, 2001; ZINATO; GUIMARÃES, 2017).

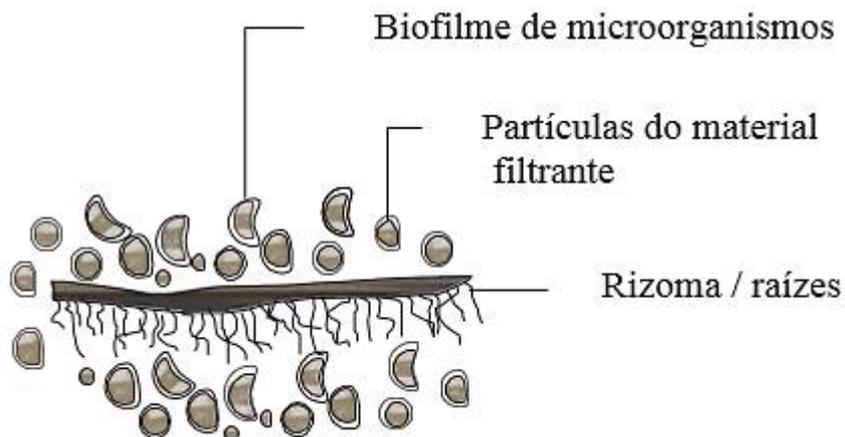
Para Phillipi e Sezerino (2004), este tipo de sistemas é ideal como uma tecnologia de controle da poluição.

Figura 3 – Desenho esquemático de um canal com fluxo sub-superficial



Fonte: Salati (1998).

Figura 4 – Representação esquemática da formação do biofilme aderido ao material filtrante e nas raízes.



Fonte: Sezerino (2006).

4.5.2.3 Macrófitas

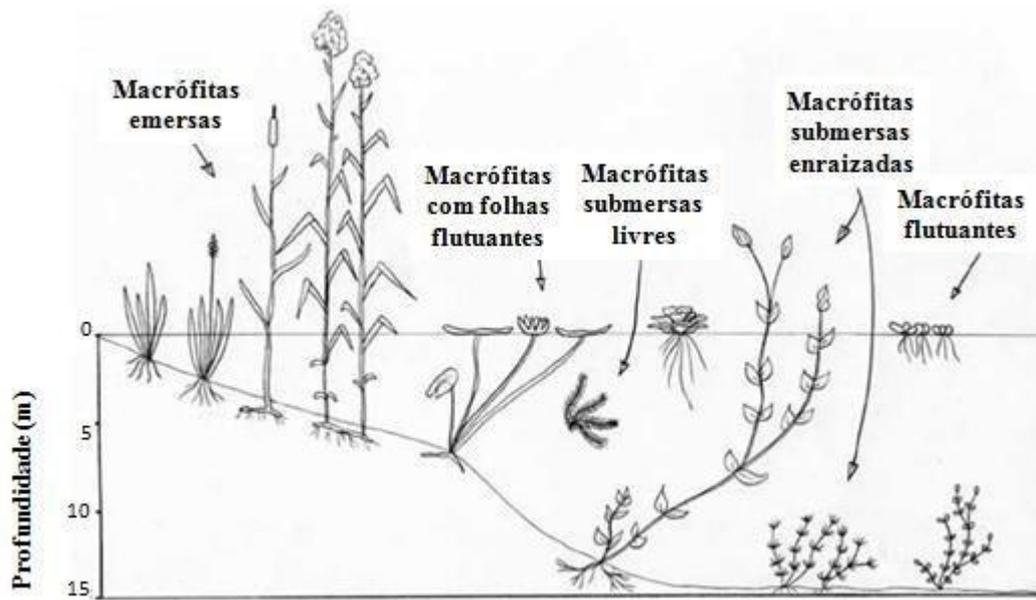
O termo macrófito é utilizado para definir plantas vasculares com tecidos facilmente visíveis e que diferem das algas devido a sua organização interna em tecidos resultantes de células especializadas. Os diversos estudos que mediram os tratamentos através dos *wetlands*, concluíram que a presença das macrófitas propicia uma maior eficiência ao

tratamento. Tais plantas fornecem grande parte da estrutura visível dos sistemas de tratamento de WC, sendo indispensáveis para um alto desempenho da maioria dos sistemas (KADLEC; WALLACE, 2009).

As macrófitas são caracterizadas por vegetais que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos, podendo ser encontradas em grandes diversidades para o uso potencial nos sistemas de *wetlands* construídos. Na escolha dessas plantas para empregar no sistema, deve-se dar preferência às espécies nativas locais com sistema radicular bem desenvolvido, tolerância a ambientes saturados de água (ou esgoto), potencial de crescimento, capacidade de assimilação de poluentes e resistência a pragas e doenças (LIMA, 2016; PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Zanella (2008) classifica estas macrófitas em tipos flutuantes fixa ou livre, submersa fixa ou livre e emergente. Na figura (Figura 5) a seguir, apresentam-se os tipos de macrófitas para uso no *wetlands* construídos.

Figura 5 – Tipos de Macrófitas que podem ser utilizadas em *wetlands* construídos



Fonte: Tratamento de água, ([2019]).

Para Kadlec e Wallace (2009), a razão da importância delas nos sistemas de tratamento de WC deve-se ao seu fornecimento de estrutura para promover muitos processos de remoção. Estas plantas apresentam “características de conduzir o oxigênio para o sistema radicular, criando zonas de oxidação e rizosfera decompondo a matéria orgânica presente, viabilizando o crescimento e fixação do nitrogênio” (ZINATTO; GUIMARÃES, 2007).

Com isso, a absorção propiciada por elas é tida como o principal mecanismo de remoção de alguns poluentes. Todavia, para muitos outros, essa absorção é de menor relevância comparada com as transformações microbianas e físicas que ocorrem na maioria dos *wetlands* (KADLEC; WALLACE, 2009). Em concordância Sezerino *et al.* (2018), relatam que diversos estudos científicos constataram a remoção de 10% do total de nitrogênio em WC devido à ação de fitoextração das macrófitas. No Quadro 1, resumem-se os mecanismos das macrófitas para o tratamento de esgotos.

Quadro 1 – Papel das macrófitas nos *wetlands* construídos

Propriedades das macrófitas	Ação de auxílio no tratamento de esgotos
Parte aérea (tecidos)	<ul style="list-style-type: none"> - Atenuação da luminescência - redução do crescimento de fitoplâncton - Influência sobre o microclima – isolamento durante o inverno - Redução da velocidade do vento - redução da resuspensão de material sólido <ul style="list-style-type: none"> - Armazenamento de nutrientes - Harmonização paisagística
Tecidos da planta em contato com o esgoto	<ul style="list-style-type: none"> - Filtração de grandes detritos - Redução da velocidade de escoamento – aumento da taxa de sedimentação redução do risco de resuspensão de sólidos - Fornece área de superfície para aderência de microrganismos - Aumenta a degradação aeróbia através da fotossíntese <ul style="list-style-type: none"> - Retirada de nutrientes
Raízes e rizomas em contato com o solo	<ul style="list-style-type: none"> - Prevenção contra erosão - Prevenção contra a colmatação em sistemas de fluxo vertical <ul style="list-style-type: none"> - Liberação de oxigênio aumentado a degradação (e nitrificação) - Retirada de nutrientes - Liberação de antibióticos

Fonte: Brix (1997). Com adaptações.

4.5.2.4 Configurações de Wetlands Construídos para Tratamento de Esgoto Sanitário

Os *wetlands* construídos podem assumir como finalidade a melhoria da qualidade das águas pluviais, e ainda, o tratamento ou polimento de esgoto sanitário. Para sua classificação, são utilizadas mundialmente as variações dos tipos de fluxo hidráulico que se processam no sistema de WC para tratamento de esgotos podendo ser de três tipos básicos: de fluxo horizontal, fluxo horizontal sub-superficial e de fluxo vertical (TOMAZ, 2009).

4.5.2.4.1 *Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal (WCFH)*

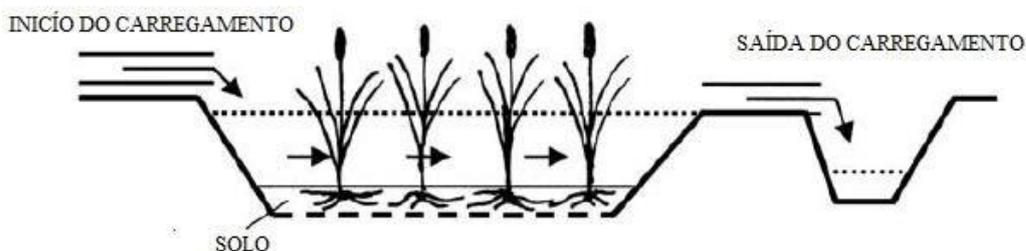
Os sistemas de *wetlands* construídos de fluxo horizontal ou superfície livre (WCFH) são usados para polimento de esgoto ou melhoria da qualidade das águas pluviais.

Segundo Philippi e Sezerino (2004), os WCFH consistem na percolação do efluente com tendência horizontal devido a uma declividade de fundo. O esgoto é introduzido na zona de entrada do sistema, e irá percolar espaçadamente passando pelo material filtrante em contanto com regiões aeróbias, anóxicas e anaeróbias, até atingir a zona de saída.

A porção do leito filtrante inerente ao WCFH (Figura 6) permanece constantemente alagado e devido à presença da vegetação, forma-se sob a superfície, um ambiente ecologicamente complexo que possibilita o desempenho simultâneo de vários mecanismos de tratamento (WETLANDS, [2019]). Entretanto, Platzer *et al.* (2007, *apud* SOUZA, 2015) afirmam que, este meio filtrante apresenta uma oxigenação limitada, mas o sistema possui vantagens como sua operação sem o uso de bombas e maior eficiência na eliminação de patógenos, devido a um tempo de detenção hidráulico³ mais elevado.

Assim como o WCFV, o seu meio suporte proporciona a adesão de microrganismos que iram ajudar na produção de biofilme. O biofilme proporciona ao sistema os mecanismos de filtração, decantação e depuração dos nutrientes do efluente pela ação de microrganismos aeróbios e anaeróbios presentes nele (LIMA, 2016 *apud* MORAES, 2017).

Figura 6 – Representação esquemática de um sistema de um *wetland* construído de fluxo horizontal



Fonte: Vymazal (2007).

³ “Tempo médio que o esgoto fica retido no sistema” (CAMPOS, 1999, p. 9).

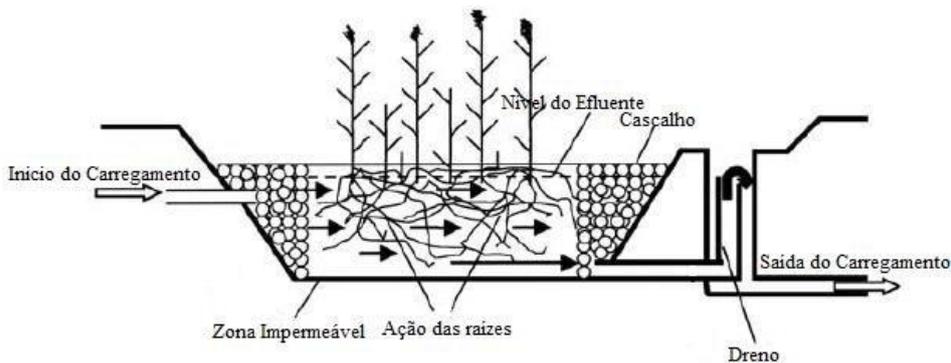
4.5.2.4.2 *Wetlands Construídas de Fluxo Horizontal Sub-superficial (WCFHS)*

Os *wetlands* construídos de fluxo horizontal sub-superficial (WCFHS) são tipicamente projetados para tratar efluentes primários antes da dispersão no solo ou da descarga em águas superficiais, através de uma vegetação de zonas úmidas plantadas em cascalho ou leitos de solo. O efluente deve permanecer abaixo da superfície da mídia e dos fluxos de dentro e ao redor das raízes e rizomas das plantas. Como a água não é exposta durante o processo de tratamento, o risco associado à exposição humana ou da vida selvagem a organismos patogênicos é minimizado (KADLEC; WALLACE, 2009).

Esta configuração de WC é muito utilizada no tratamento secundário de residências unifamiliares ou sistemas de pequenos aglomerados. Tal sistema é tipicamente constituído por zona de entrada, argila ou revestimento sintético, meios de comunicação, vegetação emergente e tubulação de saída com controle de nível de água. Estes sistemas podem operar sob condições mais frias do que WCFH, devido a sua capacidade de isolar o topo do sistema. Além disso, eles possuem como característica a alimentação intermitente, promovendo um grande arraste de oxigênio atmosférico para o material filtrante por meio da convecção e difusão, o que favorece a nitrificação (KADLEC; WALLACE, 2009; PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Outras características desta configuração de *wetlands* construído (Figura 7) são suas condições favoráveis para a ocorrência da desnitrificação. Isto ocorre devido ao funcionamento hidráulico da modalidade, onde o esgoto flui lentamente da zona de entrada até a zona de saída, passando através do meio filtrante, onde nesta zona final há a presença de um controlador de nível – uma tubulação elevada – que permite a saturação do meio filtrante. A saturação do meio filtrante resulta na criação de um ambiente anaeróbico e anóxico, favorecendo o processo de desnitrificação (SEZERINO *et al.*, 2018).

Figura 7 – Representação esquemática de um sistema de um *wetland* construído de fluxo horizontal sub-superficial



Fonte: Vymazal (2007).

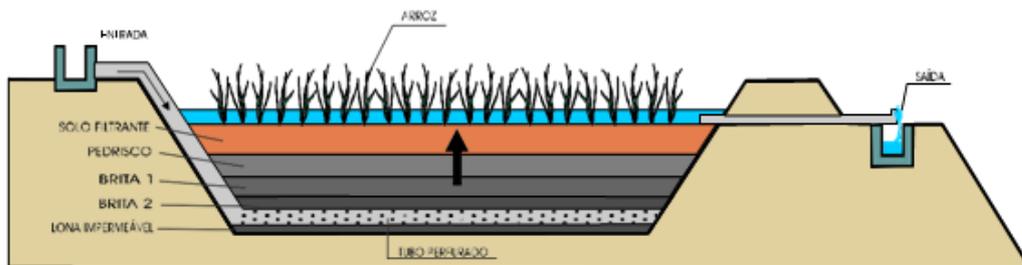
4.5.2.4.3 *Wetlands Construídas de Fluxo Vertical (WCFV)*

São sistemas de WC formados por canais, bacias ou tanques rasos preenchidos com material adequado que serve como suporte para vegetação. O sistema é alimentado de forma intermitente e drenado pelas camadas de areia e cascalho e com o fluxo vertical é coletado pelo sistema de drenagem. Devido a esta intermitência na aplicação do esgoto, melhora a oxigenação do meio pela penetração do ar atmosférico no leito, facilitando os processos de nitrificação e desnitrificação (ZANELLA, 2008).

Os sistemas de fluxo vertical se constituem com entrada do efluente na parte superior e saída pela parte inferior do sistema. É construído em superfície plana e as macrófitas são plantadas na superfície superior do reator, assim seu sistema radicular infiltra nas camadas inferiores (Zinatto; Guimarães, 2017, p. 4).

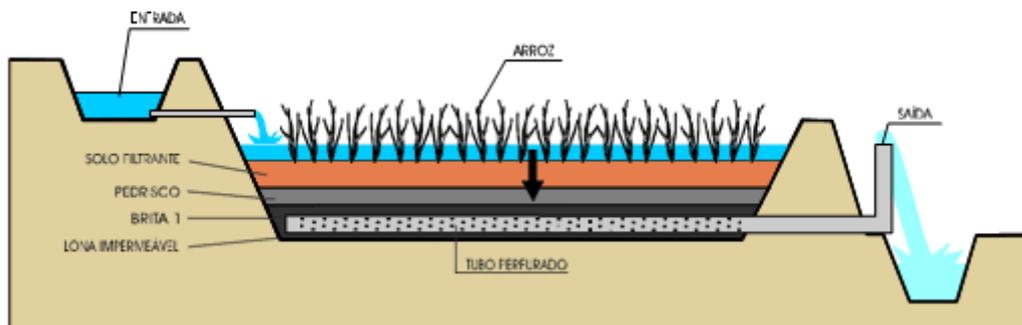
Entretanto Silva (2007), afirma que os sistemas de *wetlands* de fluxo vertical podem possuir seu fluxo hidráulico com sentido ascendente (Figura 8) ou descendente (Figura 9). Entre estes sentidos, o descendente é mais recomendado pela sua maior eficiência em razão das raízes das plantas estarem presente nas primeiras camadas do filtro, assim, há a maior absorção dos nutrientes do esgoto nas camadas superiores.

Figura 8 – Desenho esquemático de solos filtrantes com fluxo ascendente



Fonte: Salati (1998).

Figura 9 – Desenho esquemático de solos filtrantes com fluxo descendente



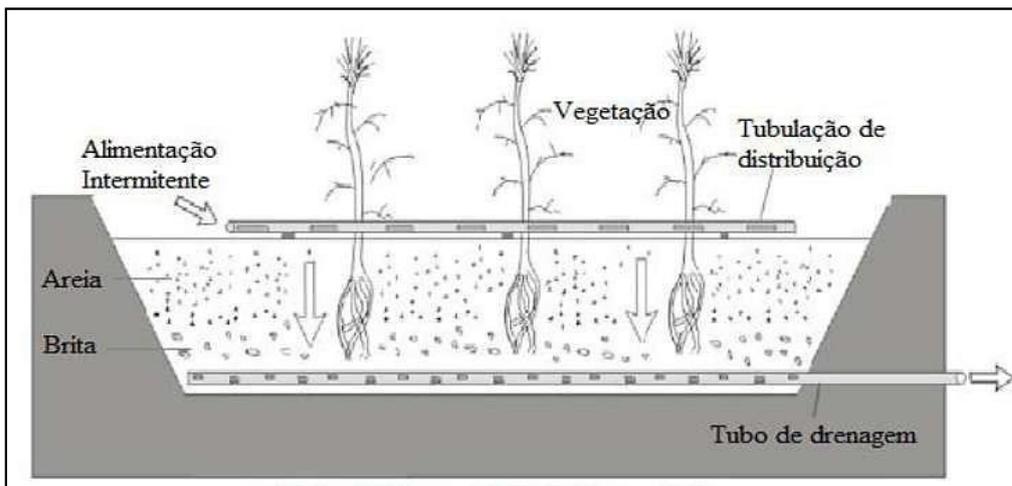
Fonte: Salati (1998).

De acordo com Zinatto e Guimarães (2017), os WCFV diferem das outras configurações por necessitar de bombas para drenar e levar o efluente até a parte superior ou por poder coletá-lo no fundo por meio de um sistema de drenagem/coleta. Entretanto, assim como os *wetlands* de fluxo horizontal, as macrófitas emergentes são plantadas diretamente no material filtrante e o efluente percola e inunda verticalmente toda a superfície do módulo de tratamento (PHILIPPI; SEZERINO, 2014).

Entre todas as formas de WC, esta configuração é a requer menor exigência de área, devido à capacidade superior de oxigenação do sistema WCFV, e ainda mais pela intermitência de aplicação do esgoto que, a cada vez, o oxigênio entra da atmosfera para dentro do leito (ZANELLA, 2008). Com isso, tem-se uma soma de oxigênio no sistema gerado por cada nova aplicação e proporciona dentro do material filtrante uma quantidade suficiente para degradação da matéria orgânica e a oxidação da amônia, além do O_2 introduzido pela parte aérea das plantas que pertencem ao sistema (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Segundo ainda Philippi e Sezerino (2004), na construção dos WCFV, são escavados módulos com superfície plana, preenchidos com um material filtrante como um recheio, formado majoritariamente por camadas de areia e brita. Ademais, é imprescindível uma impermeabilização de fundo para impedir que o efluente tratado percole as camadas mais profundas do solo e atinja o lençol freático. Conforme o desenho (Figura 10) pode-se compreender o sistema de fluxo vertical.

Figura 10 – Desenho esquemático de um sistema de um *wetland* construído de fluxo vertical



Fonte: Mattoso (2014).

4.6 COMPOSIÇÃO E PARÂMETROS DOS ESGOTOS

4.6.1 Composição

Apesar de o esgoto sanitário ser constituído em grande percentagem de água, 99% (a atividade de um indivíduo gera cerca de 1,5 litro/dia e menos de 100 gramas de matéria seca), a pequena parcela de impurezas gera a ele características na qual sofrem variações na origem ou decorrentes do seu processo de decomposição (CETESB, 1977). De acordo com Von Sperling (1996), devido a esta fração restante que inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, além dos microrganismos, que se devem tratar os esgotos.

Para a caracterização de um efluente e obtenção do seu potencial poluidor, definem-se parâmetros que podem ser divididos em três categorias: químicos, físicos e biológicos.

A concentração das impurezas que compõe os esgotos depende da quantidade de água consumida por habitante/dia bem como os hábitos alimentares da população, da presença de águas pluviais misturadas entre outros fatores. Além disso, durante as 24 horas do dia há uma variação do teor de impurezas e vazões dos efluentes (IMHOFF; KARL, 1996).

Para realizar uma análise de água residuárias, os parâmetros a seguir são os mais usuais na utilização dessa análise.

4.6.2 Parâmetros

4.6.2.1 Parâmetros Químicos

Os esgotos podem através de sua origem, classificar suas características químicas em: matéria orgânica e inorgânica. Em média, 70% dos sólidos presentes nos esgotos são de origem orgânica sendo compostos por uma combinação de carbono, hidrogênios, algumas vezes com nitrogênio (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

4.6.2.1.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Segundo Jordão e Pessoa (1995), a Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO é importante para determinar o grau de poluição de uma água residuária pelo consumo de oxigênio gerado por um despejo, além disso, sua determinação permite medir a eficiência de

uma estação de tratamento de esgotos (ETE) e sua carga expressa em kg/dia, é um parâmetro fundamental no projeto das estações de tratamento biológico de esgotos.

Isto se deve, por este parâmetro ser a forma mais utilizada para medir a quantidade de oxigênio gasta para a oxidação bioquímica da matéria orgânica em um processo que dura por várias semanas (AISSE, 2000). Para Von Sperling (1996), essa quantificação constitui no princípio da Demanda Teórica de Oxigênio (DTeO), onde poder-se-ia através de cálculos estequiométricos, obter a quantidade de oxigênio requerida para oxidar a dada quantidade do substrato, a exemplo da glicose ($C_6H_{12}O_6$). Para Imhoff e Karl (1986), a DBO depende de vários fatores, entre eles a composição e concentração da matéria orgânica, o número e atividade dos microrganismos, e temperatura do efluente.

4.6.2.1.2 Nitrogênio

O nitrogênio é um componente de grande importância na geração e controle da poluição das águas. Sua presença em um curso d'água pode indicar o estágio da poluição gerada por lançamentos de esgotos a montante (VON SPERLING, 1996).

Devido ao ciclo do nitrogênio, tal nutriente pode apresentar-se de variadas formas e estados de oxidação, como resultado de processos bioquímicos. Dentre as formas que pode se apresentar no meio aquático encontram-se:

- Amônia

A amônia pode apresentar-se nas soluções em suas formas livre (NH_3) ou de íon (NH_4^+), devido a valores da faixa usual de pH. A amônia livre tem importantes consequências ambientais, demonstrando uma poluição recente de um curso d'água, por ser produzida no primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico. Esta variação do nitrogênio representa uma toxicidade aos peixes quando em baixas concentrações, e seus níveis em águas calmas de lagos e represas, ocasionando o fenômeno de eutrofização, por poder favorecer o florescimento excessivo de algas e outros vegetais (NUVOLARI *et al.*, 2003; VON SPERLING, 1996).

O nitrogênio amoniacal provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidado biologicamente, a chamada DBO de segundo estágio (CETESB, 2014).

- Nitrato

O nitrogênio é um componente de grande importância na geração e controle da poluição das águas. Sua presença em um curso d'água pode indicar o estágio da poluição gerada por lançamentos de esgotos a montante, determinando um estágio mais antigo através da presença de nitrato. Em cursos d'água ou estações de tratamento de esgotos (ETE), após a amônia sofrer transformações posteriores, ela pode ser oxidada a nitrito e em seguida, a nitrato (VON SPERLING, 1996).

Os nitratos são tóxicos, sendo causadores da doença metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul) (CETESB, 2014).

A determinação deste elemento apresenta dificuldade pela relativa complexidade dos procedimentos requeridos, a alta probabilidade que componentes interferentes estejam presentes, e limitadas faixas de concentração das várias técnicas presentes.

- Nitrito

“Os nitritos são muito instáveis no esgoto e se oxidam facilmente para a forma de nitratos; sua presença indica uma poluição já antiga e raramente excede 1,0 mg/L no esgoto ou 0,1 mg/L nas águas de superfície” (JORDÃO; PÊSSOA, 1995, p. 36).

- Nitrogênio Total

O nitrogênio total é resultado da soma do nitrogênio orgânico com o amoniacal. O nitrogênio orgânico apresenta-se nos esgotos sanitários geralmente devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da uréia na água, e também, podem ser originado de descargas de efluentes industriais. Outra fonte dele é a atmosfera, resultante da biofixação de bactérias e algas presentes o corpo hídrico (CETESB, 2014).

4.6.2.1.3 Fósforo

O fósforo é um dos elementos primordiais para a síntese bacteriana e para o crescimento de plantas. É de grande importância sua presença nas estações de tratamento de esgoto, mantendo uma relação carbono/nitrogênio/fósforo (CNP) próxima de 100: 5: 1 para assegurar o crescimento bacteriano (NUVOLARI *et al.*, 2003).

Nos esgotos domésticos, este nutriente está presente em uma concentração média de 6 a 20 mg/L do fósforo. A principal fonte dele é a matéria orgânica fecal e os detergentes

em pó utilizados domesticamente em grande proporção. Além dos esgotos domésticos, o fósforo encontra-se em abundância nos efluentes industriais provenientes de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios (CETESB, 2014).

- Fósforo Total

“O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo” (CETESB, 2014, p. 17). Os ortofosfatos estão diretamente disponíveis para o metabolismo biológico, são representados pelos radicais, que se combinam dependendo do pH, com cátions formando sais inorgânicos nas águas e os polifosfatos, ou fosfatos condensados, polímeros de ortofosfatos. Já a terceira forma do fósforo, o polifosfato não apresenta muita relevância no controle de qualidade das águas, por converte-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais através da hidrólise (CETESB, 2014; VON SPERLING, 2005).

A concentração de fosfato total é limitada nas águas em suas diversas classes pela legislação. Nos corpos d'água são fixados valores que variam de menores que 0,01 mg/L a maiores que 0,05 mg/L como indicativos do estado de eutrofização aproximada. Portanto, algumas ETE's apresentam tratamento terciário com intuito de remover este nutriente (NUVOLARI *et al.*, 2003; VON SPERLING, 2005).

- Surfactantes Aniônicos

Os surfactantes ou detergentes designados como “substâncias ativas ao azul de metileno”, que reagem com o azul de metileno sob condições específicas, são constituídos por moléculas orgânicas na qual apresentam propriedades formadoras de espuma no corpo (BRASIL, 2015). Em grandes concentrações de detergentes descarregados nas águas naturais, as espumas formadas se espalham sob a ação dos ventos, contaminando biologicamente e impregnando-se na superfície do solo e dos materiais, tornando-os oleosos. Ademais, os detergentes podem exercer efeitos tóxicos sobre os ecossistemas aquáticos sendo responsabilizados pela aceleração da eutrofização. Os surfactantes aniônicos estão entre as mais relevantes entre as substâncias, naturais e sintéticas, que apresentam atividades ao azul do metileno (CETESB, 2014).

4.6.2.1.4 Óleos Vegetais, Minerais e Gorduras Animais

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal, geralmente compostas de hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. Estes compostos provêm normalmente de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas. A baixa solubilidade destes compostos constitui um grande problema quanto à sua degradação em unidades de tratamento de despejos por processos biológicos, e também aos processos de tratamento d'água quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento públicos (CETESB, 2014).

A matéria graxa e óleos são indesejáveis no sistema de esgotamento sanitário por causar entupimentos e formação de uma camada flutuante denominada espuma, na qual dificulta e prejudica as operações, em torno da rede e unidades de tratamento pertencentes ao sistema. (BRASIL, 2015).

Nos sistemas de tratamento biológico, é necessário evitar concentrações de óleos e graxas superiores a 20 mg/L, para impedir a morte dos microrganismos responsáveis pelo tratamento. Isso se deve por tais substâncias impedirem a entrada de oxigênio no sistema, e assim, asfixiarem as células bacterianas presentes (NUVOLARI *et al.*, 2003).

4.6.2.1.5 Oxigênio Dissolvido (OD)

A determinação do oxigênio dissolvido é usual para analisar a qualidade dos cursos d'água. É um fator de essencial importância para os organismos anaeróbios, sendo limitante na manutenção da vida aquática e dos processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos (BRASIL, 2015).

No processo de estabilização da matéria orgânica, as bactérias anaeróbias usam o oxigênio para realizar seus processos respiratórios, podendo diminuir sua concentração no meio e gerar a morte de diversos seres aquáticos. A contribuição fotossintética de oxigênio só é expressiva após grande parte da atividade bacteriana na decomposição de matéria orgânica ter ocorrido, bem como após terem se desenvolvido também os protozoários que, além de decompositores, consomem bactérias clarificando as águas e permitindo a penetração de luz. Num corpo d'água eutrofizado, o crescimento excessivo de algas pode “mascarar” a avaliação do grau de poluição de uma água, quando se toma por base apenas a concentração de oxigênio dissolvido. Sob este aspecto, águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido (CETESB, 2014; VON SPERLING, 2005).

A concentração de oxigênio na água varia de acordo com a pressão atmosférica e da temperatura do meio, e sua taxa de reintrodução em águas naturais através da superfície é proporcional à sua velocidade e depende das características hidráulicas do curso d'água (BRASIL, 2015).

4.6.2.1.6 *Metais*

Os metais figuram entre a grande parte dos micropoluentes inorgânicos tóxicos presentes na água, e quando concentrados na cadeia alimentar, representa grande perigo aos organismos nos níveis superiores na forma solúvel (VON SPERLING, 2005).

Estas substâncias em pequenas concentrações apresentam-se como nutrientes elementares no metabolismo de seres vivos, já em grandes quantidades tornam-se tóxico. Alguns metais apresentam toxicidade aos microrganismos responsáveis que realizam biodegradação da matéria orgânica (NUVOLARI *et al.*, 2003)

Nos esgotos sanitários, os metais normalmente manifestam-se em pequenas concentrações. Entretanto, na presença de efluentes industriais, podem apresentar-se em maiores percentuais como resíduos de indústrias de papel e cosméticos, de portos e minérios, indústria madeireira e também, da agricultura. Além destes, os metais podem ser originados de rochas e acumular-se em corpos d'água. Os metais despejados no líquido podem atuar prejudicialmente de diferentes formas e intensidades, dentro deles, o mercúrio, o cádmio e o chumbo estão entre os mais perigosos (MAGOSSO; BONACELLA, 2003).

4.6.2.2 *Parâmetros Físicos*

Os parâmetros físicos do esgoto são constituídos por: teor de matéria sólida, temperatura, pH, cor, turbidez e odor. Entre estas características, o teor de matéria sólida tem maior importância, devido ao dimensionamento e controle de operações das unidades de uma ETE (BRASIL, 2015; JORDÃO; PESSÔA, 1995).

4.6.2.2.1 *Sólidos Totais (ST)*

A aferição do teor de matéria sólida presente em um corpo d'água, o resíduo que permanece após evaporação a 103°, é constituído por todos os contaminantes presentes na água que formam a carga de sólidos, excluindo os gases dissolvidos (BRASIL, 2015).

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma

temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis) (CETESB, 2014, p. 2).

4.6.2.2.2 *Sólidos Sedimentáveis*

Jordão e Pessôa (1995) abordam os sólidos sedimentáveis como uma extensão a classificação dos sólidos totais em suspensão por função da sua sedimentabilidade. Esta determinação dos diversos tipos de matéria sólida é estabelecida por entidades responsáveis pela padronização, que revisam periodicamente seus procedimentos laboratoriais.

A Resolução CONAMA nº 430 de 13/05/2011 dispõe os sólidos sedimentáveis como a porção dos sólidos virtualmente ausentes que sedimentam sob a ação da gravidade em um período de tempo estimado arbitrariamente em 1 ou 2 horas em cone Imhoff.

4.6.2.2.3 *Turbidez*

“A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma” (VON SPERLING, 2005, p. 28). Essa interferência ocorre devido absorção e espalhamento da luz causada pela presença de sólidos em suspensão que podem abrigar microrganismos patogênicos, no qual indicam o grau de decomposição ou condição do esgoto (ANA, [2019]; JORDÃO; PÊSSOA, 1995)

4.6.2.2.4 *Potencial Hidrogeniônico (pH)*

O pH representa o equilíbrio íons H^+ e íons OH^- , variando em uma faixa de 7 a 14. Seus valores indicam as condições de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água (VON SPERLING, 1996).

Este parâmetro influi sobre os ecossistemas aquáticos naturais, na precipitação de elementos químicos tóxicos e em certas condições, podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Nos sistemas biológicos formados nos tratamentos de esgotos, o pH possui influência decisiva nos processos de tratamento, já a distribuição de água final é afetada pelas propriedades da água com corrosividade as águas ácidas e incrustante as águas alcalinas (CETESB, 2014).

A influência do pH em termos de tratamento de águas residuárias é gerada, por sua variação desequilibrar os compostos químicos presentes, seus valores afastados da

neutralidade tender a afetar as taxas de crescimentos dos microrganismos e em elevação, possibilitar a precipitação de metais (VON SPERLING, 2005).

Em condições ácidas, há um aumento de atividade quanto maior o decréscimo do pH, já o crescimento dele gera condições alcalinas ao meio. Em alguns casos, é feito uso dos valores de pH no denominado método colorimétrico, através da análise de certas substâncias que sofrem intensas modificações em função da variação de pH do meio. A medição do pH está entre os parâmetros mais importantes e usados nos testes químicos da água (RICHTER; NETTO, 1998).

4.6.2.2.5 *Temperatura*

A temperatura mede a intensidade de calor da água, geralmente superior à temperatura do ar, e também, das águas de abastecimento. Entretanto, quando há contribuição de despejos industriais, os valores reais dos efluentes podem elevar-se (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

Ainda segundo Jordão e Pessôa (1995), influência da temperatura nos processos de tratamento ocorre nas operações que envolvem sedimentação, nos processos biológicos e em operações que envolvem transferência de oxigênio. As elevadas temperaturas podem aumentar a taxa de reações físicas, químicas e biológicas, diminuir a solubilidade dos gases e aumentar sua taxa de transferência (VON SPERLING, 2005)

4.6.2.3 *Parâmetros Biológicos*

As características biológicas mais usuais do esgoto doméstico se vinculam aos microrganismos presentes no qual desempenham funções fundamentais na transformação da matéria orgânica dentro dos ciclos biogeoquímicos (VON SPERLING, 2005).

Os principais grupos de microrganismos presentes são: as bactérias, os fungos, os protozoários, os vírus e as algas. Entre eles, as bactérias têm papel fundamental por decompor e estabilizar a matéria orgânica, além de alimentar os protozoários presentes no efluente e manter o equilíbrio entre a diversidade de organismos presentes. Os microrganismos decompositores aeróbios tem seu crescimento na água vinculado ao lançamento de matéria orgânica através dos esgotos despejados, criando condições propícias a eles onde se alimentam da matéria orgânica e consome o oxigênio dissolvido ali presente (BRASIL, 2015; NUVOLARI, 2003).

Ainda sobre o aspecto da qualidade biológica da água, há a influência dos microrganismos patogênicos relativos à sua potencialidade em transmitir doenças vinculadas a água. A origem destes organismos patogênicos nos esgotos está diretamente ligada ao homem, refletindo as condições sanitárias e sociais, ou aos animais da região. Com isso, estabeleceu-se em estudos a divisão de grupos de patógenos para facilitar sua detecção em uma amostra d'água (VON SPERLING, 2005).

4.6.2.3.1 *Coliformes Totais*

O grupo de coliformes totais (CT) é formado por uma grande quantidade de bactérias oriundas de solos e águas e de fezes humanas e animal. São adotados como referência para indicar e medir o grau de contaminação por matéria fecal e possível presença de organismos patogênicos nas amostras (BRASIL, 2015; VON SPERLING, 2005).

4.6.2.3.2 *Coliformes Fecais*

“Os coliformes fecais (CF) são um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários do trato intestinal humano e outros animais. Este grupo compreende o gênero *Escherichia* e, em menor grau, espécies de *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*” (WHO, 1993 *apud* VON SPERLING, 2005, p. 107).

Em média, cerca de 200 bilhões de coliformes são eliminados pelas fezes humanas diariamente. Portanto, a presença dos coliformes fecais na água pode indicar sua contaminação por organismos patogênicos. Com isso, faz-se uso deste parâmetro para indicar a contaminação fecal de uma amostra (CAVINATTO, 2003).

4.7 LEGISLAÇÃO PARA O LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS

A Resolução CONAMA nº 430/2011 complementa e altera a Resolução nº 357/2005 “dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA” (CONAMA, 2011).

A norma regulamenta o lançamento de efluentes em corpos hídricos no Brasil. Consta dispostas nela todas as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes líquidos em corpos de água receptores, e limita

esse lançamento direto aos efluentes previamente tratados e que obedecem às novas condições legais dispostas na Seção II do segundo capítulo da Resolução e em outras normas aplicáveis.

Entretanto, às regulamentações estabelecidas por tal norma é restringida pela legislação estadual vigente, representada pelo Decreto nº 14.250/1981 (SANTA CATARINA, 1998), e ainda, pelo Código Estadual do Meio Ambiente, Lei nº 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009).

Os valores limites estabelecidos para cada parâmetro de lançamento, respeitando a norma mais restritiva, representada pelo Decreto nº 14.250/1981 para lançamento de efluentes líquidos, é exposto no Quadro 2.

Quadro 2 – Padrões de lançamento de efluentes

Parâmetro	Unidade	CONAMA 430, Seção II	Código Est. 14.675, Art. 177	Decreto Est. 14.250, Art. 19
<i>DBO</i>₅	% Remoção	60	80	80
Amônia	mg/L	20,0	-	10,0
Nitrato	mg/L	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	-	-	10,0
Fósforo Total	mg/L	-	-	1,0
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	mg/L	50,0	30,0	30,0
Óleos Minerais	mg/L	20,0	-	20,0
pH	-	5-9	-	6-9
Surfactantes Aniônicos	mg/L	-	2,0	2,0
OD	mg/L	-	-	-
Chumbo Total	mg/L	0,5	-	0,5
Cromo VI	mg/L	0,1	0,1	0,1
Mercúrio Total	mg/L	0,01	0,005	0,005

Sólidos Sedimentáveis	mL/L	1,0	-	1,0
Turbidez	µT	-	-	-
Temperatura	°C	< 40	-	< 40
Coliformes Totais	NPM/100mL	-	-	-
Coliformes Fecais	NPM/100mL	-	-	-

Fonte: (BRASIL, 2011; SANTA CATARINA, 1981; SANTA CATARINA, 2009).

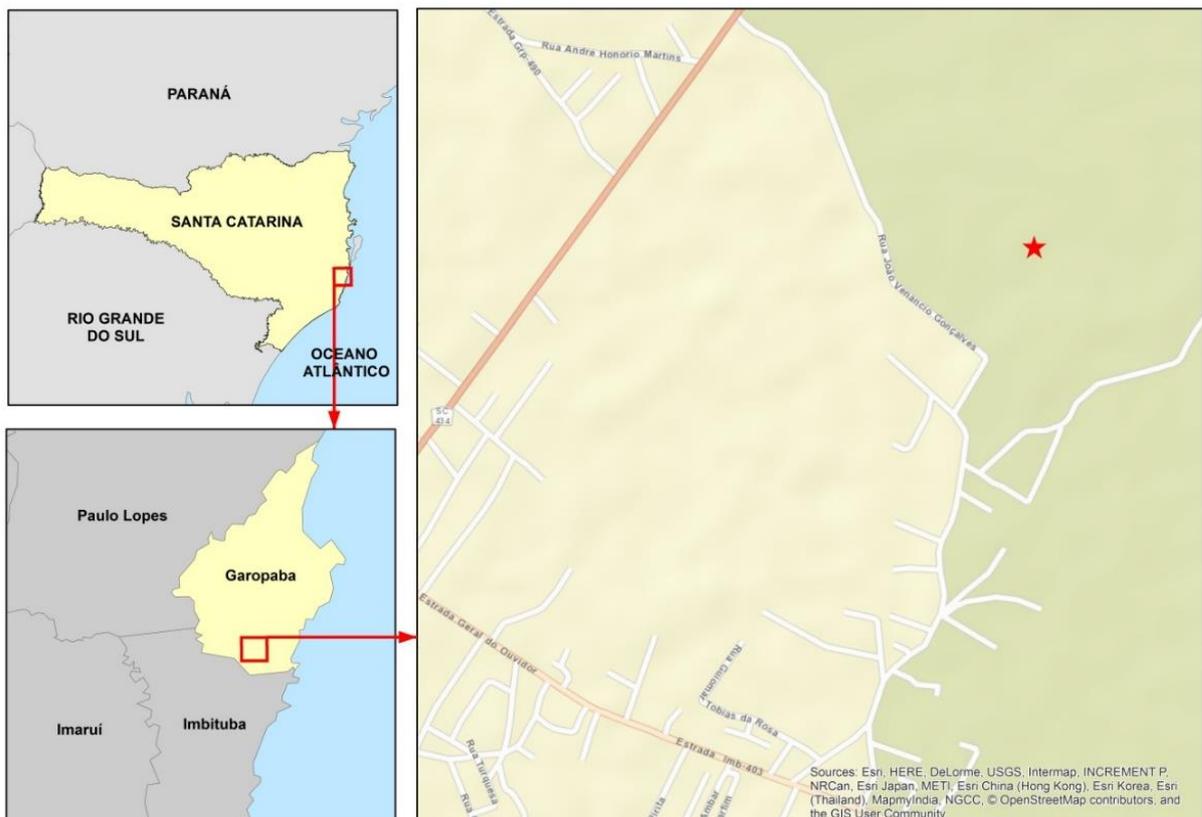
5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

5.1.1 Local de Estudo

O sistema de tratamento de efluente em estudo pertence a uma empresa de reciclagem e limpeza municipal. A área do empreendimento está situada na zona urbana do município de Garopaba - SC. Seu principal acesso se dá pela rodovia BR- 101, no qual se pode constatar pela figura (Figura11) a situação geográfica da empresa em relação à circunvizinhança, ao município de Garopaba, bem quanto ao estado de Santa Catarina. As coordenadas planas (UTM) do centroide do imóvel são geográficas $28^{\circ}05'37,62''S$ e latitude $48^{\circ}39'34,03''W$.

Figura11 – Situação geográfica da empresa



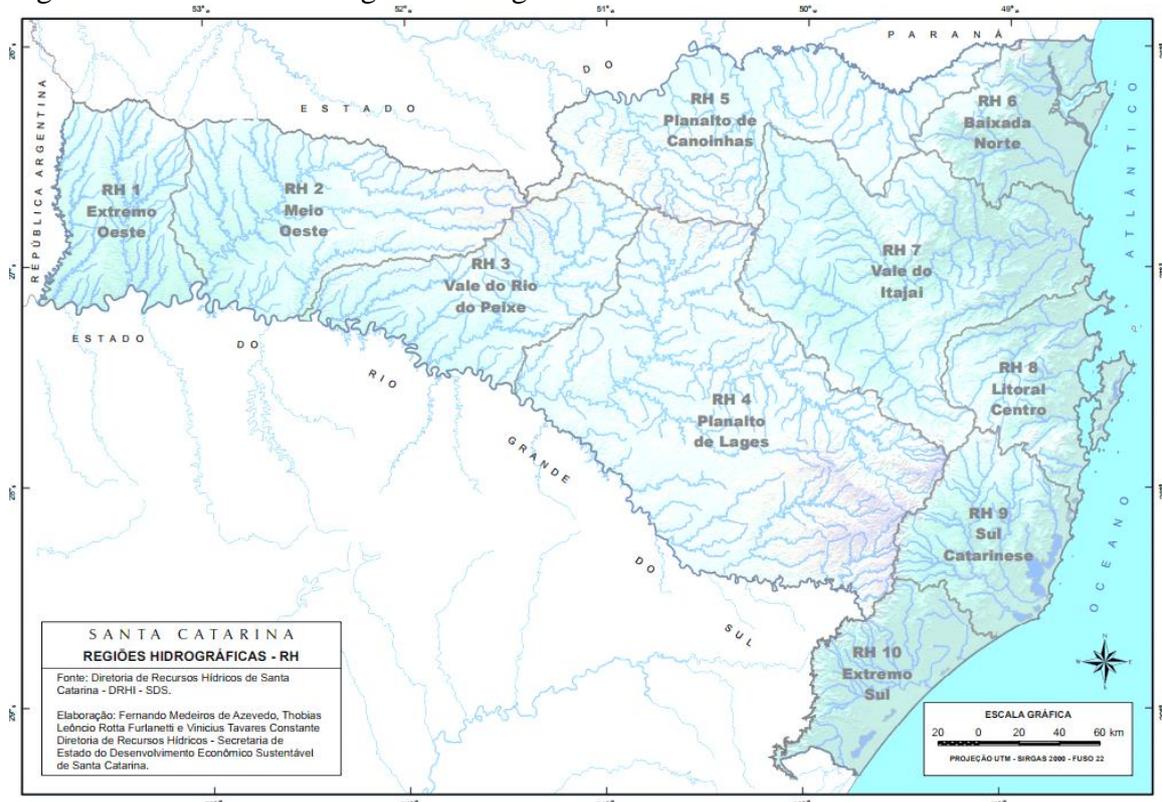
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Garopaba compreende uma área territorial de 114,773 km². Sua população estimada no último censo é de 18.138 pessoas, com uma densidade demográfica de 157,17

hab/km², onde 46 % dessa área dispõem de esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2018). Quanto à situação econômica e social da população, a remuneração média dos trabalhadores locais é de R\$1.908,00 e a mortalidade infantil é de 9,46 para cada 1000 nascidos. Em relação ao esgotamento sanitário, 46 % possuem esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2018).

O município integra a bacia hidrográfica do Rio da Madre pertencente à Região Hidrográfica Litoral Centro (RH-8) do estado de Santa Catarina, classificada pela Agência Nacional de Águas – ANA (Figura 12). Esta bacia hidrográfica (RH-8) possui uma área total de 5.269 km² e reúne os rios Cubatão, Madre, Tijucas e Biguaçu. As informações mais de todas as bacias do território, assim como as áreas de conservação do município onde o sistema de WC está localizado, podem ser visualizadas através dos apêndices A e B.

Figura 12 – Divisão das Regiões Hidrográficas de Santa Catarina



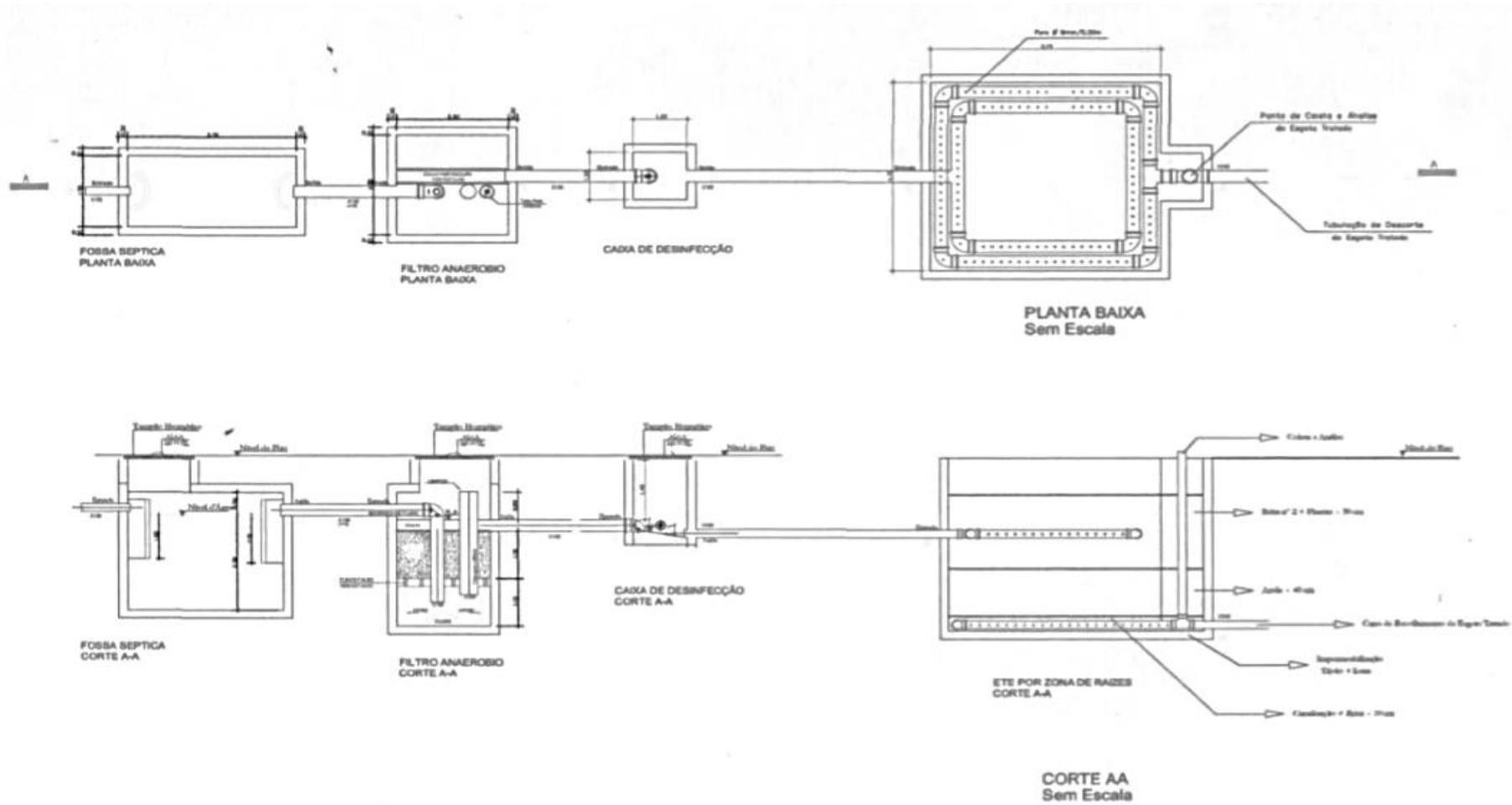
Fonte: Comitê Tijucas Biguaçu, ([2017?]).

5.1.2 Descrição da Estação de Tratamento

A estação de tratamento foi construída em 2014, e junto a ela, o sistema de *wetland* construído. A ETE utiliza o *wetland* como tratamento complementar ao sistema implantado para atender o esgoto sanitário produzido pela empresa com uma média diária de 40 pessoas e extensão total de 70 m² de largura e 420 m² de comprimento. O projeto seguiu a norma NBR 7229/93 (ABNT, 1993) para fábricas em geral, que estima a produção de 70 litros/dia de efluente doméstico.

O sistema de tratamento (Figura 13) foi implantado logo abaixo da superfície do solo, composto por uma fossa séptica, um filtro anaeróbio, uma caixa de inspeção e logo após, um sistema de *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV) seguido de uma vala de infiltração.

Figura 13 – Infraestrutura da ETE



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.2.1 *Wetland* Construído

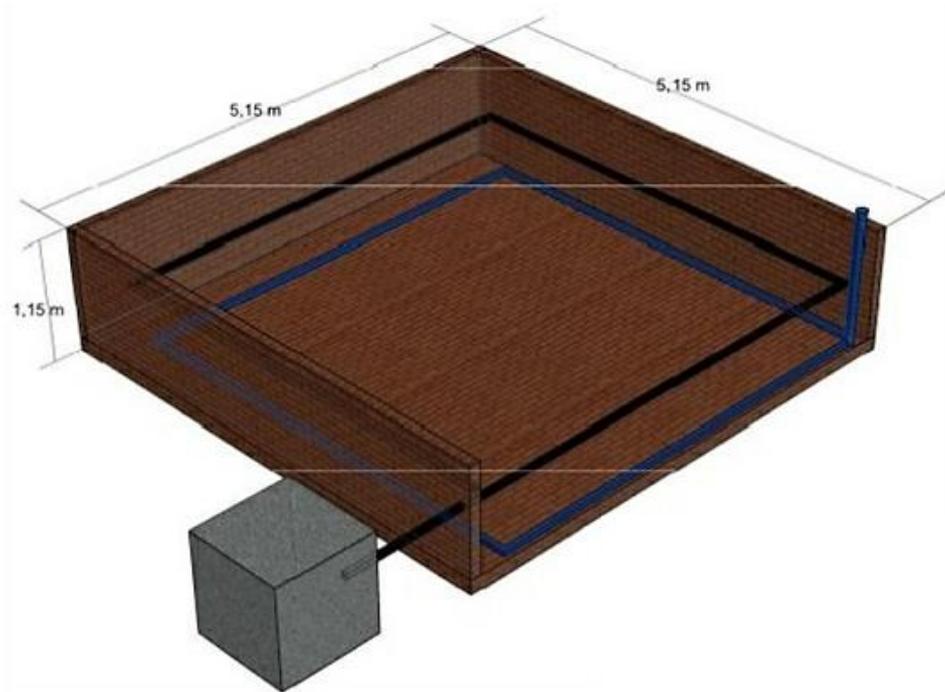
O *wetland* implantado é do tipo fluxo vertical (WCFV) de fundo saturado, para tratamento terciário foi construído logo abaixo da superfície do solo, considerando uma vazão para uma demanda média de 40 pessoas, com dimensões de 5,15 m x 5,15 m e profundidade de 1,15m (Figura 14). O filtro é estanque, primeiramente impermeabilizado por uma camada de tijolos seguida de dupla camada de lona plástica preta de 0,2 mm. Sua base apresenta uma proteção à canalização do fundo do tanque com uma camada de brita nº 2 (para evitar entupimento dos furos pela areia), sendo preenchida por uma camada de 40 cm de areia média e finalizado por 50 cm de brita, que cobre a canalização de distribuição de esgoto em 10 cm. Essa canalização apresenta dimensão de 3,2 m x 3,2 m.

Na composição da zona de raízes (Figura 15) foram utilizadas cerca de 30 mudas de variadas espécies, plantadas diretamente na brita, dentre elas o copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*), inhame (*Colocasia antiquorum*), taboa (*Typha Angustifolia*) como também dos gêneros *Juncus*, *Scirpus*, *Carex* e *Phragmites*.

O esgoto é disposto na superfície do tanque, através de uma série de dutos que distribuem o esgoto por todo o meio filtrante, e assim, ele segue por todas as camadas do meio filtrante, por um fluxo descendente até atingir sua base. No fundo do tanque, há uma outra série de dutos para o recolhimento do esgoto tratado e encaminhá-lo para a caixa de saída localizada na parte superior do final do sistema de *wetland*. Tal efluente tratado pelo sistema de alagado construído é direcionado posteriormente para uma vala de infiltração no final do terreno, situada a 300 m do sistema, e após isso, chega até o corpo d'água situado próximo ao fundo do terreno.

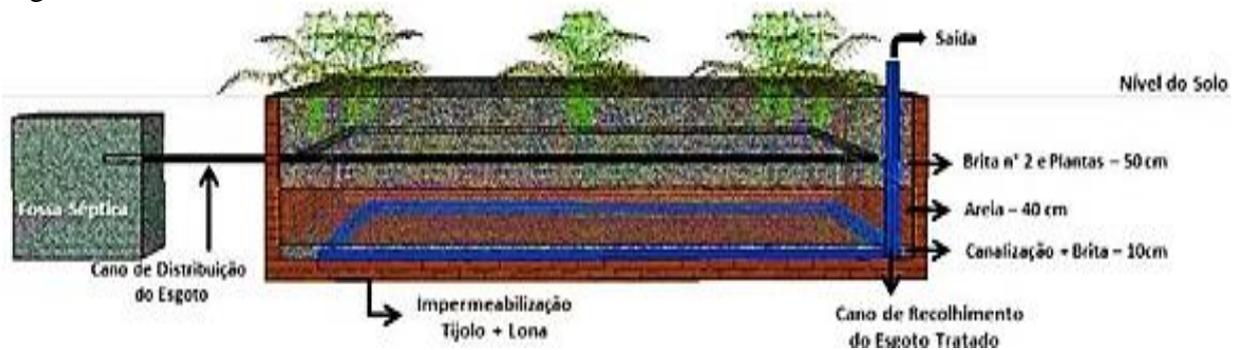
Os mecanismos para a remoção dos parâmetros de análises da ETE inerentes ao sistema de *wetlands* construído estão resumidos no Quadro 3.

Figura 14 – Dimensões da área do *wetland* construído



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 15 – Perfil do *wetlands* construído da ETE



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.2.1.1 Mecanismos dos Wetlands Construídos para remoção dos poluentes

Quadro 3 – Mecanismos do WC para remoção dos poluentes

PARÂMETROS ANALISADOS	MECANISMOS DE REMOÇÃO
DBO e DQO	<ul style="list-style-type: none"> - Degradação microbiana (aeróbia e anaeróbia) - Sedimentação (acumulação de matéria orgânica na superfície do sedimento) - Filtração

Nitrogênio	<ul style="list-style-type: none"> - Amonificação seguida de nitrificação e desnitrificação - Assimilação pelas plantas aquáticas - Volatilização da amônia
Sulfato	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorção (troca aniônica) - Respiração do sulfato - Precipitação de sulfetos metálicos
Metais	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentação/ Filtração - Reações de adsorção - Precipitação com material orgânico e acúmulo no sedimento - Precipitação na forma de hidróxidos e sulfetos - Assimilação pelas plantas aquáticas - Transformações microbianas (oxidação)
Sólidos Totais	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentação/Filtração - Decomposição - Precipitação e co-precipitação - Oxidação pelos microrganismos - Assimilação pelas plantas
Fenol	<ul style="list-style-type: none"> - Degradação microbiana (aeróbia e anaeróbia) - Adsorção a matéria orgânica e partículas do solo
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentação/ Filtração - Radiação ultravioleta - Oxidação - Adsorção a matéria orgânica - Predação e ataque por vírus - Morte natural - Exposição a biocidas excretados por macrófitas

Fonte: Cunha (2006).

5.1.3 Estimativa de projeto para vazão de esgotos e carga orgânica

A empresa possui uma média de 20 funcionários, entretanto na alta temporada compreendida entre os meses de janeiro a março, estima-se uma população máxima de 40 pessoas no estabelecimento.

A quantidade de esgotos e a carga orgânica correspondente ao tipo de empreendimento segue a norma NBR 7229/93 para fábricas em geral (ocupantes temporários).

Os cálculos para medir a contribuição de despejos e sua carga orgânica, por tipo de prédio e ocupante, são dados pelas seguintes fórmulas:

Equação 1: Vazão diária de esgotos por pessoa

$$Q = C \times Pop \text{ (hab)}$$

Onde:

Q = volume de esgoto por pessoa por dia (L/dia)

C = contribuição de esgoto para fábrica em geral (L/dia)

Pop = população contribuinte ao prédio (hab)

Logo:

$$Q = 40 \times 70$$

$$Q = 2800 \text{ L/dia}$$

Equação 2: Carga orgânica diária de esgotos

$$C_{org} = C_{org} \times Pop \text{ (hab)}$$

Onde:

C_{org} = carga de DBO 5,20, expressa em kg/dia;

Pop = população contribuinte ao prédio (hab).

Logo:

$$C_{org} = 25 \times 40$$

$$C_{org} = 1000 \text{ kgDBO}_{5,20/d}$$

Equação 3: Estimativa da $DBO_{5,20/d}$

$$DBO_{5,20/d} = \frac{C_{org}}{Q_T}$$

Onde:

C_{org} = carga de DBO 5,20, expressa em kg/dia

Q_T = volume de esgoto diário total do prédio

Logo:

$$DBO_{5,20/d} = \frac{1000 DBO_{5,20/d}}{28000}$$

$$DBO_{5,20/d} = 357 \text{ mg/L}$$

5.1.4 Área Diretamente e Indiretamente Afetadas

A Avaliação de Impacto Ambiental é um mecanismo da gestão ambiental, no qual compõe os Estudos de Impactos Ambientais (EIA). De acordo com a Resolução CONAMA nº 01 de 1986, os estudos de impactos ambientais visam obedecer às diretrizes gerais, dentre elas: “Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza” (CONAMA, 1986, p. 637).

As áreas de influências limita geograficamente a área em diretamente e indiretamente afetadas. Estes estudos são um resultado de um prognóstico que pode vir a confirma-se através do monitoramento ambiental do local. Com este intuito, foram limitadas e analisadas as áreas diretamente e indiretamente (Figura 16) afetadas do sistema de tratamento (SANCHEZ, 2006).

Figura 16 – Áreas diretamente e indiretamente afetadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.2 COLETA DE AMOSTRA E ANÁLISE LABORATORIAIS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO EFLUENTE

5.2.1 Coleta de Amostra

A implantação da ETE foi realizada no ano de 2014. Desde este período, são realizadas análises de amostras das águas residuárias coletadas trimestralmente, enquanto que, as análises dos poços do terreno foram iniciadas em 2018, realizando-as anualmente.

Para a avaliação da eficiência do tratamento da ETE foram analisados os efluentes através dos seguintes parâmetros: temperatura do ar (°C), DBO_5^4 (mg/L), OD (mg/L), (mg/L), SSed (mg/L), nitrogênio amoniacal (mg/L), nitrogênio nitrato (mg/L), pH, óleos vegetais e gorduras animais (mg/L), óleos minerais (mg/L) e surfactantes aniônicos (mg/L).

Já nos poços de monitoramento, foram observados os resultados das análises, objetivando verificar se há ocorrência de infiltração através de algum ponto da ETE estudada.

Figura 17 – Coleta na ETE das amostras para análise



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

⁴ Período de tempo de 5 dias em uma temperatura de incubação de 20°C (VON SPERLING, 2005).

5.2.2 Monitoramento

O monitoramento da ETE para este trabalho consistiu no período expandido de maio de 2018 a maio de 2019, totalizando cinco análises dos efluentes e uma análise dos poços de monitoramento.

Todas as análises laboratoriais foram realizadas no dia seguinte à coleta, nas dependências do laboratório PROJELAB, situado em São Ludgero-SC.

O estudo analisou laboratorialmente os parâmetros exigidos na Resolução CONAMA nº 430, respeitando quando possível, os valores estabelecidos mais restritivos fixados pelo Decreto do Estado 14.250/1981 (SANTA CATARINA, 1981).

5.2.3 Pontos de Amostragem

Para a verificação da eficiência do sistema WC foram estabelecidos pontos de coleta do afluente e efluente (APÊNDICE C) da ETE para procedimento das seis análises laboratoriais realizadas.

As amostragens foram obtidas através de três pontos de coletas, através dos seguintes pontos:

- Ponto 1- Entrada no sistema (esgoto bruto)
- Ponto 2- Efluente obtido através da caixa de inspeção saído da fossa séptica e filtro anaeróbio, antes de entrar no sistema de *wetland* construído
- Ponto 3- Efluente final do sistema

5.2.4 Eficiência de Remoção de Poluentes por etapas

Os cálculos da eficiência de remoção de determinado poluente no tratamento ou em uma etapa da Estação de Tratamento de Efluente são realizados pela fórmula (Equação 4) que mede a diferença entre as concentrações na entrada (P1) e no pós-tratamento primário e secundário (P2), no P2 e na saída do sistema (P3), além das diferenças entre (P1) e (P3), essas diferenças encontradas divididas e multiplicadas por 100.

Equação 4: Porcentagem ou eficiência de remoção de determinado poluente

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

Onde:

E = eficiência de remoção (%)

C_o = concentração afluente do poluente (mg/L)

C_e = concentração efluente do poluente (mg/L)

5.2.5 Eficiência da ETE na remoção de DBO

A estimativa da DBO dos esgotos domésticos, assim como a redução proporcionada pela eficiência do tratamento dos esgotos brutos, caso os valores de DBO afluente sejam conhecidos, na situação deste estudo, pode ser obtida através da equação seguinte (Equação 5) (VON SPERLING, 2005).

Equação 5: Cálculo da redução de DBO proporcionada pela eficiência do tratamento

$$DBO_{\text{eff}} = \left(1 - \frac{E}{100}\right) \times DBO_e$$

Onde:

DBO_{eff} = DBO₅ do esgoto efluente do tratamento (mg/L)

DBO_e = DBO₅ do esgoto afluente ao tratamento, ou esgoto bruto (mg/L)

E = eficiência do tratamento na remoção da DBO₅(%)

5.3 METODOLOGIA DE ANÁLISES LABORATORIAIS

5.3.1 Standard Methods

As análises foram conduzidas através das metodologias consolidadas de análise de parâmetros de qualidade da água e esgoto, como as determinadas na *Wastewater analysis - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22st Edition, 2012*.

O *Standard Methods* é usado como uma metodologia comprovada e precisa que inclui centenas de técnicas analíticas para analisar águas naturais, fontes de água e águas residuais desde 1905. Para a avaliação do desempenho do sistema de tratamento de esgoto em estudo, foram monitorados e analisados através desta metodologia os parâmetros físico-químicos relacionados com a matéria orgânica carbonácea, nutrientes e organismos patogênicos.

5.3.2 USEPA Test Methods

Os USEPA *Test Methods* são métodos analíticos usados como procedimentos para medir a quantidade de contaminantes específicos em amostras de água, fornecendo dados necessários para cumprir os objetivos de monitoramento e incorpora critérios de qualidade para alcançar-se o desempenho aceitável do método. Além disso, esta metodologia descreve os procedimentos de coletas e armazenamento das amostras (EPA, 2018).

5.3.3 Métodos aplicados nos parâmetros analisados

Quadro 4 – Métodos aplicados nas análises

Parâmetro	Unidade	Metodologia	Limite de quantificação
DBO₅	mg/L	SM 5210 B	1,0
Amônia	mg/L	SM 4500-N A/B	2,0
Nitrato	mg/L	SM 4500- NO₃ B	0,2
Chumbo Total	mg/L	EPA 6020A	0,005
Cromo VI	mg/L	EPA 6020A	0,02
Fósforo Total	mg/L	SM 4500-F A/B/C	0,5
Nitrito	mg/L	SM 4500- NO₂ B	0,002
Nitrogênio Total	mg/L	SM 4500-N B	10,0
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	mg/L	SM 5520 D	5,0
Óleos Minerais	mg/L	SM 5520 D	5,0
pH	-	SM 4500-H	1,0
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	SM 2540 A/D	0,10
Surfactantes Aniônicos	mg/L	SM 5540 C	0,05
Oxigênio Dissolvido	mg/L	SM 4500-O A/C	1,0
Turbidez	µT	SM 211300 A/B	1,0
Coliformes Totais	NMP/100 mL	SM 9221 B, C, E, F	1,8
Coliformes Fecais	NMP/100 mL	SM 9221 B, C, E, F	1,8

Fonte: (APHA, 2005; EPA, 2018).

5.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

O IQA é um método desenvolvido para avaliar a qualidade da água. Entretanto, a avaliação por este índice é limitada por vários parâmetros importantes deixarem de ser avaliados, tais como substâncias tóxicas, a exemplo de metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos, e também, substâncias que intervêm nas propriedades organolépticas da água (ANA, [2019]).

O cálculo do IQA constitui-se dos seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitratos, fosfatos, temperatura da água, turbidez e sólidos totais, com seus respectivos pesos (w), fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (Quadro 5) gerando um índice com valores variando de 0 a 100 (CETESB, 2014).

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA: índice de qualidade das águas, um número entre 0 e 100;

n : números de parâmetros utilizados no IQA, no caso são nove;

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva: "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida";

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, logo:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Quadro 5 – Classificação do IQA

Nível de Qualidade	Faixa	Cor de Referência
ÓTIMA	$79 < \text{IQA} \leq 100$	
BOA	$51 < \text{IQA} \leq 79$	
REGULAR	$36 < \text{IQA} \leq 51$	
RUIM	$19 < \text{IQA} \leq 36$	
PÉSSIMA	$0 \leq \text{IQA} \leq 19$	

Fonte: CETESB (2014).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultados das análises do efluente realizadas no período de maio de 2018 a maio de 2019.

6.1 ANÁLISES DAS AMOSTRAS

6.1.1 Eficiência gerada pelo *wetland* construído à ETE

Para avaliar quanto de eficiência na remoção de cada parâmetro o *wetland* construído de fluxo vertical proporciona a ETE da empresa, foi adicionado um novo ponto de coleta intermediário ao sistema de tratamento, o ponto de coleta P2. Assim, os resultados dos parâmetros analisados foram utilizados na fórmula (Equação 1) para estimar a eficiência do *wetland* na remoção de cada poluente (VON SPERLING, 2005).

Tabela 1 – Resultados das amostras obtidas em P2 e P3

Parâmetros	Sistemas Individuais Primário e Secundário	WCFV
<i>DBO</i> ₅	80	24
Amônia	43,2	21,4
Nitrato	24,8	7,4
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	57,8	57,8
Óleos Minerais	22,3	5,8
pH	6,91	6,99
Surfactantes Aniônicos	1,46	0,84
OD	1,45	2,91
Sólidos Sedimentáveis	0,7	0,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 2 – Eficiência de Remoção do WC

Parâmetros	Eficiência de Remoção do WC (%)
<i>DBO</i> ₅	70
Amônia	50,46
Nitrato	70,16
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	84,26
Óleos Minerais	73,99
pH	-1,16
Surfactantes Aniônicos	42,47
OD	-100,69
Sólidos Sedimentáveis	57,14

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

6.1.2 Eficiência da ETE na remoção de DBO

A quantificação da DBO constitui um dos parâmetros mais importantes na área de tratamento de esgotos, para o controle das eficiências das estações, tanto de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios, como também nos físico-químicos (CETESB, 2014).

Os afluentes da ETE são analisados apenas quanto à quantidade de DBO_5 presente nas amostras. Portanto, em todas as cinco amostras analisadas no período de um ano foram possíveis obter os valores de entrada e saída do sistema de tratamento (Tabela 3). Com isso, possibilitou-se realizar os cálculos, através da equação (Equação 5), da eficiência de todo o sistema de tratamento na remoção de DBO (Tabela 4).

Tabela 3 – Resultados da quantidade de DBO_5 nas amostras analisadas

Data da coleta	P1	P2	P3
16/05/2018	1.180,0	-	149,0
16/08/2018	1.310,0	-	188,0
13/11/2018	1.220,0	-	110,0
13/02/2019	976,0	-	170,0
21/05/2019	650,0	80,0	21,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Através dos dados acima, obteve-se a quantidade média de DBO na entrada do sistema de tratamento de 1.067,2, diferindo em grande proporção da estimativa de projeto no valor de 357 mg/L. Apesar disso, todos os resultados das análises utilizadas nesta pesquisa, atenderam todas as legislações cabíveis ao lançamento no corpo d'água, com a mais restritiva pertinente ao Decreto nº 14.250/1981 que estipula 80% de remoção.

Em relação às eficiências proporcionadas por etapas, o *wetland* obteve 70% de remoção da DBO_5 , valor inferior à eficiência média de remoção esperados para esse tipo de tratamento (80 - 90%) (VON SPERLING, 2005). Já Silva (2007) atingiu uma eficiência de 99 % para o sistema de *wetland* com fluxo vertical, e a média total quantificada pelos estudos de Lima (2016) foi de 69,13%.

Quanto à eficiência na remoção de DBO média para o sistema de tratamento fossa séptica/filtro anaeróbio as proporções variam de 70% a 90% (VON SPERLING, 1995 *apud* NUNES, 2012).

A ETE apresentou uma alta eficiência de remoção de DBO (Tabela 4), em média de 88,58 % nas amostras analisadas.

Tabela 4 – Resultados da eficiência na remoção de DBO nas amostras analisadas

Data da coleta	Eficiência (%)
16/05/2018	87,37
16/08/2018	85,65
13/11/2018	90,98
13/02/2019	82,58
21/05/2019	96,31

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

6.1.3 Parâmetros de análises

6.1.3.1 Temperatura

As coletas foram sempre realizadas em dias ensolarados, na temperatura do ar variando de 20°C a 22°C. Entretanto, nenhuma das amostras analisadas mensuraram as temperaturas do efluente da ETE.

6.1.3.2 Amônia

Os ensaios para quantificação da amônia presente foram realizados apenas no efluente de saída da ETE. Os valores indicados na Tabela 5 apresentam os valores do nitrogênio amoniacal no efluente já tratado, e a coleta realizada no P2 para avaliação da eficiência do *wetland* à ETE (Tabela 2), que atingiu o valor de 50,46% remoção, um pouco superior à eficiência média dos *wetlands* obtida por Von Sperling (2005) com valores inferiores a 50 %.

Tabela 5 – Resultados das quantidades de amônia nas amostras analisadas

Data da coleta	P2	P3
16/05/2018	-	16,3
16/08/2018	-	14,4
13/11/2018	-	6,3
13/02/2019	-	5,9
21/05/2019	43,20	21,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A média da quantidade de amônia no efluente de saída do sistema de tratamento foi de 12,86 mg/L, com grande intervenção da última amostra analisada referente a maio de 2019, no qual foi 66,42 % maior que a média anterior, podendo significar um aumento

substancial na concentração afluyente. Além disso, essa amostra não atendeu os limites máximos estabelecidos pelas normas que variam de 20 mg/L pelo CONAMA nº 430/2011 e 10 mg/L inerente ao Decreto nº 14.250/1981.

6.1.3.3 Nitrato

Os valores obtidos do nitrato nas amostras coletadas estão apresentados na Tabela 6 abaixo. Os resultados referentes aos efluentes finais do sistema de tratamento ficaram entre de 0,77 a 1,7 mg/L com pouca variação. Entretanto, assim como o nitrogênio amoniacal, na última coleta analisada houve um elevado aumento em proporção a média apresentada nas quatro análises anteriores, indicando que o nitrato seria resultante da oxidação do amoniacal. De acordo com Valentim (2003), o aumento da quantidade da amônia foi à razão do acréscimo de nitrato no efluente de saída, além disso, a presença desse nutriente no efluente de saída dos *wetlands* indica que não houve total denitrificação e que as macrófitas não absorveram totalmente esta forma de nitrogênio.

Tabela 6 – Resultados das quantidades de nitrato nas amostras analisadas

Data da coleta	P2	P3
16/05/2018	-	1,4
16/08/2018	-	1,6
13/11/2018	-	0,77
13/02/2019	-	1,7
21/05/2019	24,80	7,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na eficiência de remoção do nitrato proporcionada pelo *wetland* obteve-se 70,16 % na última análise realizada. Segundo Cunha (2006), essa alta remoção no sistema do WC se deve a uma alta absorção pelas macrófitas e biofilme no processo de desnitrificação.

Todavia, a remoção de nitrato não foi tão alta quanto o valor máximo de remoção obtido no *wetland* construído de fluxo horizontal do restaurante universitário de 91,80% (MORAES, 2017). Philippi e Sezerino (2004) afirmam que os *wetlands* de fluxo vertical têm por finalidade promover a nitrificação completamente.

6.1.3.4 Óleos e Graxas

Os valores de óleos vegetais e gorduras animais dos efluentes finais da ETE analisados no período estão apresentados na Tabela 7. A média no efluente de saída dessas

substâncias foi de 14,02 mg/L. Pode-se perceber através da tabela uma grande redução no valor da última análise feita.

Tabela 7 – Resultados das quantidades de óleos vegetais e gorduras animais nas amostras

Data da coleta	P2	P3
16/05/2018	-	14,2
16/08/2018	-	15,1
13/11/2018	-	12,2
13/02/2019	-	19,5
21/05/2019	57,8	9,1

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os resultados das amostras atenderam a todas as restrições das legislações utilizadas neste estudo que variam de 30 a 50 mg/L (BRASIL, 2011; SANTA CATARINA, 2009). Quanto à eficiência do WC na remoção dos óleos vegetais e gorduras animais na última análise realizada atingiu um valor de 84,26%.

Em relação aos óleos minerais, os valores do efluente tratado nas cinco análises, seguem na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados das quantidades de óleos minerais nas amostras

Data da coleta	P2	P3
16/05/2018	-	6,1
16/08/2018	-	7,2
13/11/2018	-	6,1
13/02/2019	-	7,3
21/05/2019	22,3	5,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A média dos valores do efluente final foi 6,5 mg/L para os óleos minerais. Todas as amostras se enquadraram nos padrões estabelecidos 20,0 mg/L pelo Decreto nº 14.250 (SANTA CATARINA, 1981). Na remoção dessa substância, o WCFV da ETE alcançou uma eficiência de 73,99%.

Em seu processo de decomposição, os óleos e graxas reduzem o oxigênio dissolvido, com isso, na coleta referente ao mês de fevereiro de 2019 obteve-se a maior concentração desses óleos e graxas, em contrapartida a menor quantidade de OD das amostras do efluente tratado referente ao período analisado.

6.1.3.5 pH

O pH é um fator abiótico e de grande importância nos processos biológicos que ocorrem nos sistemas de *wetlands* construídos. Os valores apresentados pelo efluente tratado do período em estudo estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados dos valores de pH nas amostras analisadas

Data da coleta	P2	P3
16/05/2018	-	7,28
16/08/2018	-	7,36
13/11/2018	-	6,57
13/02/2019	-	6,21
21/05/2019	6,91	6,99

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A média do pH do esgoto tratado da ETE foi de 6,88, atendendo à legislação, conforme estabelecido pelo CONAMA nº 430/2011 de 5-9 e também, os valores estipulados pelo Decreto 14.250/1981 de 6-9 (SANTA CATARINA, 2009 Estes valores apresentam uma faixa de pH ótimo para o processo de amonificação na qual varia de 6,5 a 8,5 (USEPA *apud* VALENTIM, 2003).

Na última análise realizada para calcular a eficiência de remoção da etapa do WC, foi possível observar que o valor do pH da água residuária antes de passar pelo sistema foi inferior que o valor após ser tratado, por isso a eficiência negativa, o que deixa o afluente um pouco mais ácido que o efluente. Entretanto, os valores do pH afluente e efluente do WC pouco se alterou, assim como os estudos realizados com outros sistemas de WC para o tratamento de esgoto doméstico, resultando em uma variação de 6,56 a 7,54 (LOHMANN, 2011 *apud* STIEGEMEIER, 2014).

6.1.3.6 Surfactantes Aniônicos

Os detergentes ou surfactantes aniônicos são definidos como compostos que reagem com o azul de metileno geralmente com a presença de fósforo em suas formulações (CETESB, 2014).

A concentração deste composto nos efluentes tratados variou de 0,62 a 0,84 mg/L, atendendo em todas as amostras o valor limite de 2,0 pelo Decreto nº 14.250 e Lei nº 14.675, como mostra os resultados das análises estudadas (Tabela 10) (SANTA CATARINA, 1981; SANTA CATARINA, 2009).

Tabela 10 – Resultados das quantidades de surfactantes aniônicos nas amostras

Data da coleta	P2	P3
16/05/2018	-	0,62
16/08/2018	-	0,86
13/11/2018	-	0,72
13/02/2019	-	0,89
21/05/2019	1,46	0,84

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Em relação à eficiência do *wetland* na remoção dos surfactantes aniônicos obtida na última análise, chegou-se a um total de 42, 47%. Essa remoção ocorre em decorrência de d remoção de fósforo, através das macrófitas e biofilme presentes no WC agregarem esse nutriente a sua biomassa e o armazenar em seu material de enchimento (MONTEIRO, 2009),

Na adequação dos surfactantes aniônicos do efluente tratado as exigências do limite máximo de 2,0 mg/L estabelecido pelo Código Estadual do Meio Ambiente nº 14.675, em todo o monitoramento foi atendimento, mostrando-se a adequação da ETE para obedecer as legislações vigentes (SANTA CATARINA, 2009).

6.1.3.7 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio presente nos sistemas é de grande importância para que ocorra a degradação da matéria orgânica. Os resultados das amostras do período quanto ao oxigênio dissolvido nos efluentes estão presentes na tabela abaixo (Tabela 11).

Tabela 11 – Resultados das quantidades de oxigênio dissolvido nas amostras

Data da coleta	P2	P3
16/05/2018	-	4,13
16/08/2018	-	3,82
13/11/2018	-	3,27
13/02/2019	-	2,29
21/05/2019	1,45	2,91

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A eficiência do *wetland* no parâmetro de OD resultou em um valor negativo. Os sistemas de WC atuam através do aumento do oxigênio dissolvido na água e solo pelas plantas, através da presença de câmaras armazenadoras na rizosfera, e da liberação de oxigênio no crescimento dessas macrófitas (HAMMER, 1998 *apud* MELLO, 2016). Devido a

isto, houve o aumento do oxigênio dissolvido do afluente para o efluente verificado na última análise.

A média de OD nos efluentes tratados da ETE foi de 3,28 mg/L. As legislações pertinentes a este trabalho, não estabelecem valores para o oxigênio dissolvido final do sistema de tratamento.

6.1.3.8 Sólidos sedimentáveis

Os esgotos domésticos contêm maior quantidade de sólidos na forma dissolvida e vai aumentando com o decorrer da passagem do líquido pelas etapas de tratamento. Este crescimento decorre devido ao processo de hidrólise do material particulado e da decomposição da matéria orgânica (MONTEIRO, 2009). A parcela sedimentável dos sólidos foi mensurada nas análises do período com os resultados apresentados abaixo (Tabela 12).

Tabela 12 – Resultados das quantidades de sólidos sedimentáveis nas amostras

Data da coleta	P2	P3
16/05/2018	-	0,2
16/08/2018	-	0,2
13/11/2018	-	0,2
13/02/2019	-	0,5
21/05/2019	0,7	0,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os resultados finais do efluente tratado atingiram a média de 0,28 mL/L. Em todas as análises foi atendido ao valor máximo estabelecido pelo Decreto nº 14.250/1981 de 1,0 mL/L (SANTA CATARINA, 1998).

A eficiência do WCFV proporcionada à ETE na última análise do estudo alcançou 57,14 %, inferiores à média de eficiência na remoção desta fração de sólidos que variou de 91 a 99% nas unidades de tratamento avaliadas por Philippi e Sezerino (2004).

6.1.4 IQA

Para calcular a qualidade da água pós-tratamento da ETE pelo índice de IQA, seriam necessários além dos parâmetros utilizados anteriormente, obter resultados quanto os seguintes aspectos ausentes nas análises laboratoriais realizadas: coliformes fecais, turbidez, temperatura da água, fósforo total e sólidos totais.

Em razão da não disposição de todas as nove variáveis, o cálculo do IQA foi inviabilizado.

6.2 ÁREAS INDIRETAMENTE AFETADAS

São realizados anualmente análises dos poços de monitoramento instituídos pela empresa. Contudo, este monitoramento está mais ligado às atividades industriais do estabelecimento, pois diversos parâmetros avaliados, não são inerentes as análises realizadas do efluente tratado na ETE.

Através dos resultados dos monitoramentos dos três poços, principalmente em relação do PM 01, mais próximo ao local onde está situado o *wetland*, pôde-se observar pela presença das cargas orgânicas dos poços, que não há comprometimento do lençol freático, ou seja, o filtro plantado é estanque.

Tabela 13 – Resultados do monitoramento das águas subterrâneas

Parâmetros	PM 01	PM 02	PM 03
<i>DBO</i>₅	6,0	5,0	8,0
Chumbo Total	0,01	0,0577	0,0212
Cromo VI	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Manganês Total	0,15	0,21	0,33
Mercúrio Total	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005
Fósforo Total	2,8	3,3	3,0
Amônia	< 0,2	< 2,0	< 2,0
Nitrito	0,28	0,12	0,17
Nitrato	3,7	5,1	4,4
Nitrogênio Total	< 10,0	< 10,0	< 10,0
OD	2,91	3,33	2,76
pH	7,52	6,91	7,13
Turbidez	38,0	44,0	32,0
Coliformes Totais	1,8×10 ²	3,3×10 ²	2,4×10 ²
Coliformes Fecais	Não Detectado	Não Detectado	Não Detectado

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

6.3 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE WETLAND

Os custos financeiros associados à implantação de uma solução tecnológica para o sistema de tratamento de efluentes é de suma importância para sua concepção ou não. Os custos para implantação e operação de sistemas de WC devem ser analisados antes de definido se virá a ser adotada como um tratamento.

Para definição dos custos do sistema WC em estudo, foi irrefutável a interferência das especificidades do local para sua concepção. O sistema foi construído o mais próximo possível da fossa séptica, para se reduzir significativamente os custos relativos quanto à canalização. Foram seguidos os parâmetros propostos por Sezerino *et al.* (2018) para estimar os custos totais do projeto levando em conta as variabilidades do local de implantação.

6.3.1 Área do projeto

Inicialmente, foi avaliada a área e construção da estrutura do sistema de *wetland* construído. O sistema contou com 26,5 m² de área total dos 29.400 m² de área da empresa. Para calcular o custo médio com uso da área, foi usado o valor do m² do terreno de R\$ 200,00 multiplicado com a área total do *wetland*, obtendo o valor de R\$ 5.000,00.

A estrutura do sistema escolhida foi do tipo escavação seguida de acordo com as condições de projeto. Os custos da implantação estrutural foram calculados através da planilha para orçamento de obras civis e materiais (Figura 19).

6.3.2 Macrófitas

As macrófitas utilizadas no sistema estavam disponíveis na região, com isso, todas elas foram retiradas de locais próximos e transplantadas para o sistema. Portanto, o dispêndio financeiro com as plantas do sistema *wetland*, foi estimado pela planilha (Figura 18) apenas em razão da mão-de-obra para coleta e transplante.

Figura 18 – Cálculo de custos das macrófitas para o plantio

RETIRADA E PLANTIO DAS PLANTAS					
Código	Insumo	Unidade	Custo Unitári	Qtde	Custo Total
01.01.24	Servente	h	5,31	32,00	169,92
	Leis Sociais	%	149,97		254,83
		SUBTOTAL			260,14

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

6.3.3 Orçamento estimativo do projeto

Foram realizados levantamentos acerca da de toda a obra para a implantação do sistema de *wetland* contruído de fluxo vertical.

Vale ressaltar que 90% dos custos se deram em razão do concreto (330 m³).

Figura 19 – Planilha orçamentária do sistema do *wetland* construído

 UNISUL - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA <small>R. Antônio Dib Mussi, 366 - Centro, Florianópolis - SC, 88015-110</small> ORÇAMENTO OBRAS CIVIS E MATERIAIS - JUNHO/2019 SEM BDI					
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UN	QTDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
SISTEMA WETLAND					
SERVIÇOS TÉCNICOS					
LOCAÇÃO					
020303	LOCAÇÃO E NIVELAMENTO DE OBRAS LOCALIZADAS ATÉ 1 HA CADASTRO	m ²	26,52	0,44	11,67
020405	CADASTRO DE OBRAS LOCALIZADAS	pr	1,00	171,29	171,29
SERVIÇOS PRELIMINARES					
PREPARO DO TERRENO					
030101	ROÇADA FINA	m ²	26,52	1,02	27,05
MOVIMENTO DE TERRA					
ESCAVAÇÃO MANUAL DE ÁREAS, VALAS, POÇOS E CAVAS					
040201	ESCAVAÇÃO MANUAL DE ÁREAS, VALAS, POÇOS E CAVAS EM SOLO NÃO ROCHOSO, COM PROFUND. ATÉ 1,25 M	m ³	7,63	34,50	263,07
ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALAS, POÇOS E CAVAS					
040301	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALAS, POÇOS E CAVAS EM SOLO NÃO ROCHOSO, COM PROFUND DE ATÉ 1,25 M	m ³	22,88	4,65	106,37
ATERRO/REATERRO DE VALAS, POÇOS E CAVAS					
040601	ATERRO/REATERRO DE VALAS, POÇOS E CAVAS COMPACTADO MANUALMENTE	m ³	0,00	11,28	0,00
040607	ATERRO/REATERRO DE VALAS, POÇOS E CAVAS, COM FORN. DE AREIA/PÓ DE PEDRA, G.C.≥100%, SEM TRANSPORTE	m ³	10,00	56,59	565,90
040608	TRANSPORTE DE AREIA / PÓ DE PEDRA PARA ATERRO	m ³ Km	150,00	0,88	132,00
CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA					
040801	CARGA E DESCARGA - SOLO	m ³	30,50	1,12	34,16
040804	TRANSPORTE DE MATERIAL ESCAVADO - SOLO	m ³ Km	152,50	0,73	111,33
ESCORAMENTO					
ESCORAMENTO METÁLICO EM VALAS, CAVAS E POÇOS					
050202	ESCORAMENTO CONTÍNUO C/ CHAPAS METÁLICAS GROSSAS	m ²	0,00	29,66	0,00
FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS					
LASTRO					
080402	LASTRO DE PEDRA BRITADA	m ²	12,50	91,34	1.141,75
FORMAS					
080601	FORMA DE MADEIRA COMUM	m ²	0,00	48,11	0,00
ARMADURAS					
080802	AÇO CA-50	kg	0,00	7,98	0,00
080803	AÇO CA-60	kg	0,00	8,22	0,00
CONCRETO ESTRUTURAL					
081009	CONCRETO ESTRUTURAL, FCK = 40,0 MPA	m ³	330,00	347,82	114.780,60
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, RPVC, PVC DEFF", PRFV, JUNTA ELÁSTICA					
090502	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, RPVC, PVC DEFF", PRFV, I.E., DN 75 MM	m	12,00	1,10	13,20
MATERIAL SINAPI 9837 - TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)					
		m	12,00	7,04	84,48
FECHAMENTO					
ALVENARIA					
120102	ALVENARIA DE TIJOLOS CERÂMICO MACIÇO 1 VEZ	m ²	26,52	123,00	3.262,27
SERVIÇOS DIVERSOS					
RETIRADA E PLANTIO DAS PLANTAS					
		un	1,00	260,14	260,14
MATERIAL SINAPI 43067 - LONA PLÁSTICA PRETA, B= 200 MICRA (COLETADO CAIXA)					
		m ²	100,00	0,87	87,00
CINZAS DE ARROZ					
		cb	1,00	1.300,00	1.300,00
SUBTOTAL:					122.852,28

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

6.3.4 Custo de implantação per capita

O custo total do projeto foi calculado através do orçamento total estimado para a obra do sistema de *wetland* construído, somado ao valor da área de projeto e os custos com o plantio das macrófitas, resultando em um total de R\$ 127.612,42 reais.

Considerando que cada arranjo tecnológico foi dimensionado para uma população equivalente de 40 pessoas e que a soma das áreas superficiais para construção da unidade de *wetland* totalizam aproximadamente 26,5 m², tem-se uma relação de custo de implantação de R\$ 4.815,56 reais por m² e R\$ 3.190,31 reais por pessoa.

Em relação a outras pesquisas realizadas, o custo per capita de implantação deste sistema de *wetland*, apresentou-se elevado. De acordo com os estudos realizados por Von Sperlin (2005), foi obtida uma média de 50 a 80 reais por habitantes. Já Sezerino *et al.* (2018), no levantamento de custos da estação experimental de WC instalada na UFSC, estimou como custo per capita de R\$ 1.000,00 reais, entretanto, esse sistema tem algumas particularidades de instalação que diferem de um custo inerente ao *wetland*, onde o valor real seguindo as estimativas usuais seria de R\$ 2.048,40 reais por pessoa.

6.4 VIABILIDADE DO SISTEMA QUANTO À DEMANDA DE ÁREA E CUSTOS

Entre todas as configurações de *wetlands*, são as de fluxo vertical que tem a menor exigência de área com uma demanda que oscila entre 1 a 2 m²/hab (KANTAWANICHKUL *et al.* 1999 *apud* SILVA, 2007). Tal variação entre os WC está relacionada à carga de poluente recebida pelo efluente e a sua capacidade na remoção dos poluentes. Esta vantagem na menor demanda de área se deve à maior de oxigenação conseguida no WCFV, especialmente devido à intermitência de aplicação do esgoto, na qual promove a entrada de oxigênio da atmosfera para dentro do leito (BIUDES; CAMARGO, 2008; ZANELLA, 2008).

O sistema de *wetland* construído vigente foi projetado considerando uma demanda de 1 m² por pessoa de área, totalizando 40 m² para atendimento à demanda de 40 contribuintes. Porém, como os contribuintes passam apenas parte do dia na empresa, reduziu-se esta área pela metade, ou seja, 20 m², mantendo a profundidade em 1 m².

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A partir do monitoramento e avaliação do sistema de *wetland* construído de fluxo vertical pertencente ao sistema de tratamento da empresa de reciclagem, pode-se concluir que os sistemas de *wetlands* construídos realmente são uma alternativa tecnológica na descentralização dos tratamentos de esgotos domésticos e industriais.

As amostras dos efluentes realizadas trimestralmente pela empresa são coletadas no ponto de entrada e saída da ETE. Os resultados são analisados quanto aos parâmetros de exigência estabelecidos pelas legislações brasileiras, entretanto, como não é do interesse do estabelecimento, o efluente bruto só é analisado quanto a DBO e temperatura do líquido. Portanto, não foi possível caracterizar as efluentes de entrada da ETE através de todos os parâmetros físico-químicos mensurados nos laudos do efluente final do sistema de tratamento.

O sistema de tratamento composto pelo *wetland* construído complementando o sistema de fossa séptica/filtro anaeróbio apresentou-se de alta eficiência na remoção de DBO, com uma média de 88,58 % nas amostras analisadas. Por meio dos resultados das análises do período de monitoramento deste estudo, foi possível observar o atendimento nos parâmetros físico-químicos analisados no tratamento proporcionado pela ETE como um todo para o enquadramento nos padrões exigidos pelas normas, com exceção ao nitrogênio amoniacal e que ultrapassou o limite máximo estabelecido na última análise das coletas realizadas.

Os resultados das amostras analisadas no ponto de coleta adicionado (P2) usados no cálculo de eficiência das etapas de um tratamento, confirmaram a eficiência do *wetlands* construído na remoção dos poluentes analisados como parâmetros para atender as legislações cabíveis ao lançamento em corpo d'água.

Em relação aos custos na implantação do *wetlands*, o sistema mostrou-se mais elevado que a média para implantação de um sistema de WC. Todavia, ainda mostra-se viável e vantajoso como tratamento um descentralizado e de polimento de efluentes complementando o sistema primário e secundário. Com referência a viabilidade de área, o WCFV estudado apresentou uma alta viabilidade, com baixa demanda de área por pessoa e menor proporção necessária de m²/hab comparado às outras configurações de *wetlands* construídos.

8 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Algumas limitações ocorreram neste presente trabalho que inviabilizaram alguns resultados dos parâmetros da pesquisa, além de maior propriedade quanto à eficiência do *wetland* no complemento do sistema de tratamento da ETE:

- Apenas o parâmetro quanto à quantidade de DBO é analisado no afluente da ETE, por isso, a dificuldade em calcular a eficiência proporcionada por cada etapa do sistema de tratamento e da ETE como um todo;
- Nem todos os parâmetros utilizados no cálculo de IQA são analisados nos efluentes da ETE. Turbidez, nitratos, fosfatos, turbidez e sólidos totais e a temperatura do efluente;
- Seriam necessárias mais análises no P2 para avaliar com mais precisão a eficiência proporcionada pelo *wetlands* à ETE;
- Para uma efetiva análise da área indiretamente afetada, seria necessária uma caracterização do efluente de entrada da ETE e mais coletas no ponto intermediário (P2) para verificar se o tanque é estanque ou não.

Para futuros trabalhos a serem realizados neste sistema estudado, a análise de todos os parâmetros físico-químicos do efluente tratado para o efluente de entrada, além de mais coletas e em um intervalo de tempo que proporcione efetividade nas pesquisas, atestariam com mais segurança a eficiência advinda do sistema de WCFV, de toda a ETE, além de possibilitar uma análise quanto a ocorrência ou não de infiltração no lençol freático.

REFERÊNCIAS

- ABES. **Situação do saneamento básico no Brasil:** Uma análise com base na PNAD 2015. Rio de Janeiro: Abes, 2016. Disponível em: <<http://abes-dn.org.br/pdf/Situacao.pdf>>. Acesso em: 3 abr. 2019.
- AISSE, Miguel Mansur. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: Abes, 2000. 192 p.
- ALEM SOBRINHO, Pedro; TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Coleta e transporte de esgoto sanitário.** 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. 547 p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. EATON, A. D. CLESCERI, L. S., GREENBERG, A. E. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21ed. American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, Washington: APHA. D.C. p. 1368. 2005.
- ANA. Agência Nacional de águas. **Portal da Qualidade das Águas:** Índice de qualidade das águas (IQA). [2019]. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn6. Acesso em: 25 maio 2019.
- ANDRADE NETO, Cícero Onofre de. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários:** experiência brasileira. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 301 p.
- ABNT. **NBR 13969: Tanques sépticos -Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, 1997.
- ABNT. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- ABNT. **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos *et al.* **Saneamento.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221 p. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios, 2).
- BRAGA, Benedito *et al.* **Introdução á engenharia ambiental.** São Paulo: Person Education do Brasil, 2003. 305 p. 117
- BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Brasília, DF: Presidência da República, 05 jan. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 02 mar. 2019.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual de saneamento.** 4. ed. Brasília: Funasa, 2015. 642 p
- BRASIL. Ministério Nacional de Saúde. **Manual de saneamento.** 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. 408 p. Disponível em:

http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento_3ed_rev_p1.pdf. Acesso em: 04 mar. 2019.

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

CARVALHO, Anésio Rodrigues de; OLIVEIRA, Mariá Vendramini Castrignano de. **Princípios básicos do saneamento do meio**. São Paulo: SENAC, 1997. 132 p. (Série Apontamentos Saúde; 41).

CAVINATTO, Vilma Maria. **Saneamento básico: fonte de saúde e bem-estar**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003. 87 p. Coleção desafios.

CETESB. **Apêndice D: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade**. São Paulo: CETESB, 2014. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2019.

CETESB. **Sistemas de esgotos sanitários**. São Paulo, CETESB, 1977. 467 p.

COMITÊ TIJUCAS BIGUAÇU. Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. **Comitê de Gerenciamento Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas: Planos de recursos hídricos da região hidrográfica 8 estão em andamento**. [2017]. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/base-documental-tijucas/noticias-tijucas/item/5333-planos-de-recursos-hidricos-da-regiao-hidrografica-8-estao-em-andamento/5333-planos-de-recursos-hidricos-da-regiao-hidrografica-8-estao-em-andamento>. Acesso em: 01 jun. 2019.

CONAMA. **Resolução nº 01**, de 23 de janeiro de 1986. Brasília, 17 fev. 1986. p. 2548-2549. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf. Acesso em: 03 abr. 2019.

CONAMA. **Resolução nº 430**, Brasília, DF: Conama, 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 04 mar. 2019.

CUNHA, Caroline de Andrade Gomes da. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidades das águas**. 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-04122006-232326/pt-br.php>. Acesso em: 28 maio 2019.

CUNHA, Diego de Oliveira da; SEVERIANO JUNIOR, Ely. **O uso do tratamento de esgoto sustentável: o estado da arte das wetlands**. 2018. Revista de tecnologia aplicada (RTA). Disponível em: <http://www.cc.faccamp.br/ojs-2.4.8-2/index.php/RTA/article/view/1231/630>. Acesso em: 21 maio 2019.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Analytical methods for drinking water: Learn about drinking water analytical methods**. 2018. Disponível em: <https://www.epa.gov/dwanalyticalmethods/learn-about-drinking-water-analytical-methods#what>. Acesso em: 01 jun. 2019.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Constructed treatment wetlands**. 2004. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30005UPS.PDF?Dockey=30005UPS.PDF>. Acesso em: 13 abr. 2019.

IBGE. **Garopaba**: panorama, pesquisas, histórias e fotos. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/garopaba/panorama>. Acesso em: 01 jun. 2019.

IBGE. **Perfil dos municípios brasileiros: Saneamento básico: aspectos gerais da gestão da política de saneamento básico: 2017**. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101610.pdf>. Acesso em: 12 maio 2019.

IBGE. **Pesquisa nacional do saneamento básico de 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JORDAO, E. P.; PESSOA, C. A.. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Belo Horizonte: Segrac Editora, 2005. v. 1. 906 p.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott D.. **Treatments wetlands**. 2. ed. Boca Rota, Florida, Estados Unidos: Crc Press, 2009. 348 p. Disponível em: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/KADLEC%20WALLACE%202009%20Treatment%20Wetlands%202nd%20Edition_0.pdf. Acesso em: 09 maio 2019.

KARL; IMHOFF, Klaus R.. **Manual de tratamento de águas residuárias**. 26. ed. São Paulo: Blücher, 1996. 301 p.

LAUTENSCHLAGER, Sandro Rogério. **Modelagem do desempenho de wetlands construídas**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de engenharia hidráulica e sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11072002-091741/publico/dissertacaosrl.pdf>. Acesso em: 13 maio 2019.

LIMA, Rodrigo Fidelis de Souza. **Potencialidades dos wetlands construídos empregados no pós-tratamento de esgotos: Experiências brasileiras**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado profissional) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Cap. 7. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/172555>. Acesso em: 8 abr. 2019.

LUCCA, Paulo H. de. **Saneamento Ecológico e permacultura em comunidade de baixa renda: A simplicidade a favor da humanidade**. Moeda: Ecovida, [2013]. 62 p. Sistemas de Saneamento Ecológico em comunidades carentes. Disponível em: <http://ecosan.ga/ebook-ecosan/>. Acesso em: 17 maio 2019.

MAGOSSI, Luiz Roberto; BONACELLA, Paulo Henrique. **Poluição das águas**. 22. ed. São Paulo: Moderna, 2003. 71 p.

MATTOSO, F. D. A. B. **Estudo de eficiência de wetland no córrego Pirajussara**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=8363. Acesso em: 18 maio 2019.

MELLO, Débora de. **Avaliação do uso de sistemas de wetlands construídas no tratamento de esgotos sanitário**. 2016. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em:

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1840/1/CT_PPGCTA_M_Mello%2C%20D%C3%A9bora%20de_2016.pdf. Acesso em: 05 abr. 2019.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse**. McGraw-Hill, Inc., 1991. 1334 p.

MONTEIRO, Rodrigo Cesar de Moraes. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo "wetlands" para tratamento de água cinza visando o reúso não potável**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em:

https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-09032009-110147/publico/dissertacao_rodrigo_monteiro_wetlands.pdf. Acesso em: 04 jun. 2019.

MORAES, Franciele Lucas de. **Monitoramento de wetland construído de fluxo horizontal empregado no tratamento do efluente de um Restaurante Universitário**. 2017. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Londrina, 2017. Disponível em:

http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7993/1/LD_COEAM_2017_1_11.pdf
Acesso em: 10 mar. 2019.

MOTA, Ariovaldo. O lançamento *in natura* e seus impactos. In: NUVOLARI, Ariovaldo (Comp.). **Esgoto sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Blücher, 2003. Cap. 7. p. 174-194

NATIONAL SMALL FLOWS CLEARINGHOUSE. **Constructed Wetlands**

Factsheet. Virginia, EUA: NSFC, [2019]. Disponível em:

<https://engineering.purdue.edu/~frankenb/NU-prowd/cwetfact.htm>. Acesso em: 04 jun. 2019.

NUNES, José Alves. **Tratamento biológicos de águas residuárias**. 3. ed. Aracaju: Gráfica Editora J.andrade, 2012. 277 p.

NUVOLARI, Ariovaldo. O lançamento *in natura* e seus impactos. In: NUVOLARI, Ariovaldo (Comp.). **Esgoto sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Blücher, 2003. Cap. 7. p. 174-194.

ORTEGA, Enrique. Engenharia ecológica: conceitos básicos e importância do trabalho de H. T. Odum. In: ORTEGA, Enrique (Org.). **Engenharia ecológica e agricultura sustentável: exemplos de uso da metodologia energética-ecossistêmica**. Campinas: Unicamp, 2003. Cap. 1. p. 1-16. Disponível em: <https://www.unicamp.br/fea/ortega/livro/c01-engecol.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.

PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis: Editora do Autor, 2004. 144p.

PLATZER, Christoph; HOFFMANN, Heike; CARDIA, Wesley. O wetland como componente de ecosan: experiências com o uso e dimensionamento no clima

subtropical. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE SANITATION: “Food and water security for Latin America”, 2007, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/ponencias/O%20WETLAND%20COM%20COMPONENTE%20DE%20ECOSAN.pdf>. Acesso em: 12 maio 2019.

SABESP. **NTS 217: Ligação predial de esgoto**. 2 ed. São Paulo: Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - TX, 2017. 23 p. Disponível em: <http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/Nts217.pdf>. Acesso em: 17 maio 2019.

SALATI, E. **Controle de qualidade de águas através de sistemas de wetlands construídos**. Rio de Janeiro: FBDS. 1998. Disponível em: http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/Controle_Qualid_Agua_Wetlands_ES_out06.pdf. Acesso em: 02 mar. 2019

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceito e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/Aula%20Conceitos%20AIA2.pdf> Acesso em: 02 mar. 2019

SANTA CATARINA. **Decreto nº 14.250**, Florianópolis, SC, 5 jun. 1981. Disponível em: <http://www.pge.sc.gov.br/index.php/legislacao-estadual-pge>. Acesso em: 02 mar. 2019.

SANTA CATARINA. **Lei nº 14.645**, Florianópolis, SC, 13 abr. 2009. Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2009/14675_2009_lei.html. Acesso em: 01 mar. 2019.

SEZERINO, Pablo Heleno *et al.* Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia sanitária e ambiental**, [s.l.], v. 20, n. 1, p.151-158, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000096615>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000100151#t02. Acesso em: 10 jun. 2019.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. 2006. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103142>. Acesso em: 17 maio 2019.

SEZERINO, Pablo Heleno *et al.* **Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: Recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção**. Tubarão-sc: Copiart, 2018. 56 p. Disponível em: <http://gesad.ufsc.br/files/2018/12/Boletim-Wetlands-Brasil-Edi%C3%A7%C3%A3o-Especial-Dimensionamento-de-Wetlands-Constru%C3%ADdos-no-Brasil-von-Sperling-Sezerino-2018-2.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2019.

SILVA, Selma Cristina. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 2007. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em:

http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/2026/1/Tese_Selma%20Cristina.pdf. Acesso em: 01 maio 2019.

SOUZA, Alexandre Batista Machado de. **Avaliação do desempenho de um wetland construído na etapa de polimento final de uma estação compacta de tratamento de esgoto doméstico**. 2015. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015. Cap. 6. Disponível em:

<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/942/1/2015AlexandreBatistaMachadodeSouza.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2019.

STIEGEMEIER, Ana Maria. **Avaliação do sistema de wetlands construído no polimento do efluente da indústria frigorífica de aves**. 2014. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014. Cap. 6. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/679/1/2014AnaMaraStiegemeier.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2019.

TOMAZ, Plínio. **Wetland construída para melhoria da qualidade das águas pluviais**. 2009. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br>. Acesso em: 09 maio 2019.

VALENTIM, M.A.A., **Desempenho de leitos cultivados ("constructed Wetland") para tratamento de esgoto: Contribuições para concepção e operação**. 2003. 210p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996. 243 p.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. 134 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.3).

VYMAZAL, J. Remoção de nutrientes em vários tipos de zonas úmidas construídas. **Ciência do ambiente total**, v. 380, n. 1–3, p. 48-65, jul. 2007.

WETLANDS. **Wetlands construídos**. [2019]. Disponível em: <https://www.wetlands.com.br/>. Acesso em: 13 maio 2019.

WHO. **Global water supply and sanitation assessment 2000 report**. World Health Organization, 2000.

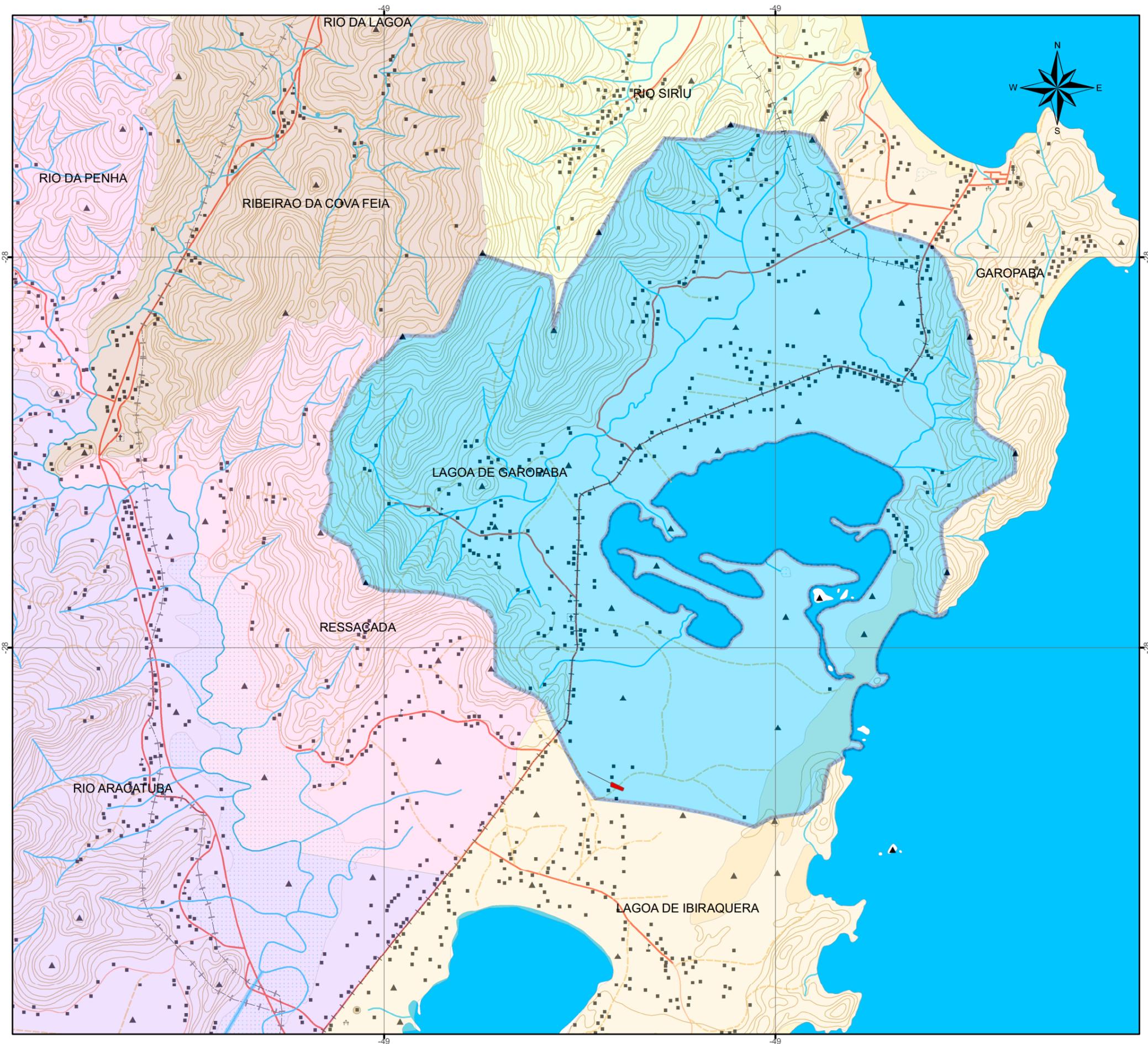
ZANELLA, L.. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte**. 2008. 189p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ZINATO, Thamires Maria Campos; GUIMARÃES, Márcia Maria. Estudo sobre a utilização de “wetlands” construídas para tratamento de águas residuárias no Brasil. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 8., 2017, Campo Grande. **Anais eletrônicos...**
Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/IX-001.pdf>. Acesso em:
15 abr. 2019.

ANEXOS

ANEXO A – Bacias hidrográficas do território de local do estudo



MAPA DE LOCALIZAÇÃO

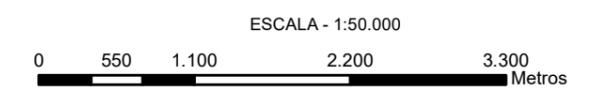


DADOS TÉCNICOS DAS FOLHAS

SISTEMA DE PROJEÇÃO GEOGRÁFICA
 Origem: Sistema de Coordenadas Planas UTM 22S - Projeção Transversa de Mercator - Datum Horizontal e Vertical SIRGAS 2000.
 Produto confeccionado através de fotografias aéreas processadas digitalmente, do georreferenciamento e justamento de dados através de pontos de controle de alta precisão em

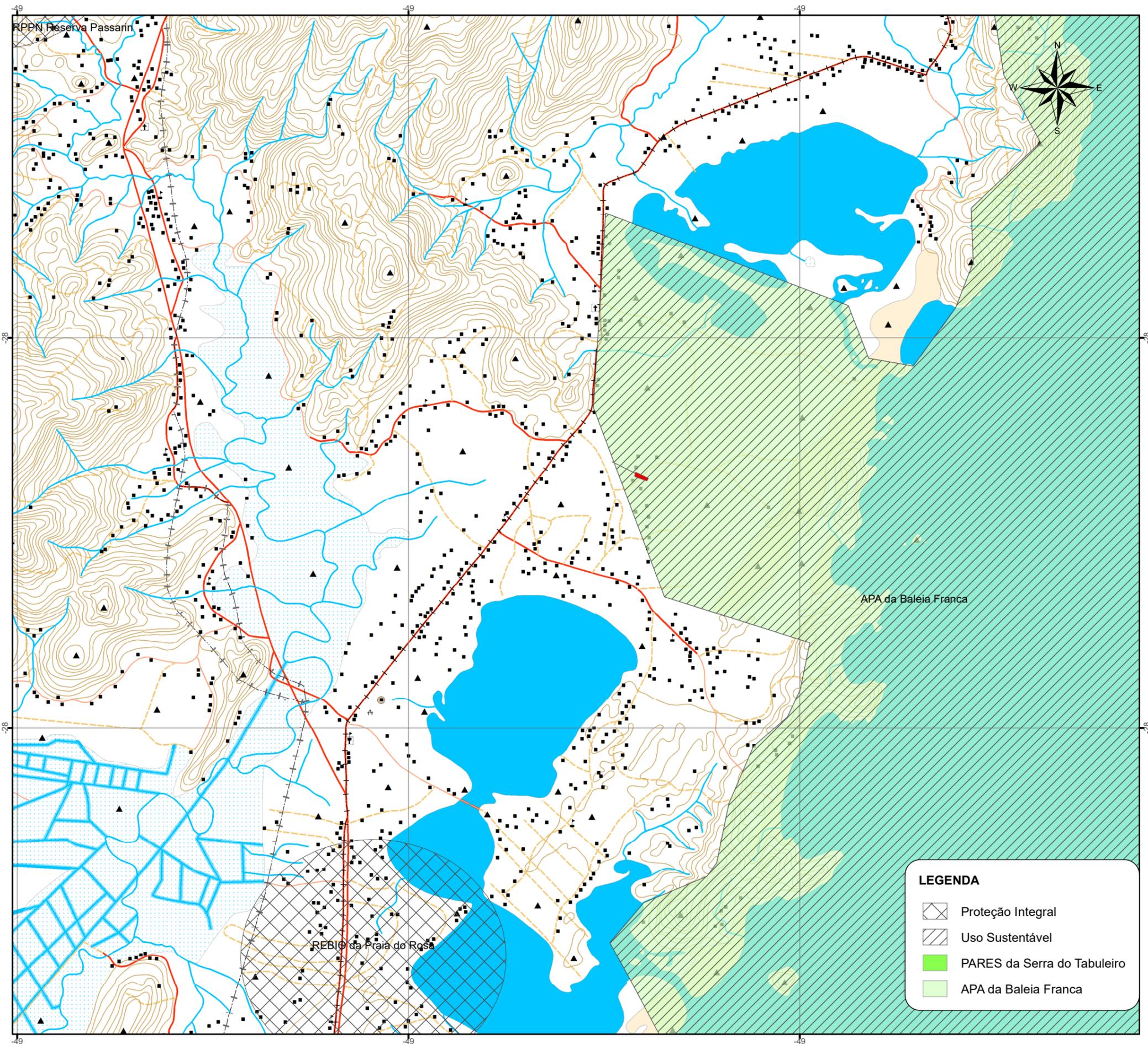
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Pontos Notáveis | Físicos Geográficos |
| ✈️ Aeroporto | ● Pontos Cotados |
| ▪ Edificação | — Hipsometria |
| 🎓 Escola | ~ Recursos hídricos |
| ⛪ Igreja | ☁ Áreas Umidas |
| 📡 Torre de Comunicação | 💧 Massas de Água |
| ⚖️ Ponte | 🌊 Lagos e Lagoas |
| ⚡ Linha de Transmissão de Energia | 🌊 Grandes Lagos e Lagoas |
| Sistema Viário | 🏠 Áreas Urbanas |
| 🛣 Rodovia Federal | 🗡 Limite Municipal |
| 🛣 Rodovia Estadual | Áreas de Influência |
| 🛣 Ruas | 🔴 Local do Estudo |
| 🛣 Caminhos | |
| 🛣 Trilha | |



TÍTULO / MAPA	
BACIAS HIDROGRÁFICAS	
MUNICÍPIO / LOCALIDADE	DATA
GAROPABA	JUNHO 2019
ÁREA / PERÍMETRO	ESCALA
-----	1:50.000

ANEXO B – Unidades de conservação do território



MAPA DE LOCALIZAÇÃO



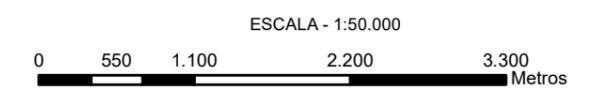
DADOS TÉCNICOS DAS FOLHAS

SISTEMA DE PROJEÇÃO GEOGRÁFICA
 Origem: Sistema de Coordenadas Planas UTM 22S - Projeção Transversa de Mercator - Datum Horizontal e Vertical SIRGAS 2000.
 Produto confeccionado através de fotografias aéreas processadas digitalmente, do georreferenciamento e justamento de dados através de pontos de controle de alta precisão em

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Pontos Notáveis | Físicos Geográficos |
| ✈️ Aeroporto | ● Pontos Cotados |
| ▪ Edificação | — Hipsometria |
| 🏫 Escola | ~ Recursos hídricos |
| ⛪ Igreja | ☁ Áreas Umidas |
| 📡 Torre de Comunicação | 💧 Massas de Água |
| ⚖ Ponte | 🌊 Lagos e Lagoas |
| ⚡ Linha de Transmissão de Energia | 🌊 Grandes Lagos e Lagoas |
| Sistema Viário | 🏠 Áreas Urbanas |
| 🛣 Rodovia Federal | 🗺 Limite Municipal |
| 🛣 Rodovia Estadual | Áreas de Influência |
| 🛣 Ruas | 🔴 Local do Estudo |
| 🛣 Caminhos | |
| 🛣 Trilha | |

- LEGENDA**
- 🗺 Proteção Integral
 - 🗺 Uso Sustentável
 - 🟢 PARES da Serra do Tabuleiro
 - 🟡 APA da Baleia Franca



TÍTULO / MAPA	
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	
MUNICÍPIO / LOCALIDADE GAROPABA	DATA JUNHO 2019
ÁREA / PERÍMETRO -----	ESCALA 1:2.000

ANEXO C – Pontos de coleta das análises estudadas



MAPA DE LOCALIZAÇÃO

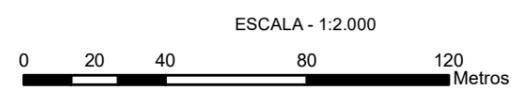


DADOS TÉCNICOS DAS FOLHAS

SISTEMA DE PROJEÇÃO GEOGRÁFICA
 Origem: Sistema de Coordenadas Planas UTM 22S - Projeção Transversa de Mercator - Datum Horizontal e Vertical SIRGAS 2000.
 Produto confeccionado através de fotografias aéreas processadas digitalmente, do georreferenciamento e justamento de dados através de pontos de controle de alta precisão em

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- | | |
|-----------------------------------|---|
| Pontos Notáveis | Físicos Geográficos |
| ✈️ Aeroporto | ○ Pontos Cotados |
| ▪ Edificação | — Hipsometria |
| 🏫 Escola | 🌊 Recursos hídricos |
| 🏛️ Igreja | 💧 Áreas Umidas |
| 📡 Torre de Comunicação | 💧 Massas de Água |
| ⚡ Ponte | 💧 Lagos e Lagoas |
| ⚡ Linha de Transmissão de Energia | 💧 Grandes Lagos e Lagoas |
| Sistema Viário | 🏠 Áreas Urbanas |
| 🛣️ Rodovia Federal | 🗺️ Limite Municipal |
| 🛣️ Rodovia Estadual | Áreas de Influência |
| 🛣️ Ruas | 👤 Área Diretamente Afetada - ADA |
| 🛣️ Caminhos | ● Ponto de Amostragem da ETE |
| 🛣️ Trilha | ● Ponto de Amostragem do Poço Subterrâneo |



TÍTULO / MAPA	
IMAGEM ORBITAL - ADA	
MUNICÍPIO / LOCALIDADE	DATA
GAROPABA	JUNHO 2019
ÁREA / PERÍMETRO	ESCALA
----	1:2.000

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community