

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Filipe Franz Teske**

**CONSTRUÇÃO DE UM *WETLAND* HÍBRIDO PARA  
POLIMENTO DE EFLUENTE DOMÉSTICO**

Porto Alegre  
Dezembro de 2016

**FILIPPE FRANZ TESKE**

**CONSTRUÇÃO DE UM *WETLAND* HÍBRIDO PARA  
POLIMENTO DE EFLUENTE DOMÉSTICO**

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental

**Orientador: Dr. Dieter Wartchow**

Porto Alegre  
Dezembro de 2016

**FILIPPE FRANZ TESKE**

**CONSTRUÇÃO DE UM WETLAND HÍBRIDO PARA  
POLIMENTO DE EFLUENTE DOMÉSTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido em 02 de dezembro de 2016, com comissão avaliadora constituída pelos professores:

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dieter Wartchow (UFRGS)**

Doutor em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade de Stuttgart/Alemanha

---

**Prof. Fernando Dornelles (UFRGS)**

Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

**Prof<sup>ª</sup>. Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues (UFRGS)**

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Clair e Dietmar, que sempre destacaram a importância da educação e através dos seus exemplos, mesmo indiretamente, incentivaram um viver de forma saudável, sustentável e preocupado com o próximo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor e orientador Dieter Wartchow pela inspiração, orientação e a atenção dedicada a este trabalho.

Agradeço às colegas de estágio, Janaína Silva de Mattos e Alice Borges Maestri pelas ideias e conhecimentos compartilhados, e auxílio prestado nesta etapa final de curso.

Agradeço aos técnicos e funcionários do LADETEC e do Laboratório de Sedimentos, localizados no Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelas análises realizadas e conhecimento transmitido durante a realização dos ensaios.

Agradeço a minha família pelo apoio em momentos difíceis e alegres, e proporcionar a oportunidade desta formação.

Agradeço a minha namorada pela parceria, paciência, conselhos e incentivos que muito me auxiliaram e impulsionaram nestes últimos três anos e meio de convívio.

Agradeço aos colegas e amigos que inspiraram e contribuíram para a conclusão deste ciclo.

Enriquecer o sistema é muito mais gratificante do que  
explorá-lo.

*Ernst Götsch*

## RESUMO

TESKE, F. F. Construção de um *wetland* híbrido para polimento de efluente doméstico. Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

O Brasil possui índice de coleta urbana de esgoto de 54,9% e índice de tratamento referido à água consumida, de somente 40,8% segundo dados divulgados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, referente ao ano de 2014. O estado do Rio Grande do Sul apresenta números ainda piores, segundo a mesma fonte, o índice de coleta é de 28,7% e o tratamento dos esgotos chega a 15,5% comparado ao volume de água consumida. Estes percentuais referem somente à população urbana do país. Quando se considera a zona rural, onde residia 15,6% da população no ano de 2010, somente 17% dos domicílios possuíam rede de coleta e fossa séptica, tem-se um panorama da defasagem e situação brasileira frente à falta de coleta e tratamento de esgotos sanitários. A falta de tratamento das águas residuárias originadas das atividades humanas implica em degradação dos mananciais hídricos, maiores custos em tratamento da água para abastecimento da população, maiores gastos em saúde para tratamento de doenças de veiculação hídrica e perda da qualidade ambiental devido à contaminação e poluição de recursos naturais. Como forma de mitigar estes problemas, existe a possibilidade de tratamento de forma descentralizada, com uso de ecotecnologias e sistemas autônomos, baseados no uso de energia solar e processos naturais, com menores custos de implantação e manutenção, e de forma integrada ao ambiente. Uma destas alternativas são os *wetlands* construídos, baseados nos processos físicos, químicos e biológicos, semelhante aos processos que ocorrem nos banhados naturais e resultam em melhoria da qualidade da água e retenção de nutrientes, além de outros serviços ambientais proporcionados. Este trabalho apresenta as etapas de dimensionamento e implantação de um *wetland* construído híbrido, precedido por fossa séptica e filtro anaeróbico, existentes no local. O sistema foi implantado no perímetro urbano da cidade de São Lourenço do Sul, localizada na região sul do estado do Rio Grande do Sul, onde não ocorre coleta por separador absoluto e não há tratamento de esgoto sanitário.

**Palavras-chave:** *Wetland* Construído Híbrido. Polimento de Esgoto Sanitário. Descentralizado.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percentual de domicílios com serviços básicos, no total de domicílios particulares permanentes – Brasil – 2001/2014 .....	17
Figura 2 – Número de municípios para cada principal alternativa individual de esgotamento sanitário adotado por região geográfica do Brasil .....	27
Figura 3 – <i>Wetland</i> Construído de Fluxo Superficial .....	33
Figura 4 – <i>Wetland</i> Construído de Fluxo Sub Superficial Vertical .....	34
Figura 5 – <i>Wetland</i> Construído de Fluxo Sub Superficial Horizontal .....	37
Figura 6 – Representação esquemática do substrato, rizomas e biofilme aderido .....	46
Figura 7 – Macrófitas emergentes .....	48
Figura 8 – Macrófitas flutuantes fixas .....	48
Figura 9 – Macrófitas flutuantes livres .....	48
Figura 10 – Macrófitas submersas fixas .....	48
Figura 11 – Esquema do sistema de tratamento anteriormente utilizado .....	59
Figura 12 – Esquema do sistema de tratamento doméstico atual .....	59
Figura 13 – Destino do esgoto sanitário em São Lourenço do Sul – IBGE 2010 .....	60
Figura 14 – Arroio São Lourenço em situação de eutrofização, com lâmina superficial tomada por macrófitas em 09/05/2015 .....	61
Figura 15 – Arroio São Lourenço em situação de normalidade quanto à presença de macrófitas em 22/10/2016 .....	61
Figura 16 – Pluviosidade média mensal – Estação São Lourenço do Sul .....	62
Figura 17 – Localização do <i>wetland</i> híbrido e ponto de descarga .....	63
Figura 18 – Ponto de descarga de esgoto sanitário e drenagem pluvial .....	64
Figura 19 – Ponto de descarga no Arroio São Lourenço .....	64
Figura 20 – Pontos de medida de nível .....	68
Figura 21 – Pontos de interesse e desnível necessário .....	69
Figura 22 – Início da etapa de escavação .....	70
Figura 23 – Evolução dos trabalhos de escavação .....	70
Figura 24 – Término do processo escavação – Vista da entrada .....	70
Figura 25 – Término do processo de escavação – Vista da saída .....	70
Figura 26 – Vista do tronco utilizado para compartimentar os módulos I e II .....	71
Figura 27 – Detalhe das estacas utilizadas para fixar o tronco de eucalipto .....	71
Figura 28 – Geomembrana e vista do WCHib .....	72
Figura 29 – Geomembrana instalada no local .....	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura 30 – Detalhes dos furos perpendiculares ao fluxo .....	73
Figura 31 – Vista do sistema de distribuição do WCH .....	73
Figura 32 – Sistema de alimentação do WCV em espinha de peixe .....	73
Figura 33 – Detalhe do nivelamento do sistema de alimentação .....	73
Figura 34 – Sistema de alimentação do WCH .....	74
Figura 35 – Vista do sistema de alimentação do WCH sobre colchão de brita 2 na entrada .....	74
Figura 36 – Detalhe da furação aleatória para os sistemas de drenagem .....	74
Figura 37 – Instalação do sistema de drenagem do WCH .....	74
Figura 38 – Vista do sistema de drenagem do WCV e alimentação do WCH .....	75
Figura 39 – Sistema de drenagem do WCV sobre camada inicial de brita 2 .....	75
Figura 40 – Detalhe do corte da geomembrana .....	75
Figura 41 – Instalação do adaptador (flange) .....	75
Figura 42 – Detalhe do adaptador instalado entre o WCV e WCH .....	76
Figura 43 – Detalhe do adaptador na saída do WCV .....	76
Figura 44 – Camada inicial e sistema de drenagem do WCV assentado .....	77
Figura 45 – Término da composição da camada de drenagem do WCV .....	77
Figura 46 – Ponto de conexão do sistema de drenagem do WCH .....	77
Figura 47 – Composição da camada de drenagem na porção final do WCH .....	77
Figura 48 – Geotêxtil recobrindo camada de drenagem – WCV .....	78
Figura 49 – Geotêxtil instalado entre colchão de drenagem e areia grossa – WCH .....	78
Figura 50 – Composição da camada de areia grossa – WCV .....	79
Figura 51 – Término da camada de areia grossa no WCV .....	79
Figura 52 – Preenchimento do filtro de areia grossa – WCH .....	80
Figura 53 – Término da camada de areia grossa – WCH .....	80
Figura 54 – Camada de brita 1 no entorno do sistema de alimentação – WCV .....	80
Figura 55 – Camada de brita 1 – WCH .....	80
Figura 56 – Camada de brita 1 pronta, recobrindo todo sistema de alimentação – WCV .....	81
Figura 57 – Camada de brita 1 pronta sobre camada de areia grossa – WCH .....	81
Figura 58 – Local de coleta de Copo de Leite .....	83
Figura 59 – Local de coleta de Junco .....	83
Figura 60 – Local de coleta de Biri .....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura 61 – Local de coleta de Taboa e Sagitária .....	84
Figura 62 – Local de coleta de taioba roxa .....	84
Figura 63 – Detalhe do aerênquima de taioba roxa .....	84
Figura 64 – Detalhe do aerênquima de sagitária .....	85
Figura 65 – Detalhe do aerênquima de junco .....	85
Figura 66 – Detalhe do aerênquima da Taboa .....	85
Figura 67 – Detalhe do aerênquima de copo de leite .....	85
Figura 68 – Plantio de mudas WCH – 22 out. de 2016 .....	86
Figura 69 – Plantio de mudas WCV – 22 out. de 2016 .....	86
Figura 70 – Vista do WCV após 2º plantio .....	86
Figura 71 – Vista do WCH após 2º plantio .....	86
Figura 72 – Caixa sifonada na entrada do WCHib .....	87
Figura 73 – Conexão de entrada do efluente no WCHib .....	87
Figura 74 – Caixa de passagem e conexão de saída do <i>wetland</i> construído híbrido .....	88
Figura 75 – Vista interna caixa de passagem. Monjolo para controle de nível e selo hídrico para evitar odores .....	88
Figura 76 – Acabamento parcialmente realizado .....	89
Figura 77 – Borda de terra e cava para enterrar sobra da geomembrana .....	89
Figura 78 – Acabamento WCH .....	89
Figura 79 – Acabamento WCV .....	89
Figura 80 – Aspecto final do <i>Wetland</i> Construído Híbrido implantado no lote .....	90
Figura 81 – Amostras dos substratos utilizados .....	91
Figura 82 – Amostra de areia grossa utilizada no WCHib com amostra de areia grossa até 2 mm no detalhe .....	91
Figura 83 – Gráfico da distribuição granulométrica dos substratos .....	91
Figura 84 – Efluente na entrada do WCHib, após WCV e na saída do WCHib .....	98
Figura 85 – Poça de água resultante dos vazamentos .....	100
Figura 86 – Vazamento estancado após substituição do cano e vedação das conexões ..	100
Figura 87 – Bucha de 50/100 .....	100
Figura 88 – Detalhe da conexão na caixa de passagem após uso cola adesiva para PVC	100
Figura 89 – Primeiro plantio – Poda drástica de raízes a partes superiores .....	101
Figura 90 – Mudanças secas – Resultado do primeiro plantio – WCV .....	101
Figura 91 – Brotos novos de muda de taioba do primeiro plantio – WCH .....	101

## LISTA DE FIGURAS

Figura 92 – Muda de copo de leite implantada no WCH – Segundo plantio .....	101
Figura 93 – Mudas utilizadas no segundo plantio .....	102
Figura 94 – Corte de partes superiores secas – WCV .....	102
Figura 95 – Macrófitas no WCH após segundo plantio – 12/11/2016 .....	102
Figura 96 – Macrófitas no WCH após segundo plantio – 09/12/2016 .....	102
Figura 97 – Buraco na parte superior do sistema de saída do efluente no WCH .....	104
Figura 98 – Detalhe do buraco e lâmina de efluente .....	104
Figura 99 – Desnível entre WCV e WCH – Vista direita .....	104
Figura 100 – Desnível entre WCV e WCH – Vista esquerda .....	104

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores operacionais – Esgoto.....	26
Quadro 2 – Processos abióticos e bióticos atuantes na remoção de poluentes em <i>wetlands</i> construídos.....	30
Quadro 3 – Principais riscos associados à unidade de tratamento: tanque séptico + <i>wetland</i> de fluxo sub superficial vertical.....	36
Quadro 4 – Principais riscos associados à unidade de tratamento: tanque séptico + <i>wetland</i> de fluxo sub superficial horizontal.....	38
Quadro 5 – Parâmetros médios para dimensionamento de <i>wetland</i> de fluxo sub superficial vertical.....	40
Quadro 6 – Condições e padrões de qualidade das águas doces nas classes 1,2,3 e 4 – CONAMA N <sup>o</sup> 357/2005 .....	53
Quadro 7 – Condições e padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitário – CONAMA N <sup>o</sup> 430/2011 .....	55
Quadro 8 – Padrões de emissão para os parâmetros DBO <sub>5</sub> , DQO e SS em função da vazão de lançamento .....	56
Quadro 9 – Padrões de emissão para os parâmetros Fósforo e Coliformes Termotolerantes ou <i>Escherichia coli</i> – Concentração ou eficiência mínima em função das vazões referidas .....	56
Quadro 10 – Materiais utilizados .....	67
Quadro 11 – Macrófitas empregadas no <i>Wetland</i> Construído Híbrido – WCHib. ....	82
Quadro 12 – Parâmetros e limites estabelecidos na legislação referente a efluentes de sistemas de tratamento e enquadramento de cursos de água .....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo médio de água e geração de esgoto doméstico .....	65
Tabela 2 – Custos de implantação do <i>Wetland</i> Construído Híbrido – WCHib .....	93
Tabela 3 – Custos de implantação de diferentes configurações de <i>Wetlands</i> Construídos .....	94
Tabela 4 – Resultados da primeira avaliação – 13/10/2016 .....	96
Tabela 5 – Resultados da segunda avaliação – 17 nov. 2016 .....	97
Tabela 6 – Resultados da segunda amostragem, comparada com legislações vigentes ...	97
Tabela 7 – Performance média de tratamento obtido por Sezerino em 10 meses de monitoramento, comparado a eficiência da primeira amostragem realizada neste trabalho .....	105
Tabela 8 – Concentração média e eficiência de tratamento dos parâmetros avaliados na ETE Güntherland e no <i>wetland</i> construído híbrido implantado .....	105

## **LISTA DE SIGLAS**

ANA – Agência Nacional de Águas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

FPMH – Filtro Plantado de Macrófitas Horizontal

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

LAB – Lodo Ativado por Batelada

LADETEC – Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

PELBD – Polietileno Linear de Baixa Densidade

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

SS – Sólidos Suspensos

SST – Sólidos Suspensos Totais

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

WHO – World Health Organization

## SUMÁRIO

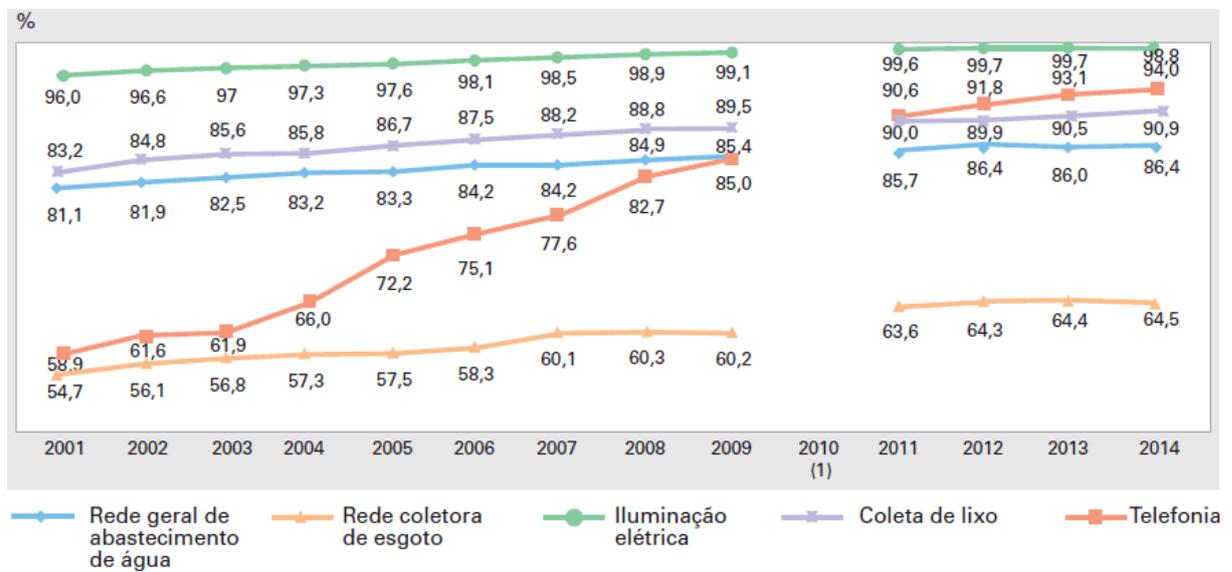
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 OBJETIVO</b> .....	22
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL .....	22
2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS .....	22
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	23
3.1 ESGOTO SANITÁRIO .....	23
<b>3.1.1 Saúde Pública e Meio Ambiente</b> .....	23
<b>3.1.2 Panorama atual de coleta e tratamento de esgoto sanitário</b> .....	26
3.2 <i>WETLANDS</i> CONSTRUÍDOS .....	28
<b>3.2.1 <i>Wetlands</i> Naturais e Construídos</b> .....	28
<b>3.2.2 Tipos de <i>Wetlands</i> Construídos</b> .....	31
3.2.2.1 <i>Wetland</i> Construído Fluxo Superficial – WCS .....	31
3.2.2.2 <i>Wetland</i> Construído Fluxo Sub Superficial Vertical – WCV .....	33
3.2.2.3 <i>Wetland</i> Construído Fluxo Sub Superficial Horizontal - WCH .....	36
3.2.2.3 <i>Wetland</i> Construído Fluxo Sub Superficial Híbrido – WCHib .....	38
<b>3.2.3 Dimensionamento</b> .....	39
3.2.3.1 <i>Wetland</i> Construído Fluxo Sub Superficial Vertical – WCV .....	39
3.2.3.2 <i>Wetland</i> Construído Fluxo Sub Superficial Horizontal – WCH .....	42
<b>3.2.4 Substrato</b> .....	46
<b>3.2.5 Macrófitas</b> .....	47
<b>3.2.6 Microrganismos</b> .....	50
3.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS .....	51
<b>3.3.1 Resolução CONAMA 357/2005</b> .....	52
<b>3.3.2 Resolução CONAMA 430/2011</b> .....	54
<b>3.3.3 Resolução CONSEMA 128/2006</b> .....	55
<b>3.3.4 NBR 7.229:1993</b> .....	56
<b>3.3.5 NBR 13.969:1997</b> .....	57
<b>4 IMPLANTAÇÃO</b> .....	58
4.1 METODOLOGIA .....	58
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	60
4.3 DIMENSIONAMENTO .....	64
4.4 MATERIAIS UTILIZADOS .....	66
4.5 CONSTRUÇÃO .....	67

<b>4.5.1 Escavação e impermeabilização .....</b>	<b>68</b>
<b>4.5.2 Montagem dos sistemas de alimentação e drenagem .....</b>	<b>72</b>
<b>4.5.3 Composição das camadas de substrato .....</b>	<b>76</b>
<b>4.5.4 Macrófitas utilizadas .....</b>	<b>81</b>
<b>4.5.5 Conexão de entrada e saída e acabamento .....</b>	<b>86</b>
<b>4.6 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DOS SUBSTRATOS .....</b>	<b>90</b>
<b>4.7 CUSTOS .....</b>	<b>92</b>
<b>5 ANÁLISES E DADOS MONITORADOS .....</b>	<b>95</b>
<b>6 DISCUSSÃO .....</b>	<b>99</b>
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>109</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A lei do saneamento básico, lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, tem entre os seus princípios fundamentais, a “universalização do acesso; e [...] o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;” (BRASIL, 2007, p. 1), apesar disso, os índices de coleta e tratamento de esgoto possuem números insatisfatórios e se mostram muito abaixo dos demais serviços, como apresentado na figura 1.

Figura 1 – Percentual de domicílios com serviços básicos, no total de domicílios particulares permanentes – Brasil – 2001/2014



(fonte: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – IBGE, 2014, p. 77)

O esgotamento sanitário de acordo com a lei nº 11.445, é composto “[...] pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;” (BRASIL, 2007).

Na realidade urbana brasileira hoje, o índice de atendimento com rede de água potável chega a 93,2% das áreas urbanas do país, porém, o índice de coleta de esgotos sanitários urbanos atinge 57,6% e tratamento a 40,8% dos esgotos gerados (BRASIL, 2016, p. 24).

A realidade nas zonas rurais apresenta números ainda piores que os levantados pelo SNIS para as zonas urbanas. Os dados do censo demográfico de 2010, realizado pelo IBGE, indicam que 15,6% da população brasileira residia em zonas rurais no ano de 2010. O levantamento sobre as características dos domicílios na zona rural, informa que somente 17% dos domicílios particulares permanentes rurais possuíam rede geral de esgoto e fossa séptica (IBGE, 2011, p. 108).

Quanto aos dados obtidos no censo de 2010, o IBGE (2011, p. 106) relata que:

Das condições de saneamento básico, o esgotamento sanitário é o que apresenta o mais longo caminho a ser percorrido para atingir índice satisfatório que possa garantir melhorias nas condições de moradia e de saúde da população, bem como preservar a qualidade do meio ambiente.

A falta de gestão das águas residuárias geradas pelas atividades humanas, em meio urbano e rural, gera impactos nos aspectos sanitários, ecológicos e, econômicos e sociais.

O principal aspecto sanitário está relacionado às doenças de veiculação hídrica, associadas ao uso direto e indireto de águas contaminadas por fezes e urina, humanas ou animais.

Quanto ao aspecto ecológico, citam-se os impactos causados nos corpos receptores que não possuem capacidade de depuração para toda carga de efluentes *in natura* destinados a estes, causando redução do oxigênio dissolvido, poluição das águas por patógenos, perda de biodiversidade e redução da disponibilidade de água para fins mais nobres.

Os aspectos econômicos e sociais são impactados principalmente pela falta de infraestrutura e planejamento das cidades, devido a falta de serviços básicos, os recursos hídricos acabam comprometidos, resultando em menor qualidade de vida da população, desabastecimento de água potável, poluição das águas superficiais e subterrâneas, e destruição dos recursos naturais.

Os sistemas de tratamento de esgotos convencionais são predominantemente baseados em sistemas centralizadores e rede separadora absoluta, que envolvem altos custos para implantação, construção de infraestruturas civis, custos com manutenção e pessoal, consumo de produtos químicos para tratamento e alto consumo de energia. Uma alternativa a este tipo de tratamento convencional são os sistemas descentralizados para atendimento de comunidade rurais, pequenos povoados, bairros ou unidades domésticas.

Segundo Marques (1999, p. 413), a ecotecnologia é uma ciência que está baseada no conhecimento das estruturas e funções dos sistemas naturais. Esta ciência parte do conhecimento dos processos naturais e de manipulações para a otimização dos mecanismos de interesse e aplicação destes processos na resolução de problemas de forma econômica e sustentável.

Os sistemas desenvolvidos com este viés devem ser planejados para operarem com um mínimo aporte de energia, baseados em fontes de energias naturais, onde a principal delas é a energia solar. Devem operar de forma autônoma e se auto sustentar ao longo do tempo, resultando em menores custos de operação e manutenção mais simples que sistemas convencionais.

Cria-se assim sistemas em que a interferência e manipulação humana, otimizam as reações naturais e promovem o desenvolvimento dos ecossistemas, que resultarão em serviços ambientais de interesse, criando interações em que “[...] humanos se tornam parceiros/sócios da natureza” (MARQUES, 1999, p. 409).

Sezerino (2006, p. 146) relata que:

Destaca-se, ainda, que a aplicação de sistemas naturais no tratamento de esgotos vem despontando como uma alternativa “tecnológica” sustentável, por apresentar uma melhor ciclagem dos nutrientes, reduzida produção de subprodutos, adequação à paisagem natural (sobretudo em áreas rurais), baixos custos de implantação, operação e manutenção (comparativamente aos sistemas ditos convencionais), eficiente desinfecção dos esgotos sem a necessidade de aditivos químicos e possibilidade de reúso do efluente.

Entre as ecotecnologias disponíveis, e com aplicação consolidada em países desenvolvidos, citam-se os *wetlands* construídos para tratamento de águas residuárias. Estes sistemas se enquadram nas características de serem inspirados e mimetizar ambientes naturais, otimizando os processos naturais de interesse, pouco uso de energia externa e baseado na energia solar, pouca manutenção, integração com o ambiente do entorno e beleza cênica, e, ao longo do tempo, com o desenvolvimento e sucessão ecológica do ecossistema implantado, espera-se um aumento da qualidade dos serviços ambientais prestados.

Os serviços ambientais prestados pelos *wetlands* construídos são a melhoria da qualidade da água através da degradação da matéria orgânica, retenção e transformação de nutrientes como nitrogênio e fósforo, e redução do número de patógenos.

Estes sistemas apresentam-se como alternativa para o tratamento descentralizado de esgotos sanitários ou efluentes de origem orgânica em zonas rurais ou áreas ainda não atendidas por serviço público de coleta e tratamento de esgotos sanitários. Também podem ser aplicados como sistema de transição em localidades que não possuem rede de coleta e tratamento público, desde que se tenham áreas disponíveis para tal, até que sistemas convencionais sejam implantados pelo titular do serviço.

Segundo Timm (2015, p.26), “Em comparação com os sistemas convencionais, os *Wetlands* Construídos tem menor custo de construção e manutenção, empregam materiais mais simples e demandam pouca ou nenhuma energia elétrica para funcionamento.”.

O presente trabalho se propõe à implantação de um *wetland* construído híbrido, no perímetro urbano de um município no interior do estado do Rio Grande do Sul, onde não há coleta e tratamento de esgotos sanitários.

O *wetland* construído híbrido é composto por dois ou mais *wetlands* com diferentes configurações construtivas e fluxo hidráulico.

O sistema domiciliar inicialmente contava com uma fossa séptica de 2,17 m<sup>3</sup>, seguida de filtro anaeróbio com 1,8 m<sup>3</sup>, e os efluentes eram encaminhados à rede pluvial pública para descarte em corpo receptor.

Estes dispositivos, tanque séptico e filtro anaeróbio, quando implantados, foram dimensionados e construídos de acordo com a NBR 7.229/1993 e NBR 13.969/1997, respectivamente.

A metodologia aplicada consistiu no dimensionamento do módulo I do *wetland* construído híbrido pelo do parâmetro de área superficial por habitante. Este módulo I é composto por um *wetland* construído de fluxo sub superficial vertical (WCV), e o módulo II subsequente, um *wetland* construído de fluxo sub superficial horizontal (WCH). Após a construção dos dois módulos foi desviado o efluente do sistema fossa séptica e filtro anaeróbio para entrada do *wetland* construído híbrido e a saída deste, ligada à rede pluvial pública.

O sistema de fossa séptica e filtro anaeróbio atualmente em uso, servirá como pré-tratamento dos afluentes ao *wetland* construído híbrido, que irá combinar fluxo sub superficial vertical seguido de horizontal, o “[...] interesse desta associação é obter uma boa nitrificação nos filtros verticais que são bem oxigenados, mas também, uma desnitrificação nos filtros horizontais, onde encontram-se condições de anoxia necessárias a esta reação.” (SEZERINO, 2066, p.34).

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo do presente trabalho é projetar e relatar a implantação de um sistema unitário descentralizado de polimento de efluentes domésticos com uso de um *wetland* construído, precedido por tratamento secundário composto por fossa séptica e filtro anaeróbio, já existente no local.

O trabalho aborda as etapas de dimensionamento, escavação, impermeabilização do terreno e estanqueidade do sistema, confecção e instalação dos sistemas de alimentação e drenagem, composição das camadas de substrato, plantio das macrófitas e acabamentos, envolvidas na construção de um *wetland* construído híbrido.

### 2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Como objetivos secundários podem ser citados:

- avaliação do período inicial de operação do *wetland* construído híbrido por meio de análises de parâmetros estabelecidos na Resolução CONSEMA 128/2006;
- avaliação das espécies macrófitas encontradas na região quanto à adaptabilidade e uso ornamental destas em *wetlands* construídos;
- estimar custos envolvidos na instalação de um *wetland* construído como forma de tratamento descentralizado dos efluentes de uma residência unifamiliar.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 ESGOTO SANITÁRIO**

Este capítulo aborda os problemas causados pela má gestão das águas residuais, impactos na saúde da população e o panorama atual de coleta e tratamento no Brasil e estado do Rio Grande do Sul.

#### **3.1.1 Saúde Pública e Meio Ambiente**

Desde as primeiras ocupações humanas, as fezes, urina e efluentes gerados pelas populações, foram alvo de atenção e cuidado por diferentes civilizações.

“O reconhecimento da importância do saneamento e da sua associação com a saúde humana remonta às mais antigas culturas.” (BRASIL, 2015, p.15).

O Manual de Saneamento (BRASIL, 2015), cita diferentes passagens onde civilizações antigas já demonstravam preocupação com a qualidade da água. Destaca formas de purificação de água para consumo como fervura ou filtração por areia e cascalho, além de ruínas de uma civilização que se desenvolveu na Índia, a cerca de 4.000 anos, que possuía banheiros, esgotos e drenagem nas ruas. Também faz referência às práticas sanitárias e higiênicas na civilização grego-romana e o conhecimento da relação entre estas práticas e o controle de doenças.

As águas residuárias domésticas, quando não tratadas e dispostas de forma segura, são fontes de contaminação e poluição, causam a degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, solos e ambiente em geral.

Devido a isto, se fazem necessárias as infraestruturas urbanas de coleta e afastamento de esgotos sanitários, para evitar o contato com as pessoas, animais e possíveis vetores de doenças (mosquitos, ratos, caramujos, baratas), instalações para tratamento eficiente dos efluentes e disposição final segura, atendendo à legislação e evitando impactos aos corpos hídricos receptores.

O esgoto sanitário sem o devido tratamento, tem grande potencial de transmissão de doenças de veiculação hídrica e parasitárias devido à presença de bactérias, protozoários, vírus e helmintos. Entre estas doenças, destacam-se: “[...] ancilostomíase, ascaridíase, amebíase, cólera, diarreia infecciosa, desintéria bacilar, esquistossomose, estrogiloidíase, febre tifoide, febre paratifoide, salmonelose, teníase e cisticercose.” (BRASIL, 2015, p.180).

O contágio pode ocorrer por diferentes vias, por ingestão de água contaminada, por contato primário através da pele e mucosas, pela irrigação da produção de alimentos com água contaminada ou uso desta para preparação de alimentos.

“Quase metade da população do mundo em desenvolvimento será afetada, em algum momento, por enfermidades ou doenças diretamente relacionadas com água não segura ou escassez de água, com saneamento inadequado ou inexistente, ou com uma inadequada gestão de recursos hídricos.” (WHO, 2016, p.4).

Baixos índices de coleta e tratamento da rede pública de esgotamento sanitário geram implicações sanitárias (doenças, epidemias), sociais e econômicas (expectativa de vida, afastamento por licença médica) e ambientais (perda de qualidade ambiental).

O impacto da falta de coleta e tratamento dos esgotos sanitários causa desequilíbrio do meio ambiente. Segundo Von Sperling (1995), um ecossistema em condições desequilibradas, resulta em baixa diversidade, reduzido número de espécies e elevado número de indivíduos de cada espécie. Isto ocorre devido à ação seletiva da poluição sobre as espécies, “[...] somente aquelas bem adaptadas as novas condições ambientais sobrevivem e, mais do que isso, proliferam [...]” (VON SPERLING, 1995).

Um dos mecanismos causadores do desequilíbrio do ambiente, por ação do despejo de efluentes domésticos, é a redução da concentração de oxigênio dissolvido na massa de água. Isto pode ocorrer devido à oxidação da matéria orgânica presente no esgoto sanitário, que pode resultar na morte de peixes e outros microrganismos aquáticos, geração de odores desagradáveis e piora no aspecto visual das águas. Ainda cita-se como impactos dos esgotos sanitários ao meio ambiente, segundo Brasil (2015):

- geração de espumas em pontos de turbulência dos corpos hídricos superficiais devido à presença de detergentes;

- assoreamento dos cursos de água e problemas estéticos pela degradação da paisagem devido à presença de inúmeras substâncias orgânicas e inorgânicas (areia);
- nutrientes presentes, como nitrogênio e fósforo, possibilitem a aceleração da eutrofização dos corpos hídricos, causa pelo crescimento excessivo de algas, que conferem odor, gosto e introduzem biotoxinas ao meio;
- agravamento de problemas de escassez de água.

A importância da gestão adequada dos efluentes sanitários se dá no retorno dos investimentos realizados. Como exemplo cita-se a redução de gastos com menor número de internações nas unidades de saúde, a melhora dos mananciais de captação de água bruta e consequente redução nos custos de tratamento para potabilidade, manutenção e melhora dos locais de recreação de contato primário, beleza paisagística e consequente promoção de turismo, conservação da biota aquática e maior disponibilidade de recursos hídricos para atividades econômicas devido à manutenção e à preservação das águas superficiais e subterrâneas.

“Em geral, países com mais elevado desenvolvimento apresentam menores carências de atendimento de suas populações por serviços de saneamento. Ao mesmo tempo, países com melhores coberturas por saneamento têm populações mais saudáveis, o que por si só constitui um indicador de nível de desenvolvimento.” (HELLER, 1998, p.5).

A concentração da população em áreas urbanas demandou a expansão das manchas urbanas e crescimento das cidades. Essa expansão na maioria das vezes ocorre de forma desorganizada e não planejada, ocupando encostas de morros, áreas naturais de extravasamento de córregos e rios urbanos, áreas de APP, banhados e outras. Este crescimento desordenado traz consequências para a gestão das cidades.

A falta de planejamento implica em maiores gastos e maiores dificuldades para a implantação de redes de água para abastecimento, para implantação de redes de coleta de esgotamento sanitário e drenagem pluvial, e coleta dos resíduos sólidos gerados. Serviços estes que compõem o saneamento básico e são de vital importância para a saúde da população e manutenção da qualidade ambiental das cidades.

Devido aos custos que envolvem a implantação de rede de coleta e estações de tratamento de esgoto sanitário, aliada à falta de organização, educação e informação da sociedade para

exigir maior atenção do poder público sobre este grave problema, a implantação de redes de coleta e estações de tratamento de esgoto sanitário tem sido adiada e relegada, frente a outras necessidades aparentemente mais urgentes.

“O baixo índice de atendimento por rede pública de esgotos sanitários não deveria implicar automaticamente em más condições sanitárias da população, visto que em diversos países desenvolvidos também ocorre, em algumas regiões, baixa cobertura por rede coletora. Porém nestes países as residências são providas de soluções individuais, ou descentralizadas de tratamento e disposição final adequadas que, por serem bem construídas e mantidas, resolvem satisfatoriamente suas necessidades.” (BRASIL, 2015, p. 177).

### 3.1.2 Panorama atual de coleta e tratamento de esgoto sanitário

O panorama atual acerca dos serviços de coleta e tratamento de esgoto apresentado a seguir é baseado nas informações do “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2014”, divulgado pelo Ministério das Cidades e Secretaria Nacional de Saneamento – SNSA. Este diagnóstico tem periodicidade anual e é realizado com base em um banco de dados com as informações fornecidas pelos prestadores dos serviços de saneamento, no caso, os responsáveis pelos serviços de coleta e tratamento de esgotos sanitários.

Conforme as tabelas de indicadores gerados pelas informações referentes ao ano de 2014 e disponibilizadas para consulta, foi gerado o quadro 1 abaixo que apresenta os índices de coleta de esgoto, tratamento e índice de esgoto tratado referido à água consumida.

Quadro 1 – Indicadores operacionais – Esgoto

Região	INDICADORES OPERACIONAIS – ESGOTO		
	Índice de coleta de esgoto	Índice de tratamento de esgoto	Índice de esgoto tratado referido à água consumida
	percentual	percentual	percentual
BRASIL	54,87	70,87	40,78
Rio Grande do Sul	28,67	49,54	15,51

(fonte: adaptado de BRASIL, 2016)

Estes percentuais foram gerados a partir das informações de 2.332 municípios, que representa um percentual de 41,9% da quantidade total de municípios do país e a uma população de 142,8 milhões de habitantes, que corresponde a 83,4% de toda a população urbana do Brasil.

Outros 1.698 municípios preencheram o relatório simplificado do SNIS relativo ao esgotamento sanitário. Estes municípios abrangem uma população de 15.723.415 habitantes e não possuem sistema público de coleta e/ou tratamento de esgoto implantado. Na figura 2 é apresentado o número de municípios e a principal alternativa individual adotada, por região geográfica e Brasil. Destaca-se que estas informações são preenchidas pelos titulares do serviço nos municípios. Questiona-se a veracidade dos dados fornecidos e abrangência destes, visto que nenhum município da região sul indica o lançamento em cursos d'água, quando se sabe que, esta ainda é uma prática corrente no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 2 – Número de municípios para cada principal alternativa individual de esgotamento sanitário adotado por região geográfica do Brasil

Região	Principal alternativa individual de esgotamento sanitário						Total
	fossas sépticas / sumidouro	fossa rudimentar	valas a céu aberto	lançam. em cursos d'água	galerias de águas pluviais	outros	
Norte	115	73	4	1	0	4	197
Nordeste	344	87	43	33	38	14	559
Sudeste	25	15	0	28	6	0	74
Sul	482	80	3	0	22	4	591
Centro-Oeste	96	57	0	0	0	4	157
Brasil	1.062	312	50	62	66	26	1.578

(fonte: BRASIL, 2016, p. 91)

Este baixo percentual de esgoto tratado referido ao consumo de água em nível de Brasil, e ainda mais crítico quando observada a condição do estado do Rio Grande do Sul, está diretamente relacionada aos índices de saúde e qualidade de vida da população, ao risco de doenças de veiculação hídrica, maiores custos para tratamento, desinfecção e qualidade da água para consumo e a perda da qualidade ambiental deste importante recurso, essencial para promoção de desenvolvimento, saúde e manutenção da vida de todas as espécies.

## 3.2 WETLANDS CONSTRUÍDOS

Este capítulo irá abordar as características dos banhados naturais e construídos, os tipos de *wetlands* construídos quanto ao fluxo dos efluentes, tipos de substratos utilizados, mecanismos que atuam na melhora da qualidade final do efluente, tipos de macrófitas utilizadas, metodologias de dimensionamento e os parâmetros médios usualmente empregados.

### 3.2.1 *Wetlands* Naturais e Construídos

Os trabalhos publicados em português sobre *wetlands* construídos se referem aos sistemas de diferentes maneiras. São encontradas referências a banhados construídos, terras úmidas construídas, jardins filtrantes, zonas úmidas, zona de raízes, filtros plantados de macrófitas, *wetlands* construídos, filtros de areia plantados, sistemas alagados construídos entre outros.

Estes sistemas são classificados de acordo como o fluxo de efluente ocorre no sistema. Sistemas que possuem fluxo de água aparente são classificados como *wetlands* de fluxo superficial. Os sistemas projetados e dimensionados para que o efluente percole sob o substrato utilizado, sem lâmina de água aparente, são denominados *wetlands* construídos de fluxo sub superficial, subdivididos quanto ao escoamento hidráulico, em verticais ou horizontais.

Neste trabalho estes sistemas que mimetizam e otimizam os processos naturais dos banhados serão referidos como *wetlands* construídos, e classificados conforme se dá o fluxo do efluente no sistema. *Wetland* construído superficial – WCS, sistemas de fluxo superficial, *wetland* construído vertical – WCV, sistema de fluxo sub superficial de escoamento hidráulico vertical e *wetland* construído horizontal – WCH, sistema de fluxo sub superficial com escoamento hidráulico horizontal. A combinação de configurações diferentes será referida como *wetland* construído híbrido – WCHib, podendo combinar fluxo sub superficial e superficial ou fluxo sub superficial vertical e horizontal.

Os sistemas de *wetlands* construídos mimetizam significativamente os banhados naturais, referidos na Lei N° 12.651 de 25 de maio de 2012 como “[...] áreas úmidas: pantanais e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundaçãõ;” (BRASIL, 2012).

Estas áreas localizam-se como áreas de transição entre ambientes terrestres e aquáticos. Manguezais, brejos, lagoas de pouca profundidade e charcos são alguns exemplos deste tipo de terreno.

Segundo Coraucci Filho et al. (2001, p.56) entre diversos fatores que diferenciam as terras úmidas naturais, o mais determinante é a hidrologia, que permite a divisão em dois grandes tipos principais: costeiras e continentais.

Segundo a mesma publicação, os ecossistemas de banhados construídos desempenham as seguintes funções: *habitat* natural, manutenção do equilíbrio hidrológico, conservação da biodiversidade, efeito climático e preservação da qualidade das águas.

O uso dos *wetlands* construídos para tratamento e polimento – redução complementar de matéria orgânica, de nutrientes e de microrganismos, dos efluentes gerados pelas atividades humanas teve origem na observação dos processos que ocorriam nestes ambientes naturais, como a ciclagem de nutrientes, melhora da qualidade da água, a grande biodiversidade e interação entre os organismos que naturalmente compõe estes ecossistemas.

As primeiras experiências para tratamento de efluentes foram realizadas aplicando os efluentes nos ambientes alagados naturais, porém, devido a pressões ambientalistas e o reconhecimento da importância da preservação destes ambientes como mantenedores da biodiversidade, esta prática foi abandonada, passando-se a construir sistemas artificiais projetados para otimizar os processos que ocorrem nos banhados naturais.

Esta mudança permitiu um melhor controle sobre o fluxo dos efluentes no sistema, controle hidráulico do escoamento, escolha dos substratos e espécies de plantas de forma a otimizar e estudar os processos de depuração que ocorrem nestes sistemas.

Campbell & Ogden<sup>1</sup> (1999, apud ZANELLA, 2008, p. 30) relatam que a bióloga alemã Käthe Seidel no Instituto Max Planck, na década de 1950, conduziu as primeiras investigações científicas sobre o uso de *wetlands* para tratamento de esgotos domésticos e industriais, confirmando a eficiência das áreas alagadas naturais para este tratamento. Zanella (2008, p. 31) também relata que:

---

<sup>1</sup> CAMPBELL, C. S. & OGDEN, M. H. **Constructed wetlands in the sustainable landscape**. John Wiley & Sons Inc. 1999. 270p.

A partir da década de 1980 houve um significativo aumento no interesse de estudos de sistemas de tratamento com *wetlands*-construídos o que fez com que fossem testadas inúmeras configurações, formas e arranjos a partir dos sistemas naturais, inclusive com variações de meio suporte, plantas e características hidráulicas.

Parolim et al. (2012, p.47), Maier (2007, p.29) e Mazzola (2003, p. 10), relatam que os sistemas de *wetlands* construídos são usados com frequência na Europa, Estados Unidos, Austrália e África do Sul para tratamento de águas residuárias.

O documento Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands (ITRC, 2013, p.13) destaca que, embora os mecanismos de remoção possam variar, os *wetlands* construídos podem remover os sólidos totais em suspensão (SST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) e compostos orgânicos e inorgânicos para atender aos parâmetros estabelecidos em legislações.

A mesma publicação destaca que os mecanismos de remoção podem ser abióticos (físicos e químicos) ou bióticos (ação de microrganismos e vegetação).

Quadro 2 – Processos abióticos e bióticos atuantes na remoção de poluentes em *wetlands* construídos

Processos	
Abióticos	Bióticos
decantação, sedimentação	biodegradação aeróbica / anaeróbia
sorção (adsorção/absorção)	fito-acumulação / fitoestabilização
oxidação / redução-precipitação química	fitodegradação / rizodegradação
fotodegradação / oxidação	fitovolatilização / evapotranspiração
volatilização	

(fonte: adaptado de ITRC, 2003)

Timm (2015, p. 38) destaca que os banhados suportam uma complexa interação entre os substratos e diversos microrganismos, que tem por consequência a melhora da qualidade das águas por meio de mecanismos como: retenção do material em suspensão; filtração e precipitação química; sorção e troca iônica na superfície das plantas, substrato e sedimentos; quebra, transformação e metabolização de poluentes e nutrientes; e redução de organismos patogênicos.

Os mecanismos e processos para tratamento e remoção dos contaminantes dependem do poluente, do tipo de *wetland* construído, das condições ambientais do local e da eficiência de tratamento desejada. Os processos dominantes de remoção de contaminantes nos *wetlands* construídos são a sedimentação, biotransformação mediada por microrganismos e plantas e a absorção para crescimento vegetativo das plantas empregadas. (ITRC, 2013, p.22 “tradução nossa”).

### 3.2.2 Tipos de *Wetlands* Construídos

Os *wetlands* construídos são classificados de acordo o fluxo dos efluentes no sistema. Os principais, usualmente empregados e referenciados na bibliografia, são os *wetlands* construídos de fluxo superficial, com lâmina de água aparente, e os *wetlands* de fluxo sub superficial, sem lâmina de água aparente, subdivididos de acordo com o fluxo hidráulico no substrato, em verticais e horizontais.

Ainda podem ocorrer combinações destas configurações, sendo referenciados como *wetlands* construídos híbridos, combinando sistemas de fluxo sub superficial vertical e horizontal ou sub superficial e superficial.

A seguir serão abordadas as três configurações, destacando as vantagens e desvantagens de cada um dos sistemas.

#### 3.2.2.1 *Wetland* Construído de Fluxo Superficial – WCS

Os *wetlands* construídos de fluxo superficial apresentam a configuração visual mais próxima dos alagados, pântanos e banhados naturais.

As formas e tamanho podem ser variadas, e como se aproximam e mimetizam as áreas naturais, sua biodiversidade também é a mais diversa entre os *wetlands* construídos. O ITRC (2003) refere que estes sistemas são mais baratos que os sistemas de fluxo sub superficial, mais simples de projetar e possibilitam um melhor controle de picos de vazão.

Neste tipo de banhado a lâmina de água fica aparente, flui livremente, com presença de substratos somente na parte inferior e a lâmina de água permanece em contato com a atmosfera.

Salati et al. (2009) e Mazzola (2003) citam a profundidade da lâmina de água entre 10-40 cm e 10-30 cm, respectivamente. “A superfície de caules, folhas e raízes colabora na retenção de poluentes e confere substrato para estabelecimento de biofilmes que atuam na depuração dos poluentes.” (TIMM, 2015, p. 48).

As trocas gasosas acontecem na interface da superfície livre do líquido e atmosfera, devido à ação do vento e difusão atmosférica e através da respiração de macrófitas e algas que introduzem oxigênio na zona de raízes e na massa de água. “A radiação solar também pode atuar nesse tipo de sistema permitindo o decaimento das populações de organismos patogênicos.” (ZANELLA, 2008, p. 32).

A ação das algas e a redução de patógenos por incidência solar podem ser afetadas pela multiplicação de plantas superficiais e cobertura da lâmina de água. Porém, estas absorvem nutrientes, servem de suporte para o biofilme e atuam positivamente diminuindo a turbulência causada pela ação do vento na coluna da água, favorecendo a sedimentação e o escoamento a velocidades reduzidas.

Zanella (2008) ainda destaca que este sistema de *wetland* possui mais variabilidade quanto aos tipos de plantas que podem ser empregadas. Resultando em cinco subdivisões de acordo com o tipo de vegetação empregada: *wetland* de fluxo superficial e vegetação emergente, *wetland* superficial e vegetação flutuante livre, *wetland* superficial e vegetação de folhas flutuantes fixa, *wetland* de fluxo superficial e vegetação submersa, de vida fixa ou livre.

Como desvantagens desse sistema são destacadas a necessidade de maiores áreas, possibilidade de atrair vetores de doenças (mosquitos), necessidade de controle da vegetação para que esta não recubra toda superfície livre do espelho d'água, e geração de odor e risco de exposição à patógenos por contato primário com público, caso não seja utilizado para nível terciário ou polimento de efluentes.

Figura 3 – *Wetland* Construído de Fluxo Superficial



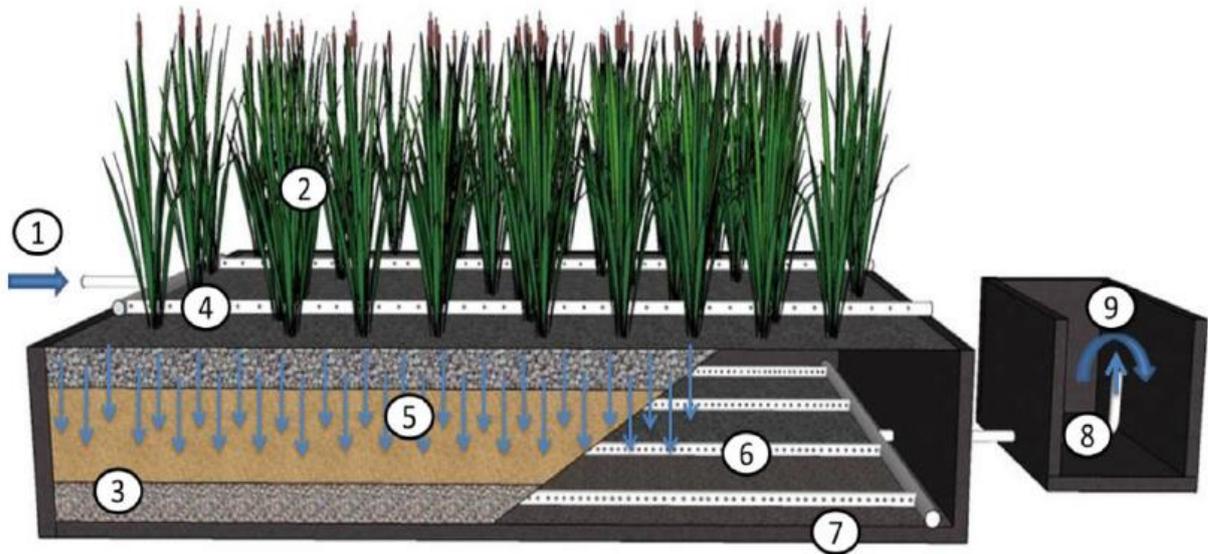
(fonte: ETE Refúgio Biológico Boa Vista - RBBV)

### 3.2.2.2 *Wetland* Construído de Fluxo Sub Superficial Vertical – WCV

Os *wetlands* de fluxo sub superficial se caracterizam por não apresentarem lâmina de líquido na superfície.

Possuem impermeabilização de fundo para evitar contaminação do solo e águas subterrâneas, utilizam substratos adequados para infiltração, percolação do efluente, fixação do biofilme e sustentação das plantas macrófitas emergentes.

Neste tipo de configuração o afluente é disposto na parte superior do *wetland* sobre uma camada de brita e captado pelo sistema de drenagem após percolar pela zona de raízes, camadas de substrato e biofilme aderido que compõe o *wetland*. Normalmente possuem de 0,6 a 1,0 metro de profundidade.

Figura 4 – *Wetland* Construído de Fluxo Sub Superficial Vertical

1 – entrada do afluente; 2 – macrófitas emergentes; 3 – camadas de substratos; 4 – sistema de distribuição do efluente; 5 – sentido do fluxo; 6 – sistema de drenagem e coleta; 7 – impermeabilização; 8 – controlador de nível; 9 – efluente final.

(fonte: adaptado de PELISSARI, 2013)

“Estes sistemas costumam ser alimentados de forma intermitente, sendo que esta inconstância na aplicação do esgoto causa uma boa disponibilidade de oxigênio e conseqüente capacidade de nitrificação.” (TIMM, 2015, p. 56).

Devido à porosidade do material suporte e a forma como é disposto o efluente, é favorecida a entrada de oxigênio por difusão e arraste no interior do substrato, aumentando a oxidação aeróbia.

O substrato ou meio suporte é normalmente composto por brita e areia e ali se desenvolve o biofilme aderido às partículas, composto por uma variada gama de microrganismos autotróficos, heterótrofos, aeróbios ou anaeróbios, que constituem a parte ativa do filtro.

“A maior vantagem de *wetland* fluxo vertical consiste na distribuição de esgoto bruto numa área maior de entrada e o uso de volume de filtro mais eficiente, resultando em uma necessidade de área muito menor.” (PLATZER et al., 2007a, p. 2).

Devido a estas características, estes filtros têm sua eficiência aumentada e conseqüentemente a área superficial necessária para tratamento reduzida, tornando-se alternativas viáveis quando a falta de espaço é um fator limitante.

Platzer et al. (2007a) ainda destaca que a forma intermitente que ocorre a alimentação do *wetland*, possibilita que ocorra a entrada de oxigênio e uma secagem da área de entrada, fatores que aumentam a eficiência dos processos aeróbios e diminuem a possibilidade de colmatação (deposição de matéria orgânica particulada sobre material filtrante) do filtro.

A lâmina d'água permanece abaixo da superfície do meio suporte adotado, dessa forma evita-se a possibilidade de contato de pessoas e animais, domésticos ou silvestres, com o efluente. Este aspecto construtivo também evita a atração e proliferação de vetores e a dispersão de odores.

“Esta configuração pode ser utilizada para tratamento secundário ou terciário de efluentes domésticos, agrícolas, e em alguns casos, de efluentes industriais que não apresentem substâncias inibidoras ao tratamento.” (ZANELLA, 2008, p. 38).

UN HABITAT (2008) destaca como vantagens dos *wetlands* de fluxo sub superficial vertical a boa capacidade de transferência de oxigênio favorecendo a nitrificação, a capacidade de remover eficientemente DBO<sub>5</sub>, DQO e patógenos, e a menor exigência de área que os *wetlands* de fluxo sub superficial horizontal.

O quadro 3 traz os principais riscos associados à aplicação desta tecnologia, quando precedida por tanque séptico, listadas pela publicação BRASIL (2014, p. 55).

Quadro 3 – Principais riscos associados à unidade de tratamento: tanque séptico + *wetland* de fluxo sub superficial vertical

Sistema	Riscos associados	Causa
Tanque séptico + <i>wetland</i> de fluxo sub superficial vertical	Colmatção do meio filtrante	Meio suporte (areia) inadequado
		Sobrecarga do sistema
	Contaminação por contato com o efluente	Bactérias e outros organismos presentes
	Surgimento de vetores de doenças	Efluente exposto
	Emissão de odores	Efluente exposto
		Tanque séptico descoberto
	Contaminação do lençóis freático	Vazamento das unidades de tratamento, por rachadura ou transbordamento
	Contaminação de corpos hídricos	Lançamento do efluente tratado fora dos parâmetros especificados na legislação
	Dispersão do efluente tratado em solo inadequado	Solo com características inapropriadas para dispersão de efluentes
Baixa eficiência do sistema de tratamento	Dimensionamento ou construção inadequada	
	Falha operacional	

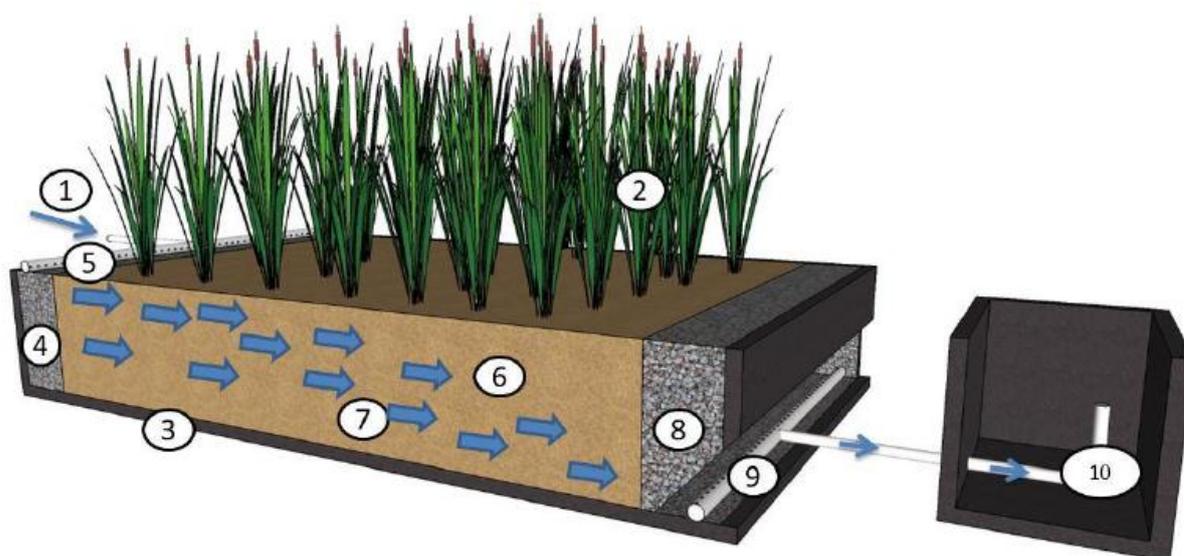
(fonte: adaptado de BRASIL, 2014)

### 3.2.2.3 *Wetland* Construído de Fluxo Sub Superficial Horizontal – WCH

Os *wetlands* de fluxo sub superficial horizontal (WCH) possuem algumas similaridades e diferenças com os WCV. A maior dela se dá na direção de fluxo que ocorre em cada um.

“[...] o efluente a ser tratado é disposto na porção inicial do leito, denominada zona de entrada – geralmente composta por brita, de onde irá percolar vagarosamente através do material filtrante até atingir a porção final, também composta por brita e chamada zona de saída.” (GESAD, 2007, p. 9). A mesma publicação ainda destaca que esta percolação ocorre de forma horizontal facilitada devido à declividade de fundo.

Figura 5 – *Wetland* Construído de Fluxo Sub Superficial Horizontal



1 – entrada do afluente; 2 – macrófitas emergentes; 3 – impermeabilização; 4 – zona de entrada; 5 – canalização de alimentação; 6 – substrato; 7 – sentido do fluxo; 8 – zona de saída; 9 – canalização de coleta; 10 – monjolo, controlador de nível.

(fonte: adaptado de PELISSARI, 2013)

O nível de água que percola no *wetland* permanece abaixo do substrato utilizado, garantindo as mesmas vantagens já observadas nos WCV ao evitar o contato com pessoas, animais, vetores de doenças e a geração de odores.

No interior da zona ativa do filtro, substrato com biofilme aderido e desenvolvido, o efluente entra em contato zonas aeróbias, anaeróbias e anóxicas sendo degradado por ação microbológica. GESAD (2007) destaca que os princípios básicos de tratamento englobam filtração e formação do biofilme aderido ao meio suporte e raízes das plantas.

UN HABITAT (2008) destaca que este tipo de *wetland* pode remover efetivamente poluentes orgânicos como DBO<sub>5</sub>, DQO e SST. A remoção de nutrientes, especialmente nitrogênio, é reduzida devido à limitada transferência de oxigênio, porém, este sistema se mostra eficaz na redução de nitratos.

O quadro 4 traz os principais riscos associados à aplicação desta tecnologia, precedida por tanque séptico, listadas pela publicação BRASIL (2014, p. 55).

Quadro 4 – Principais riscos associados à unidade de tratamento: tanque séptico + *wetland* de fluxo sub superficial horizontal

Sistema	Riscos associados	Causa
Tanque séptico + <i>wetland</i> de fluxo sub superficial horizontal	Colmatção do meio filtrante	Meio suporte (areia) inadequado
		Sobrecarga do sistema
	Contaminação por contato com o efluente	Bactérias e outros organismos presentes
	Surgimento de vetores de doenças	Efluente exposto
	Emissão de odores	Efluente exposto
		Tanque séptico descoberto
	Contaminação do lençol freático	Vazamento das unidades de tratamento, por rachadura ou transbordamento
	Contaminação de corpos hídricos	Lançamento do efluente tratado fora dos parâmetros especificados na legislação
	Dispersão do efluente tratado em solo inadequado	Solo com características inapropriadas para dispersão de efluentes
	Baixa eficiência do sistema de tratamento	Dimensionamento ou construção inadequada
Falha operacional		

(fonte: adaptado de BRASIL, 2014)

#### 3.2.2.4 *Wetland* Construído de Fluxo Sub Superficial Híbrido – WCHib

Os sistemas de *wetlands* híbridos ou também referidos como combinados são baseados na associação de diferentes tipos de *wetlands*. Esse tipo de associação varia de acordo com os objetivos do projetista, origem do efluente, pré-tratamento aplicado, interesse de reuso, possibilidades físicas do local a ser implantado o sistema e atendimento aos padrões exigidos pela legislação local.

O uso combinado de diferentes tipos de *wetlands* construídos possibilita a obtenção de um efluente de melhor qualidade na saída do sistema devido à soma das qualidades inerentes a cada tipo de fluxo.

Segundo Sezerino (2006), é possível produzir um efluente com baixa concentração de  $DBO_5$ , completamente nitrificado e parcialmente desnitrificação com a combinação de WCV que são bem oxigenados e possibilitam uma boa nitrificação, seguido de um WCH que propicia condições anóxicas para que ocorra a reação de desnitrificação.

### 3.2.3 Dimensionamento

Serão aqui expostas as recomendações e formas de dimensionamento utilizadas para *wetlands* construídos de fluxo sub superficial comumente utilizadas e relatadas nos trabalhos publicados acerca do tema.

Não será abordado o dimensionamento relativo aos *wetlands* de fluxo superficial devido este modelo não ser tema de interesse central deste trabalho.

Embora não exista norma brasileira que padronize e estabeleça critérios para construção, os projetos pilotos e experiências realizadas aplicando as metodologias propostas são amplamente difundidos. Os resultados e eficiência dos sistemas são satisfatórios, replicados em diferentes locais, e tem se mostrado uma alternativa viável para tratamento descentralizado de efluentes para locais ainda não cobertos por sistemas públicos de coleta e tratamento de esgotos sanitários.

O dimensionamento correto é de fundamental importância, porém, também é destacada a existência de pré-tratamento para retenção de sólidos mais grosseiros e uso de substrato adequado. O substrato é considerado a zona ativa de tratamento devido à ação filtrante, presença de biofilme bacteriano aderido as suas partículas, e suporte para desenvolvimento da zona radicular das macrófitas.

#### 3.2.3.1 *Wetland* Construído de Fluxo Sub Superficial Vertical – WCV

Conforme destacado na caracterização dos tipos de *wetlands* construídos, aplicados ao tratamento de efluentes, os modelos sub superficiais de fluxo vertical são considerados mais eficientes por dispersar o efluente sobre uma maior área superficial do filtro, o que acarreta um uso mais eficiente do volume do filtro, e favorece a degradação aeróbia enquanto o efluente percola pela camada filtrante. Devido a estas características, requisitam menor área superficial.

A publicação Arranjos Tecnológicos para Tratamento de Esgotos Sanitários de Forma Descentralizada (BRASIL, 2014) traz os parâmetros médios que devem ser levados em conta no dimensionamento do *wetland* construído de fluxo vertical e um exemplo de dimensionamento. Os parâmetros médios para dimensionamento podem ser observados no quadro 5.

Quadro 5 – Parâmetros médios para dimensionamento de *wetland* de fluxo sub superficial vertical

Parâmetro	Valores médios
Vazão (Q)	0,8 x consumo médio de água x n° de habitantes
DQO do esgoto bruto (DQO)	300 a 700 mg/L
Carga de DQO	Depende da Vazão
Nitrogênio Total (NTK)	40 mg/L
Carga de NTK	Depende da Vazão
N° de aplicações de esgoto	Depende da saturação do meio filtrante
Legislação estadual	Verificar órgão estadual
Legislação federal	Verificar CONAMA

(fonte: adaptado de BRASIL, 2014)

A publicação refere que a relação área/habitante pode ser utilizada para dimensionamento de *wetlands* construídos de fluxo sub superficial vertical, e varia de 0,8 a 1,5 m<sup>2</sup>/habitante, desde que atendidas as condições e parâmetros médios indicados nos quadro 5.

Outra metodologia de dimensionamento de *wetlands* de fluxo superficial foi proposta por Platzer<sup>2</sup> (1998, apud Platzer et al., 2007b, p. 2) baseada nas necessidades de oxigênio para os processos aeróbios, como oxidação da DQO (ou DBO<sub>5</sub>) e a oxidação de NTK (nitrificação).

Por esta metodologia, também é considerada a ocorrência parcial de desnitrificação, o que diminui a necessidade de oxigênio devido à redução de nitrato e recuperação de oxigênio (equação 1).

Platzer et al. (2007b) destaca que os mecanismos de entrada de oxigênio considerados são os processos de convecção, volume de oxigênio que segue o fluxo de efluente alimentado na parte superficial do *wetland*, e a difusão, que acontece continuamente pela superfície e diminui somente quando o efluente se acumula na superfície, no momento em que este é alimentado por bateladas (equação 2). As equações a seguir destacam estas considerações.

<sup>2</sup> PLATZER, Chr. (1998). Design recommendations for Subsurface Flow constructed *wetlands* for nitrification and denitrification, in: Proceedings of the 6th IAWQ Conference on *Wetland* Systems in Water Pollution Control. Águas de São Pedro, SP.

$$\text{Necessidade } O_{2 \text{ TOTAL}} = \text{Necessidade } (O_{2 \text{ DQO}} + O_{2 \text{ NTK}}) - \text{Recuperação } O_{2 \text{ DN}} \quad (\text{equação 1})$$

Sendo:

Necessidade  $O_{2 \text{ TOTAL}}$  = concentração total de oxigênio necessário para os processos de oxidação da matéria orgânica e nitrificação considerando a recuperação de oxigênio advinda da desnitrificação de nitratos;

Necessidade  $O_{2 \text{ DQO}}$  = concentração de oxigênio necessário para oxidação da matéria orgânica;

Necessidade  $O_{2 \text{ NTK}}$  = concentração de oxigênio necessário para os processos de nitrificação;

Recuperação  $O_{2 \text{ DN}}$  = concentração de oxigênio fornecido pelo processo de desnitrificação.

$$\text{Oferta } O_{2 \text{ TOTAL}} = \text{Entrada } (O_{2 \text{ CONVECÇÃO}} + O_{2 \text{ DIFUSÃO}}) \quad (\text{equação 2})$$

Sendo:

Oferta  $O_{2 \text{ TOTAL}}$  = concentração total de oxigênio fornecida pelos processos de convecção e difusão;

Entrada  $O_{2 \text{ CONVECÇÃO}}$  = concentração de oxigênio fornecida pelo processo de convecção;

Entrada  $O_{2 \text{ DIFUSÃO}}$  = concentração de oxigênio fornecida pelo processo de difusão.

Para o correto dimensionamento e conseqüente eficiência de remoção da matéria orgânica e nitrogênio do efluente, a relação exposta na equação 3 deve ser satisfeita.

$$\text{Oferta } O_{2 \text{ TOTAL}} - \text{Necessidade } O_{2 \text{ TOTAL}} \geq 0 \quad (\text{inequação 1})$$

Sendo:

Oferta  $O_{2 \text{ TOTAL}}$  = concentração total de oxigênio fornecida pelos processos de convecção e difusão;

Necessidade  $O_{2 \text{ TOTAL}}$  = concentração total de oxigênio necessário para os processos de oxidação da matéria orgânica e nitrificação considerando a recuperação de oxigênio advinda da desnitrificação de nitratos.

Segundo Platzer et al. (2007b, p. 6) para dimensionamento baseado na necessidade e oferta de oxigênio para as reações de oxidação, são considerados os seguinte fatores:

- Para a oxidação total de carga orgânica é usado o parâmetro  $DBO_5$  com  $1,2 \text{ g O}_2/\text{g DBO}_5$ ;
- Para a oxidação total de nitrogênio são estimados  $4,3 \text{ g O}_2/\text{g NTK}$ ;
- Para o processo de convecção são considerados  $300 \text{ mg O}_2$  por litro de ar que segue o litro de efluente introduzido na superfície;
- Para o processo de difusão é calculado  $1 \text{ g O}_2/\text{m}^2.\text{h}$ , o número de horas em que ocorre a difusão é condicionado pelo regime de descarga de efluente no *wetland*.

Com os valores de concentração do efluente a ser tratado e os fatores acima deve se dimensionar o *wetland* para que a oferta total de oxigênio seja maior ou igual à necessidade total de oxigênio, relação demonstrada na equação 3.

A seguir são destacadas algumas entre as principais recomendações segundo Hoffmann<sup>3</sup> et al. (2011, apud TIMM, 2015, p. 57) relativas ao dimensionamento e carga aplicada a *wetlands* construídos de fluxo sub superficial vertical:

A área de superfície requerida para esta configuração no Brasil é de cerca de 1,2 metros quadrados por pessoa, variando entre 3 a 4 metros em climas frios e 1 a 2 metros em climas quentes e podendo variar conforme a carga aplicada e demais fatores de influência;

A carga orgânica aplicada deve ser de até  $20 \text{ g/DQO}/\text{m}^2/\text{d}$  em climas frios e de  $60$  a  $70 \text{ g/DQO}/\text{m}^2/\text{d}$  em climas tropicais;

A carga de sólidos deve ser de até  $5 \text{ g}/\text{m}^2/\text{d}$ ;

A carga hidráulica aplicada pode ser de  $120 \text{ mm}/\text{m}^2/\text{dia}$  em climas frios e  $200 \text{ mm}/\text{m}^2/\text{dia}$  em climas tropicais;

### 3.2.3.2 *Wetland* Construído de Fluxo Sub Superficial Horizontal – WCH

Os *wetlands* de fluxo sub superficial de fluxo horizontal segundo Sezerino (2006) são dimensionados empregando a equação de cinética de primeira ordem aplicável a reatores do tipo pistão, aplicados à remoção de matéria orgânica carbonácea.

---

<sup>3</sup> HOFFMAN, H. PLATZER, C. WINKER, M. VON MUENCH E. Technology review of constructed *Wetlands*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Sustainable sanitation – ecosan program. Eschborn, Germany, 2011.

De acordo com Conley et al.<sup>4</sup> (1991, apud SEZERINO, 2006, p. 82) o sistema de *wetland* construído de fluxo sub superficial pode ser dimensionado de acordo com a sequência de equações apresentadas a seguir.

$$C_e/C_o = \exp(-K_T \times t) \quad (\text{equação 3})$$

Sendo:

$C_e$  = concentração efluente em termos de  $DBO_5$  (mg/L);

$C_o$  = concentração afluyente em termos de  $DBO_5$  (mg/L);

$K_T$  = constante de reação da cinética de primeira ordem – dependente de T ( $d^{-1}$ );

t = t = tempo de retenção hidráulico (d).

A constante  $K_T$ , constante de reação de cinética de primeira ordem, é dependente da temperatura e esta deve ser considerada para ajustar a constante para a área que será implantado o sistema. Temperaturas mais baixas interferem na eficiência de remoção da matéria carbonácea. O ajuste é realizado pela equação 4.

$$K_T = K_{20} (1,06)^{T-20} \quad (\text{equação 4})$$

Sendo:

$K_T$  = constante de reação da cinética de primeira ordem – dependente de T ( $d^{-1}$ );

$K_{20}$  = constante de reação a 20 °C ( $d^{-1}$ );

T = temperatura crítica (°C).

O tempo de retenção hidráulico a ser aplicado na equação 3 é função da porosidade do material utilizado como substrato ou meio filtrante no *wetland* e da vazão de projeto diária que se deseja tratar.

---

<sup>4</sup> Conley, L.M., Dick, R.I., Liow, L.W. (1991). An assessment of the root zone method of wastewater treatment. *Research Journal of the WPCF*, v.63, n.3, pp. 239-247.

$$t = n (V/Q) \quad (\text{equação 5})$$

Sendo:

t = tempo de retenção hidráulico (d);

n = porosidade do material filtrante (m<sup>3</sup> vazios / m<sup>3</sup> material);

V = volume do filtro (m<sup>3</sup>),

Q = vazão média no sistema a tratar, m<sup>3</sup>/dia.

Modificando a equação 3, aplicando o logaritmo natural e substituindo a variável 't' pela equação 5, tem-se a equação 6 a seguir.

$$\ln C_e = \ln C_o - K_T \times (V/Q) \times n \quad (\text{equação 6})$$

Sendo:

C<sub>e</sub> = concentração efluente em termos de DBO<sub>5</sub> (mg/L);

C<sub>o</sub> = concentração afluente em termos de DBO<sub>5</sub> (mg/L);

K<sub>T</sub> = constante de reação da cinética de primeira ordem – dependente de T (d<sup>-1</sup>);

V = volume do filtro (m<sup>3</sup>),

Q = vazão média no sistema a tratar, m<sup>3</sup>/dia.

n = porosidade do material filtrante (m<sup>3</sup> vazios / m<sup>3</sup> material).

Substituindo o volume V da equação 6 pela área multiplicada pela profundidade, multiplicando por (-1) e isolando a área A, chega-se a equação 7 em função da área superficial requerida para o *wetland* sub superficial de fluxo horizontal.

$$A = Q \times (\ln C_o - \ln C_e) / K_T \times p \times n \quad (\text{equação 7})$$

Sendo:

A = área superficial requerida (m<sup>2</sup>);

$Q$  = vazão afluente ( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$C_o$  = concentração afluente em termos de  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg}/\text{L} = \text{g}/\text{m}^3$ );

$C_e$  = concentração efluente em termos de  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg}/\text{L} = \text{g}/\text{m}^3$ );

$K_T$  = constante de reação da cinética de primeira ordem – dependente de  $T$  ( $\text{d}^{-1}$ ) obtida pela equação 4;

$p$  = profundidade média do *wetland* (m);

$n$  = porosidade do material filtrante ( $\text{m}^3$  vazios /  $\text{m}^3$  material).

Após o dimensionamento dos *wetlands* construídos de fluxo sub superficial horizontal por meio da equação de cinética de primeira ordem e posterior monitoramento, Sezerino (2006), entre outras considerações, destaca que:

a equação de dimensionamento, em função de cinética de primeira ordem leva em consideração somente o decaimento da  $\text{DBO}_5$ , não sendo possível prever o tempo de vida útil da unidade, ou seja, o tempo anterior ao escoamento superficial e/ou colmatação do material filtrante;

a taxa hidráulica aplicada ( $\text{mm}/\text{d} = \text{L}/\text{m}^2$  de seção transversal.d) é uma relação que deve ser empregada na determinação da área superficial do FPMH;

a negligência quanto ao carregamento de SS, aliado aos modelos de dimensionamento que se reportam à área superficial do filtro plantado, muitas vezes, conduzem à saturação da porção inicial do filtro plantado [...];

[...]

a carga aplicada de SS ( $\text{gSS}/\text{m}^2.\text{d}$ ) define a área perpendicular ao fluxo necessária à manutenção das condições de escoamento [...];

mesmo com grandes variações nas concentrações de SS afluente, [...] o efluente final manteve-se com um baixo desvio padrão, indicando boa absorção a cargas choques;

[...]

mesmo aplicando elevadas cargas de SS, o FPMH apresentou excelente qualidade no polimento de efluente de lagoa facultativa [...];

[...]

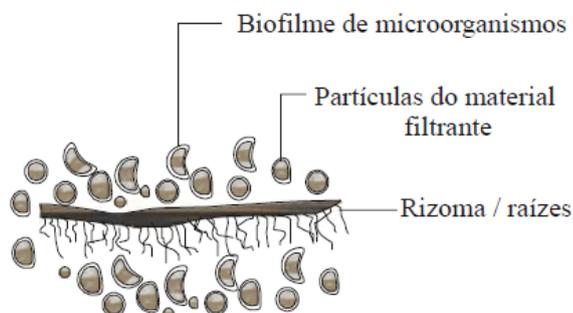
a máxima remoção de nitrogênio amoniacal e fósforo dissolvido reativo no FPMH deram-se concomitantemente com o máximo crescimento das macrófitas (*Typha domingensis*) [...];

a unidade FPMH apresentou reduzida manutenção e operação, requerendo somente a retirada de espécies invasoras, poda das macrófitas e elevação ou rebaixamento do dispositivo de controle de nível durante períodos de estiagem ou intensa precipitação pluviométrica.

### 3.2.4 Substrato

O substrato ou meio suporte é o material utilizado para dar suporte e fixação às raízes das macrófitas emergentes e fixas nos sistemas de *wetland* de fluxo superficial e, para preenchimento, boa distribuição do efluente, filtração, suporte para aderência do biofilme microbiano, desenvolvimento das raízes e fixação das plantas nos *wetlands* construídos de fluxo sub superficial vertical e horizontal.

Figura 6 – Representação esquemática do substrato, rizomas e biofilme aderido



(fonte: SEZERINO, 2006, p. 32)

Sezerino (2006) destaca que buscam-se materiais que mantenham uma boa condutividade hidráulica ao longo do tempo mas que também possuam um potencial reativo para adsorver compostos inorgânicos presentes no efluente a ser tratado. O mesmo autor ressalta a dificuldade de associar estas duas características, exemplificando que materiais filtrantes como o exemplo da areia, possuem boa permeabilidade, mas pouca ou nenhuma capacidade adsorptiva, enquanto argilas possuem essa capacidade, mas são pouco permeáveis.

A manutenção da condutividade hidráulica e permeabilidade do substrato, ao longo do tempo, garantem maior vida útil e eficiência do *wetland* construído, evitando problemas com a colmatação dos leitos (entupimento por deposição de matéria orgânica particulada) e a ocorrência de caminhos preferenciais à percolação do efluente.

Os materiais usualmente empregados são a brita e areia média a grossa. A disposição e camadas dos materiais variam de acordo com o tipo de *wetland* empregado.

A brita é empregada nos filtros mais grosseiros, nos sistemas de dispersão e drenagem do efluente, zonas de entrada e saída dos filtros, respectivamente. “Nos poros e superfície da brita concentram-se processos anaeróbios. Os processos aeróbios acontecem nos espaços entre os fragmentos de pedra. Isso ocorre por introdução do elemento O<sub>2</sub> pelas raízes das plantas ou pela redução do nível do efluente dentro do tanque.” (TIMM, 2015, p.44).

A areia com a zona de raízes e biofilme aderido nestas constitui a zona ativa conforme já referido anteriormente. Segundo Timm (2015), a areia constitui o filtro fino do sistema de *wetland* construído, é nesta área que os poluentes são adsorvidos e decompostos anaerobicamente pelo biofilme aderido na superfície dos grãos de areia. O mesmo autor destaca que não devem ser utilizadas areias de granulometria muito baixa para evitar a colmatação, processo que pode ser facilitado devido à percolação da água de forma mais lenta no filtro composto por substrato de granulometria fina.

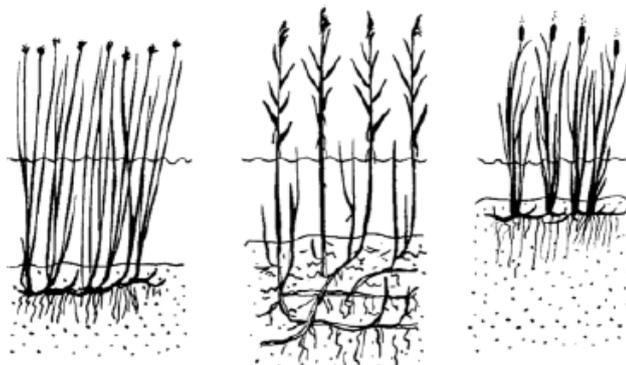
### **3.2.5 Macrófitas**

As macrófitas são plantas características de áreas alagadas ou terrenos encharcados. Elas contribuem com a funcionalidade e eficiência do tratamento de efluentes e esteticamente com apelo visual, aceitação e integração do sistema de tratamento com o ambiente em que este se insere.

As macrófitas podem ser classificadas em emergentes, flutuantes ou submersas.

As emergentes possuem raiz fixa no substrato e parte vegetativa acima de superfície da água. Macrófitas emergentes são empregadas nas áreas de menor profundidade nos *wetlands* de fluxo superficial e muito utilizadas nos *wetlands* construídos de fluxo sub superficial.

Figura 7 – Macrófitas emergentes



(fonte: adaptado de KADLEC; WALLACE, 2009)

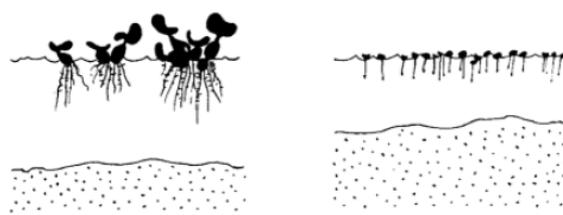
Macrófitas flutuantes e submersas podem ter raízes fixas no substrato ou de vida livre na coluna da água. São empregadas somente nos *wetlands* de fluxo superficial.

Figura 8 – Macrófitas flutuantes fixas



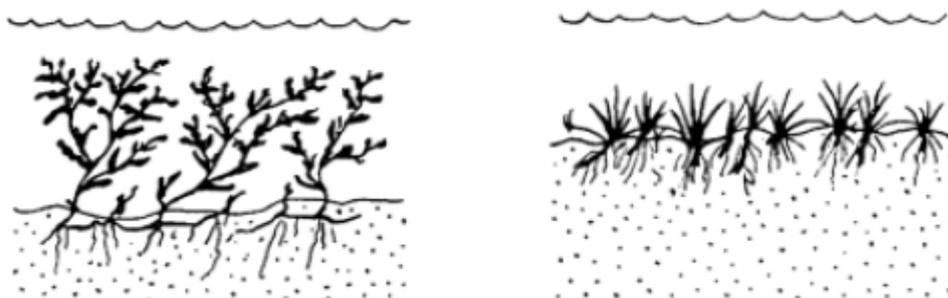
(fonte: adaptado de KADLEC; WALLACE, 2009)

Figura 9 – Macrófitas flutuantes livres



(fonte: adaptado de KADLEC; WALLACE, 2009)

Figura 10 – Macrófitas submersas fixas



(fonte: adaptado de KADLEC; WALLACE, 2009)

As macrófitas possuem a adaptabilidade de transferir através de seus tecidos foliares, o oxigênio necessário aos tecidos da zona radicular, criando um ambiente aeróbio e oxidativo próximo às raízes e inserindo oxigênio no sistema, seja com raízes fixas no substrato ou as flutuantes de vida livre.

UN HABITAT (2008, p. 34) destaca algumas características a serem observadas na escolha de macrófitas para *wetlands* construídos:

- Uso de espécies locais;
- Raízes de penetração profunda, rizomas fortes e em forma de cabeleira;
- Folhas largas, crescimento vegetativo expressivo;
- Aerênquima bem desenvolvido com boa capacidade de aeração das raízes a fim de criar região oxidativa próximo às raízes;
- Elevada área superficial para suporte às populações microbianas.

O ITRC (2003) refere as macrófitas como os principais organismos autotróficos nos *wetlands* construídos, com capacidade para criar uma biomassa de compostos de carbono reduzido que servem de alimento para uma variedade de micro e macro organismos. Possuem também a capacidade de remover nutrientes, microminerais e produtos orgânicos através de absorção biológica e adsorção de superfície.

“A superfície foliar destas espécies apresenta ampla área de trocas gasosas, favorecendo a evapotranspiração e altas taxas fotossintéticas, o que otimiza a produção de biomassa.” (TIMM, 2015, p. 40).

Após se intensificar os estudos e aplicações de sistemas de *wetlands* construídos, Brix<sup>5</sup> (1997, apud SEZERINO, 2006, p. 38) destaca que muitas ações foram atribuídas às macrófitas, dentre elas:

- Estabilização da superfície do filtro;
- Promoção de boas condições para o processo físico de filtração;

---

<sup>5</sup> Brix, H. (1997). Macrophytes play a role in constructed treatment *wetlands*? *Wat. Sci. Tech.*, v.35, n.5, pp. 11-17.

- Prevenção contra a colmatção em filtros de fluxo vertical;
- Aeração da rizosfera (região de contato entre solo e raízes);
- Retirada de nutrientes devido ao requerimento nutricional das plantas;
- Embelezamento paisagístico.

### 3.2.6 Microrganismos

Os microrganismos são parte fundamental do processo de tratamento que ocorre nos *wetlands* construídos. Aderido aos substratos, constituem a zona ativa de filtração, degradação e sorção dos poluentes e nutrientes do efluente a ser tratado.

O tipo de configuração do *wetland* construído, regime de operação, substrato utilizado, condições do afluente e fatores ambientais condicionam e interferem nas complexas relações que ocorrem entre os microrganismos atuantes no processo.

Segundo Bento (2000), assim como os outros seres vivos, os microrganismos são classificados em autotróficos e heterotróficos de acordo com as necessidades energéticas e nutricionais. Os autotróficos sintetizam substâncias orgânicas a partir de substratos inorgânicos (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) e os heterotróficos necessitam de substratos orgânicos para obter a energia necessária ao seu metabolismo.

Schaechter et al. (2010, p. 104) destacam a importância dos microrganismos no processo cíclico dos principais elementos da matéria viva – carbono, nitrogênio, enxofre e fósforo, referidos como participantes indispensáveis destes processos.

Phillipi e Sezerino<sup>6</sup> (2004 apud SEZERINO, 2006, p. 42) afirmam que no tratamento biológico de efluentes, as bactérias são as principais responsáveis pela degradação. Nos *wetlands* construídos elas desempenham três papéis básicos: a oxidação da matéria carbonácea, a nitrificação e a desnitrificação.

---

<sup>6</sup> PHILIPPI, Luiz Sérgio; SEZERINO, Pablo Heleno. **Aplicação de sistemas tipo *wetlands* no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis/SC: Edição do Autor, 2004. v. 1. 144 p

Sezerino (2006) relata que as bactérias constituem o grupo mais representativo, mas também estão presentes e desempenham papel fundamental no processo, os componentes da microfauna – protozoários e micrometazoários. “A presença desses organismos pode ser utilizada como indicador biológico das condições e eficiência do sistema, tendo em vista que a microfauna pode ser facilmente observada ao microscópio óptico” (BENTO, 2000, p. 38).

Bento (2000, p. 18) destaca que:

A maior parte dos processos e tratamento de esgotos inclui a depuração biológica, isto é, a estabilização dos compostos orgânicos por atividade de microrganismos aeróbios ou anaeróbios. Além das bactérias, responsáveis diretas por esta estabilização, existe um número muito grande de outros organismos com interesse no processo, especialmente protozoários, micrometazoários e algas.

Os benefícios da microfauna, composta por protozoários e micrometazoários, são relatados por Bento (2000) que destaca:

- Remoção de bactérias e sólidos em suspensão contribuindo para clarificação do efluente;
- Degradação da matéria orgânica e conseqüente redução de DBO<sub>5</sub> do efluente;
- Interação com outros organismos e mantendo o equilíbrio ecológico do sistema;
- Contribuem para a manutenção da população de bactérias saudáveis;
- Atuam na recirculação de nutrientes minerais;
- Aumentam a penetração de oxigênio no filtro, prevenindo condições anaeróbias;
- Favorecem o balanço ecológico do sistema.

### 3.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS

Este subitem irá abordar as resoluções a nível federal e estadual que versam sobre a classificação dos corpos hídricos e condições e padrões de lançamento de efluentes em águas superficiais destacando os pontos e parâmetros de interesse deste trabalho.

Estas resoluções estabelecem limites de concentração para diversos parâmetros e níveis de eficiência de acordo com potencial poluidor e vazão lançada.

São abordadas as normas que versam sobre projeto, construção e operação de fossas sépticas e unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos.

A legislação brasileira não possui lei ou norma específica sobre licenciamento ou o dimensionamento e uso de *wetlands* construídos para tratamento e/ou polimento de águas residuárias.

### 3.3.1 Resolução CONAMA Nº 357/2005

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.” (BRASIL, 2005, p. 1).

Entre suas considerações iniciais, a Resolução CONAMA nº 357 destaca que:

[...] a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável;

[...]

[...] o enquadramento expressa metas finais a serem alcançadas, que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas;

[...]

[...] o controle da poluição está diretamente relacionado a proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida, levando em conta os usos prioritários e classes de qualidade ambiental exigidos para um determinado corpo de água.

Esta resolução versa sobre as águas doces, salobras e salinas do território nacional e classifica-as segundo usos preponderantes em treze classes de qualidade.

As águas doces são classificadas em classe especial, 1, 2, 3 e 4 segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes definidos na referida resolução. Sendo classe especial a de

melhor qualidade e a classe 4 de pior qualidade, destinada somente à navegação e à harmonia paisagística. O artigo 13 define que nas águas de classe especial devem ser mantidas as condições naturais do corpo de água.

Os padrões de lançamento que eram definidos no capítulo IV desta resolução, foram revogados pela Resolução N<sup>o</sup> 430, de 13 de maio de 2011 que complementa e altera a Resolução N<sup>o</sup> 357/2006. As condições e padrões de lançamento efluentes a nível federal são atualmente definidos pela Resolução N<sup>o</sup> 430/2011.

No quadro 6 são apresentadas as condições e padrões de qualidade da água das classes de 1 a 4 das águas doces. São apresentadas somente as classes de água doce e os parâmetros que estão relacionados com os efluentes de esgotamento sanitário. A lista completa dos parâmetros pode ser consultada na íntegra do documento.

Quadro 6 – Condições e padrões de qualidade das águas doces nas classes 1,2,3 e 4  
– CONAMA N<sup>o</sup> 357/2005

Resolução CONAMA 357/2005					
Parâmetro	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg O <sub>2</sub> /L	3	5	10	
<b>OD</b>	mg O <sub>2</sub> /L	6	5	4	2
<b>Colif. Termotolerantes</b>	NMP/100mL	200	1000	2500	
<b>Turbidez</b>	UNT	40	100	100	
<b>Óleos e graxas</b>	mg/L	virtualmente ausentes			iridescências
<b>Materias Flutuantes</b>		virtualmente ausentes			
<b>pH</b>	NMP/100mL	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
<b>Sólidos Dissolvidos Totais</b>	mg/L	500	500	500	
<b>Fósforo total</b>	mg P/L	0,1	0,1	0,15	
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	mg N/L pH ≤ 7,5	3,7	3,7	13,5	
	mg N/L para 7,5 < pH ≤ 8,0	2	2	5,6	
	mg N/L para 8,0 < pH ≤ 8,5	1	1	2,2	
	mg N/L para pH > 8,5	0,5	0,5	1	
<b>Nitrato</b>	mg N/L	10	10	10	

(fonte: adaptado de CONAMA 357/2005)

### **3.3.2 Resolução CONAMA Nº 430/2011**

A Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011 “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.” (BRASIL, 2011, p. 1).

Esta resolução estabelece que na inexistência de legislação ou normas específicas, disposições de órgão ambiental competente ou diretrizes dos operadores dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos, o lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deve atender aos padrões definidos nesta resolução.

Em seu Art. 3º, define que “Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostas nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.” (BRASIL, 2011, p. 1).

A norma define lançamento direto quando o efluente é conduzido diretamente ao corpo receptor, o lançamento indireto é definido “[...] quando ocorre a condução do efluente, submetido ou não a tratamento, por meio de rede coletora que recebe outras contribuições antes de atingir o corpo receptor;” (BRASIL, 2011, p. 2).

O efluente lançado em corpos de água não pode exceder as condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, sendo vedada a disposição de efluentes de quaisquer fontes, mesmo que tratados, em águas enquadradas como classe especial.

Na Seção III são definidas as condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, estas condições e padrões específicos são apresentados no quadro 7 a seguir.

Quadro 7 – Condições e padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitário – CONAMA Nº 430/2011

Parâmetros	CONAMA 430/2011
<b>DBO<sub>5</sub></b>	máx. 120 mg O <sub>2</sub> /L ou 60 % eficiência
<b>pH</b>	5 a 9
<b>Temperatura</b>	< 40 °C
<b>Mat. Sedimentáveis</b>	até 1 mL/L em teste de 1 hr em cone Imhoff
<b>Óleos e graxas</b>	até 100 mg/L
<b>Materias Flutuantes</b>	ausência

(fonte: adaptado de CONAMA 430/2011)

### 3.3.3 Resolução CONSEMA Nº 128/2006

A Resolução CONSEMA Nº 128/2006 “Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul” (CONSEMA, 2006, p. 1).

Entre suas considerações iniciais destacam-se a necessidade de readequação da forma de controle e fiscalização, levando em conta a natureza das atividades geradoras, a condição atual das águas superficiais e a necessidade de preservar a qualidade ambiental, da saúde pública e dos recursos naturais quanto ao lançamento de efluentes líquidos nas águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul.

A resolução CONSEMA 128/2006 foi revogada temporariamente pela Resolução CONSEMA 276/2013. Esta resolução define no seu Art. 1º que “Ficam suspensas as Resoluções CONSEMA 128 e 129/2006, em caráter excepcional, para fins de condições e padrões de lançamento de efluentes líquidos domésticos dos sistemas públicos de tratamento de esgoto sanitário;” (CONSEMA, 2013, p. 1).

Durante o período de revogação, deveriam ser observados os padrões definidos na Resolução CONAMA Nº 430/2011. A suspensão foi definida para o período de três anos e após este prazo se iniciaria nova discussão sobre esta resolução.

Porém, a Resolução CONSEMA 276/2013 foi revogada antes do período, de três anos, previsto, pela Resolução CONSEMA 292/2015. A Resolução CONSEMA 292/2015 determina a observância e vigência novamente da Resolução CONSEMA 128/2006.

Nos quadros 8 e 9 a seguir são apresentados os padrões de emissão correntes para efluentes domésticos em função da vazão de lançamento.

Quadro 8 – Padrões de emissão para os parâmetros DBO<sub>5</sub>, DQO e SS em função da vazão de lançamento

Faixa de vazão	DBO <sub>5</sub>	DQO	SS
m <sup>3</sup> /d	mg O <sub>2</sub> /L	mg O <sub>2</sub> /L	mg/L
Q < 20	180	400	180
20 ≤ Q < 100	150	360	160
100 ≤ Q < 200	120	330	140
200 ≤ Q < 500	100	300	100
500 ≤ Q < 1000	80	260	80
1000 ≤ Q < 2000	70	200	70
2000 ≤ Q < 10.000	60	180	60
10.000 ≤ Q	40	150	50

(fonte: adaptado de CONSEMA 128/2006)

Quadro 9 – Padrões de emissão para os parâmetros Fósforo e Coliformes Termotolerantes ou Escherichia coli – Concentração ou eficiência mínima em função das vazões referidas

Faixa de vazão	Fósforo Total		Coliformes termotolerantes	
	mg/L	Eficiência %	NMP/100 mL	Eficiência %
Q < 200	-	-	-	-
200 ≤ Q < 500	-	-	10 <sup>6</sup>	90
500 ≤ Q < 1000	-	-	10 <sup>5</sup>	95
1000 ≤ Q < 2000	3	75	10 <sup>5</sup>	95
2000 ≤ Q < 10.000	2	75	10 <sup>4</sup>	95
10.000 ≤ Q	1	75	10 <sup>3</sup>	99

(fonte: adaptado de CONSEMA 128/2006)

No Art. 22 da Resolução CONSEMA nº 128/2006 fica definido que para qualquer vazão de lançamento de efluentes deve ser atendido o padrão de 20 mg/L para Nitrogênio Amoniacal.

### 3.3.4 NBR 7.229/1993

A NBR 7.229/1993 – Projeto, construção e operação de tanques sépticos, estabelece as condições para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, incluindo o tratamento e disposição dos efluentes e lodo sedimentado.

O sistema de tanque séptico é indicado para áreas desprovidas de rede pública coletora de esgoto, alternativa de tratamento de esgoto em áreas providas de rede coletora local e para retenção prévia de sólidos sedimentáveis.

Nesta norma são definidos os parâmetros para o correto dimensionamento do tanque séptico, como número de pessoas, contribuição diária por pessoa e intervalo entre limpezas do lodo acumulado no interior do tanque.

Também são definidos os materiais a serem utilizados, de acordo com a resistência mecânica e química necessária, distâncias de pontos de interesse (árvores, limites do terreno, pontos de captação de água, etc), geometria, distâncias internas mínimas, dispositivos de entrada e saída, procedimentos construtivos, inspeção da estanqueidade dos tanques e manutenções à serem realizadas.

### **3.3.5 NBR 13.969/1997**

A NBR 13.969/1997 – Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação, visa oferecer alternativas de unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos de tanque séptico.

Esta norma traz como alternativas de unidades de tratamento complementar o filtro anaeróbio, filtro aeróbio submerso, filtro de areia, vala de infiltração, lodo ativado por batelada (LAB) e lagoa com plantas.

São apresentadas as faixas de remoção e as características principais de cada uma das alternativas, além do dimensionamento, características dos materiais, operação e especificidades de cada unidade para facilitar a escolha quanto à alternativa que melhor se adeque às necessidades do usuário.

Para disposição final dos efluentes de tanque séptico, são citadas as valas de infiltração, canteiro de infiltração e de evapotranspiração, sumidouro, galeria de águas pluviais, águas superficiais e reuso local, observando os limites estabelecidos nesta mesma norma e nas legislações federais, estaduais e municipais.

## 4 IMPLANTAÇÃO

Este capítulo traz a descrição de como ocorreu o trabalho de implantação dos *wetlands* construídos de fluxo sub superficial vertical e horizontal – Sistema Híbrido (CWHib). É apresentada a metodologia, caracterização da área, dimensionamento, materiais utilizados, etapas de construção, resultados dos ensaios de granulometria realizados com os materiais do meio suporte e custos envolvidos.

### 4.1 METODOLOGIA

A metodologia baseou-se em adaptar o sistema doméstico de tratamento secundário de águas residuárias composto por fossa séptica seguida de filtro anaeróbio e posterior destino ao sistema de drenagem pluvial público e escoamento para o Arroio São Lourenço, corpo receptor.

Este sistema foi adaptado para que os efluentes passassem por polimento para melhoria da qualidade através de um *wetland* construído híbrido – WCHib, que combina dois *wetlands* de fluxo sub superficial, um vertical seguido de horizontal, configurando um sistema híbrido ou combinado, antes de ser encaminhado para o sistema de drenagem pluvial e descarte no corpo hídrico.

As figuras a seguir exemplificam a condição anterior e atual, após a implantação do *Wetland* Construído Híbrido – WCHib.

Figura 11 – Esquema do sistema de tratamento anteriormente utilizado



(fonte: do autor)

Figura 12 – Esquema do sistema de tratamento doméstico atual



(fonte: do autor)

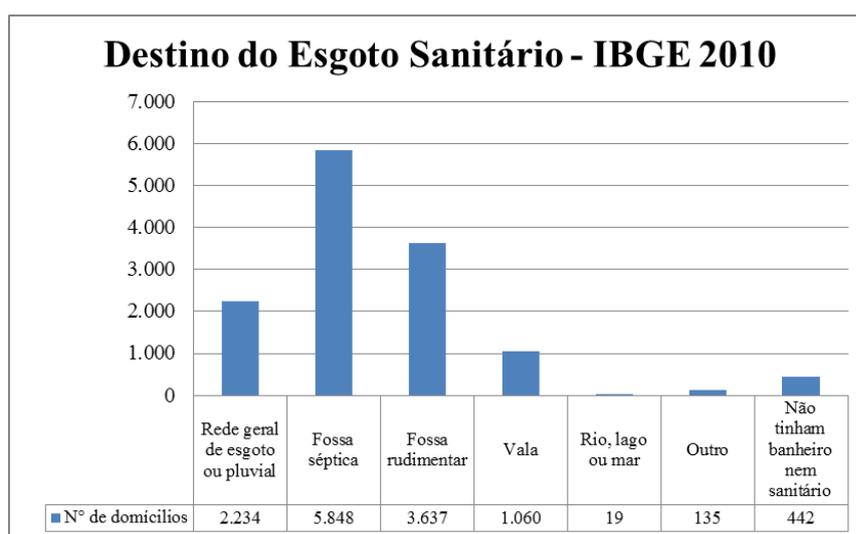
## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O sistema híbrido foi construído para atender ao tratamento dos efluentes domésticos gerados em uma residência com três moradores fixos, na cidade de São Lourenço do Sul, zona sul do estado do Rio Grande do Sul, localizada às margens da Laguna dos Patos.

O município atualmente não conta com coleta por separador absoluto e tratamento dos esgotos sanitários gerados na área urbana.

A maioria das residências utiliza como forma de tratamento, tanques sépticos, seguidos ou não de filtro anaeróbio, e os efluentes destes destinados a sumidouros, a rede de drenagem implantada ou valos abertos em locais em que esta ainda não foi implantada.

Figura 13 – Destino do esgoto sanitário em São Lourenço do Sul – IBGE 2010



(fonte: adaptado de IBGE 2010)

O principal corpo receptor dos esgotos sanitários é o Arroio São Lourenço, arroio que nasce no interior do município, atravessa a área urbana e tem sua foz na Laguna dos Patos.

Neste arroio é realizada a captação de água bruta pela Corsan para abastecimento da área urbana e a localidade de Boqueirão, localizada no interior do município, à 15 km da sede. O ponto de captação fica localizado a montante da área urbana do município, antes dos lançamentos pontuais de esgotos sanitários e águas de drenagem pluvial urbana.

Os últimos 5 km do Arroio São Lourenço tem área urbanizada e o aporte de esgoto sanitário se dá de forma mais intensa. As figuras 14 e 15 apresentam o mesmo segmento do Arroio São Lourenço em datas distintas.

Na figura 14, observa-se a presença excessiva de plantas aquáticas, indicando processo de eutrofização do corpo hídrico, caracterizado pelo crescimento excessivo de plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, à níveis que comprometam os usos desejáveis do corpo d'água. Segundo Von Sperling (1995), “[...] o principal fator de estímulo é um nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente nitrogênio e fósforo.”, nutrientes relacionados aos descartes irregulares e falta de tratamento dos esgotos sanitários. Como consequências do processo de eutrofização citam-se: problemas estéticos e recreacionais; condições anaeróbias no fundo do corpo d'água e, eventualmente, como um todo; eventuais mortandades de peixes; maior dificuldade e elevação dos custos de tratamento de água; e redução na navegação e capacidade de transporte do corpo d'água.

Figura 14 – Arroio São Lourenço em situação de eutrofização, com lâmina superficial tomada por macrófitas em 09/05/2015



(fonte: do autor)

Figura 15 – Arroio São Lourenço em situação de normalidade quanto à presença de macrófitas em 22/10/2016



(fonte: do autor)

De acordo com GAMA (2016), a classificação atual do Arroio São Lourenço da nascente até a foz, é corpo hídrico Classe 4 em toda sua extensão. Segundo GAMA (2015), na foz do Arroio São Lourenço foi constatada contaminação de origem urbana e rural.

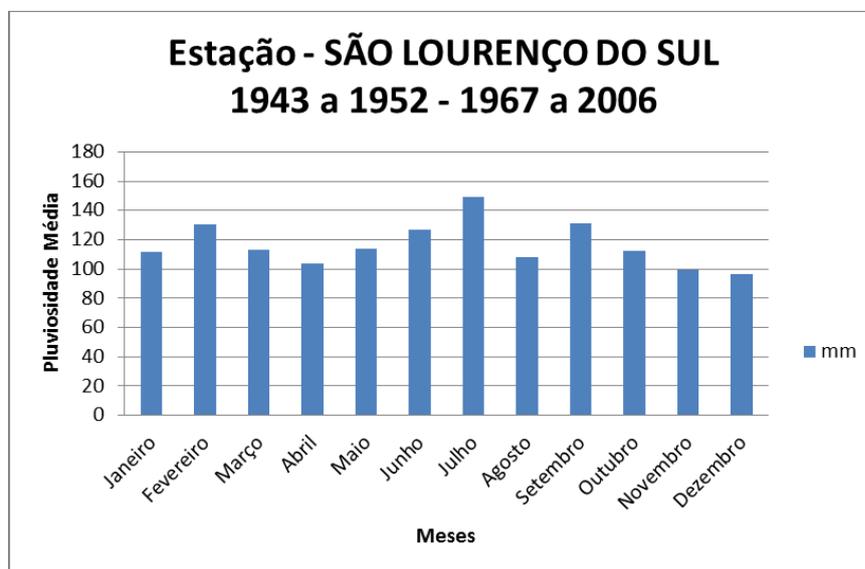
Conforme Relatório de Enquadramento (GAMA, 2016) realizado na elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, este arroio foi enquadrado de acordo com os usos atuais

e previstos como Classe 2, e conforme já referido, a classificação atual em toda sua extensão é como corpo hídrico de Classe 4.

No relatório de enquadramento dos corpos hídricos que compõe a bacia do Rio Camaquã (GAMA, 2016), foi estabelecida para o Arroio São Lourenço etapa intermediária Classe 3 no ano de 2030 e Classe 2 no ano de 2035.

A pluviosidade média mensal foi calculada a partir dos dados obtidos pelo Portal do Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas – ANA. Foram utilizados os dados consistidos da estação código 03151003, localizada no município de São Lourenço do Sul, nas coordenadas de latitude 31°22'3" S e longitude 51°59'12" O. A estação possui dois períodos distintos de dados consolidados devido a um período de 15 anos sem monitoramento, entre os anos de 1952 e 1967. Para fins de média mensal, foram considerados os dois períodos com dados consolidados fornecidos. A figura 16 apresenta o gráfico com as médias mensais de pluviosidade obtidas com base nos períodos em que haviam dados consistidos para a estação em questão.

Figura 16 – Pluviosidade média mensal – Estação São Lourenço do Sul



(fonte: ANA, adaptado pelo autor)

As coordenadas de localização do *wetland* construído híbrido – WCHib são latitude 31°22'18,7"S e longitude 51°59'27,0"W, obtidas com exatidão de localização de 20 metros.

A área em que foi implantado o *wetland* híbrido possui declividade natural de aproximadamente 7%. Esta característica foi determinante para a opção de uso por um modelo híbrido, combinando um *wetland* de fluxo sub superficial vertical e horizontal. Pela declividade do terreno foi possível configurar hidráulicamente o sistema, para que a saída do módulo vertical alimentasse o módulo horizontal somente por ação da gravidade, sem a necessidade de uso de energia.

A figura 17 apresenta a localização do *wetland* híbrido e o ponto de descarga da rede pluvial, a distância entre os pontos, é de aproximadamente 340 metros.

Figura 17 – Localização do *wetland* híbrido e ponto de descarga



(fonte: Google Earth, adaptado pelo autor)

As fotos a seguir apresentam o ponto de descarga no corpo receptor destacado na figura 17.

Figura 18 – Ponto de descarga de esgoto sanitário e drenagem pluvial



(fonte: do autor)

Figura 19 – Ponto de descarga no Arroio São Lourenço



(fonte: do autor)

### 4.3 DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento foi baseado no critério de área superficial por habitante indicado pela publicação “Arranjos Tecnológicos para Tratamento de Esgotos Sanitários de Forma Descentralizada” (BRASIL, 2014).

Esta publicação indica que a relação área/habitante varia de 0,8 a 1,5 m<sup>2</sup>/habitante e pode ser utilizada para dimensionamento de *wetlands* de fluxo sub superficial vertical, ressaltando que devem ser observados os parâmetros de vazão, carga de DQO e carga de NTK.

Não foram realizadas amostras do efluente a ser tratado antes de ser implementado o sistema de *wetland* construído híbrido. Para contornar esse limitante, se buscou na literatura os parâmetros médios de efluente, oriundo de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio, para verificar se este atendia às condicionantes impostas para aplicação do método área/habitante. Chernicharo et al. (2006, p. 75) traz as concentrações médias de efluentes oriundos de diferentes sistemas e arranjos para tratamento de esgotos sanitários. O sistema composto por tanque séptico + filtro anaeróbio apresenta qualidade média de efluente para DQO entre 100-200 mg/L e para NTK > 20 mg/L.

Estes valores médios são menores que os valores indicados pela publicação BRASIL (2014), como parâmetros para o efluente de entrada, possibilitando assim que se utilize da relação área/habitante para dimensionamento do *wetland* construído vertical.

O cálculo da vazão de projeto foi feito com base no consumo médio de água da residência em dezesseis meses. O volume consumido mensal foi obtido por meio das contas de água emitidas pela prestadora de serviço de abastecimento de água potável no município. Com base no resultado chegou-se a uma média diária de consumo e multiplicou-se este valor por 0,8, considerando que 80% do volume de água consumido retorna como esgoto sanitário. A tabela 1 traz os dados mensais e as médias calculadas.

Tabela 1 – Consumo médio de água e geração de esgoto doméstico

Mês	Consumo	Dias de Consumo	Consumo diário	Consumo per capita	Esgoto gerado	Esgoto gerado	Esgoto gerado
	(m <sup>3</sup> )	(dias)	(m <sup>3</sup> /dia)	(m <sup>3</sup> /dia.pessoa)	(m <sup>3</sup> /mês)	(m <sup>3</sup> /dia)	(m <sup>3</sup> /dia.pessoa)
mar/15	13	28	0,464	0,155	10,4	0,371	0,124
abr/15	19	33	0,576	0,192	15,2	0,461	0,154
mai/15	17	30	0,567	0,189	13,6	0,453	0,151
jun/15	8	32	0,25	0,083	6,4	0,2	0,067
jul/15	11	30	0,367	0,122	8,8	0,293	0,098
ago/15	9	29	0,31	0,103	7,2	0,248	0,083
set/15	12	33	0,364	0,121	9,6	0,291	0,097
out/15	10	30	0,333	0,111	8	0,267	0,089
nov/15	12	29	0,414	0,138	9,6	0,331	0,11
jan/16	19	33	0,576	0,192	15,2	0,461	0,154
fev/16	20	30	0,667	0,222	16	0,533	0,178
mar/16	10	28	0,357	0,119	8	0,286	0,095
abr/16	14	33	0,424	0,141	11,2	0,339	0,113
mai/16	18	28	0,643	0,214	14,4	0,514	0,171
jun/16	10	33	0,303	0,101	8	0,242	0,081
ago/16	11	29	0,379	0,126	8,8	0,303	0,101
<b>Média</b>	<b>13,313</b>	<b>30,5</b>	<b>0,437</b>	<b>0,146</b>	<b>10,65</b>	<b>0,35</b>	<b>0,117</b>

(fonte: elaborada pelo autor)

Foi adotado, de forma conservadora e por não haver restrição de área no terreno, o maior valor da relação área/habitante indicado, 1,5 m<sup>2</sup>/habitante. Somado a isto, optou-se por considerar mais um habitante no dimensionamento devido à população flutuante da residência. Totalizando assim, quatro habitantes e uma área superficial necessária de 6 m<sup>2</sup>.

Por questões estéticas e melhor aproveitamento do terreno, optou-se por um módulo com 2 metros de largura e três metros de comprimento e 0,8 metro de profundidade. Este módulo é

destinado ao *wetland* construído de fluxo sub superficial vertical (WCV), definido como Módulo I – WCV.

O módulo II, possui as mesmas medidas que o módulo I, porém a profundidade escavada deste módulo é maior, totalizando uma diferença entre o nível inicial, ponto de desvio do efluente do filtro anaeróbio, de 1,06 metros. O segundo módulo é destinado ao *wetland* construído de fluxo sub superficial de fluxo horizontal (WCH), definido como Módulo II – WCH.

Foi realizado somente o dimensionamento do primeiro módulo do *wetland* construído híbrido, o *wetland* de fluxo sub superficial vertical (WCV). Ao dimensionar este módulo, de acordo com as recomendações, espera-se que o efluente apresente melhora considerável, e o módulo II seguinte, *wetland* construído de fluxo sub superficial horizontal (WCH), realize o polimento do efluente com melhora da DBO, turbidez e desnitrificação. O módulo II – WCH, não foi dimensionado através das metodologias já referidas, somente foram adotadas as mesmas dimensões superficiais do módulo I – WCV. Não foi realizado o dimensionamento do módulo II – WCH, pela incerteza da eficiência e redução da concentração dos parâmetros de entrada, oriundos do módulo I – WCV.

#### 4.4 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados para implantação do *wetland* construído híbrido são listados a seguir no quadro 10. Excluindo-se a manta de PELBD (Polietileno Linear de Baixa Densidade) necessária para dar estanqueidade ao sistema e evitar a contaminação do solo e águas subterrâneas e a caixa de passagem utilizada na saída, os outros materiais não requerem maiores especificidades e são de fácil aquisição em qualquer comércio de materiais de construção.

Quadro 10 – Materiais utilizados

Materiais Utilizados	
Geomembrana PELBD 0,8 mm	Junção esg 75 mm
Areia Grossa	TEE esg 75 mm
Brita 2	TEE esg 75x50
Brita 1	Bucha esg 75x50
Caixa de passagem	Joelho esg 90x75 mm
Prolongador Cx. Passagem	Joelho esg 45x75 mm
Manta BIDIM	Tubo de cola
Cx sifonada	Tubo esg 75 mm
Tampa cega	Tubo esg 50 mm
Luva 50-40 mm	Mangueira transparente p/ medir nível
Luva 100 mm	Pá de corte
Joelho 90x100mm esg	Pá de concha
Bucha 100x50	Carrinho de mão
CAP esg 100 mm	Trena
Adap 50x1 1/2 c/ anel	Soprador ou fonte de calor para encaixe dos canos
Adap 50x1 1/2	Furadeira
CAP esg 75 mm	Broca 8 mm

(fonte: elaborado pelo autor)

Devido à necessidade de a caixa de passagem ser instalada no mesmo nível do sistema de drenagem, instalado junto ao fundo do módulo II, as caixas de passagem e gordura disponíveis no mercado não se adequaram a esta aplicação, pois não possuíam prolongador, com comprimento suficiente, para alcançar o nível original do solo. A caixa de passagem e os prolongadores de material que garantisse a estanqueidade, e com as dimensões necessárias, foram comprados diretamente do fabricante.

#### 4.5 CONSTRUÇÃO

Neste sub capítulo são relatadas as etapas realizadas para implantação dos *wetlands* construídos de fluxo sub superficial vertical e horizontal, WCV e WCH, respectivamente, que compõe o *wetland* construído híbrido – WCHib.

Serão abordadas as etapas de escavação dos tanques, colocação da geomembrana, montagem e instalação dos sistemas de distribuição e drenagem do efluente, a composição das camadas dos substratos, plantio das espécies de macrófitas e detalhes finais da construção.

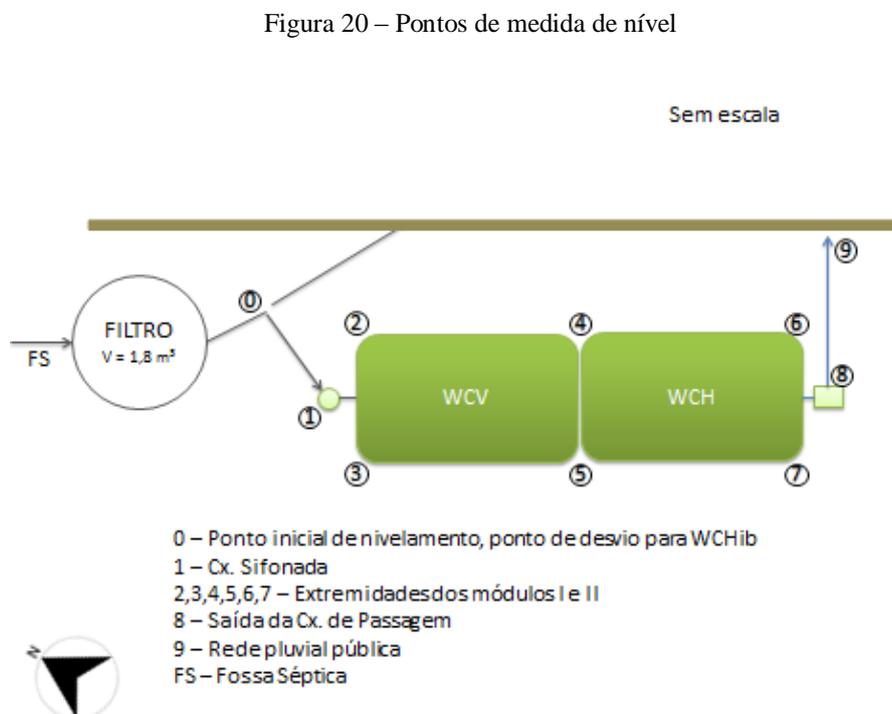
### 4.5.1 Escavação e impermeabilização

Após definir o dimensionamento necessário para o *wetland* híbrido foi escolhido o local em que o sistema seria implantado. Para escolha do local foi considerada a declividade do terreno para que a alimentação do afluente, percolação e escoamento interno no sistema e a saída do efluente ocorressem por ação da gravidade.

Definido o local e demarcadas as dimensões do sistema com estacas no solo, foi realizada a medição de nível em cada ponto com o uso de uma mangueira de pedreiro (transparente), com água dentro, pelo método de vasos comunicantes.

O ponto inicial de interesse foi o nível do cano que direcionava os efluentes do filtro anaeróbico para a rede pluvial pública. A partir deste ponto foram nivelados os pontos de instalação da caixa sifonada, os seis pontos do entorno do *wetland* híbrido, o ponto de saída da caixa de passagem no final do sistema e o nível do cano da rede pluvial pública instalada para destino do efluente tratado.

O esquema da figura 20 abaixo identifica os pontos de interesse e as unidades mencionadas.



(fonte: elaborado pelo autor)

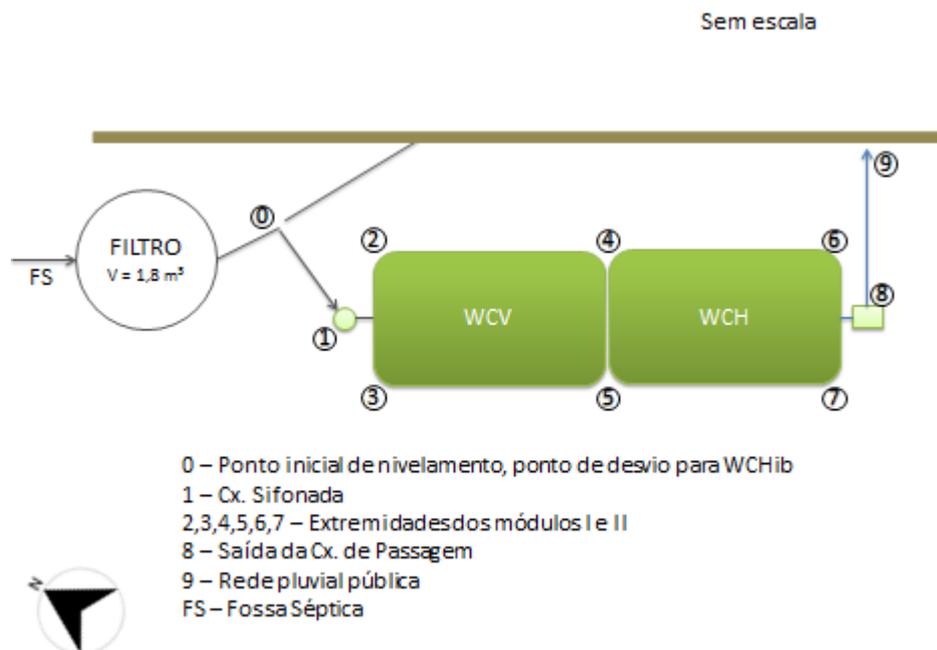
Foi adotada a declividade de 1% entre as unidades do sistema. Isso confere que a cada metro de distância entre as unidades, a diferença de nível deve ser de 1 cm.

Ao nivelar todos os pontos de interesse do sistema, foi possível definir a profundidade que deve ser escavada para alcançar a profundidade necessária para cada extremidade dos módulos I e II, WCV e WCH, respectivamente.

A escavação se deu de forma manual, com uso de pá de corte e carrinho de mão para retirar o volume de solo para local mais distante da cava demarcada.

O esquema abaixo demonstra o desnível entre os pontos de interesse de forma que se mantivesse o caimento de 1% entre todas as entradas e saídas.

Figura 21 – Pontos de interesse e desnível necessário



0 – nível de referência; 1 – entrada da caixa sifonada; 2 – entrada do efluente; 3 – profundidade inicial do WCV;  
 4 – profundidade final do WCV; 5 – profundidade inicial do WCH; 6 – profundidade final do WCH; 7 – saída do efluente da caixa de passagem; 8 – entrada do efluente na rede pluvial pública

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 22 – Início da etapa de escavação



(fonte: do autor)

Figura 23 – Evolução dos trabalhos de escavação



(fonte: do autor)

Figura 24 – Término do processo escavação –  
Vista da entrada



(fonte: do autor)

Figura 25 – Término do processo de escavação  
– Vista da saída



(fonte: do autor)

Devido ao volume de solo a ser retirado, as escavações foram realizadas em diferentes momentos, ficando a cava aberta por um período de aproximadamente um mês entre o início do trabalho e a instalação da geomembrana de PELBD. Neste período ocorreram chuvas e se verificou o acúmulo e drenagem de água da chuva dentro da cava, e a ausência de qualquer tipo de afloramento de água no local.

Ao término das escavações foi verificada a profundidade das extremidades de entrada e saída dos módulos com a utilização da mangueira de nível. Também foi verificada a diferença de 3 cm entre entrada e saída dos módulos para garantir o caimento de 1%, e fixada um tronco de eucalipto, utilizado para compartimentar os dois módulos.

Foi utilizado um tronco, de aproximadamente 10 cm de diâmetro, de uma árvore de eucalipto. Este fixado com oito estacas, de aproximadamente 80 cm encravadas no solo, quatro em cada extremidade.

Esta técnica, para compartimentação dos módulos com uso de um tronco de eucalipto, foi utilizada anteriormente para compartimentar dois módulos de *wetlands* construídos de fluxo sub superficial vertical na Oficina Consciência Ambiental (OCA), na cidade de Canela/RS (informação verbal)<sup>7</sup>.

Figura 26 – Vista do tronco utilizado para compartimentar os módulos I e II



(fonte: do autor)

Figura 27 – Detalhe das estacas utilizadas para fixar o tronco de eucalipto



(fonte: do autor)

Após ter fixado este guia, foi colocada a tira de PELBD de 0,8 mm para garantir a estanqueidade do sistema e evitar a contaminação do solo e infiltrações indesejadas ao sistema. Esta tira possui as dimensões de 5,90 metros de largura por 11 metros de comprimento.

<sup>7</sup>Essa informação foi colhida no “Curso Saneamento Ecológico”, repassada pelo ministrante, biólogo e permacultor, Jeferson Müller Timm, nos dias 16 e 17 de julho de 2016, no Instituto de Meio Ambiente e Permacultura DATERRA, Estância Velha – RS.

Para a colocação deste material foi necessário um número mínimo de quatro pessoas. Devido à diferença de profundidade entre os módulos e a falta de maleabilidade da tira, devido sua espessura, houve dificuldade para realizar as dobraduras do material nos cantos, para que a instalação resultasse em um aspecto visual melhor. Foi dada atenção para que o material cobrisse bem os cantos, ficasse bem assentado e em contato com o solo para evitar bolsões de ar e se criassem pontos de fragilidade ou ruptura, por punção da geomembrana de PELBD pelo material de preenchimento do tanque.

Figura 28 – Geomembrana e vista do WCHib



(fonte: do autor)

Figura 29 – Geomembrana instalada no local



(fonte: do autor)

#### 4.5.2 Montagem dos sistemas de alimentação e drenagem

Os sistemas de distribuição do afluente e drenagem do efluente foram confeccionados com canos de PVC de 75 mm.

Para perfuração dos canos de distribuição foi demarcada uma linha longitudinal nos canos de PVC (sobre a linha do fabricante e especificações do material) e atravessado o cano perpendicularmente à direção de fluxo para que se criassem furos nivelados.

O sistema de distribuição do WCV foi feito em espinha de peixe, com oito braços de 1 metro, quatro braços para cada lado. Os braços de 1 metro foram perfurados com uso de furadeira e broca de 8 mm, com distância aproximada de 10 cm entre os furos.

Para alimentação do WCH são utilizados dois braços de 80 centímetros e a distribuição ocorre somente na parte inicial do filtro, instalados sobre a brita número 2, para melhor dispersão, e evitar caminhos preferenciais.

Os sistemas de distribuição dos efluentes devem ser nivelados, garantindo assim que o efluente seja disperso uniformemente sobre as camadas do meio suporte. Este cuidado garante maior aproveitamento do volume do *wetland*, evita a ocorrência de caminhos preferenciais e diminui a possibilidade de colmatção do substrato.

Figura 30 – Detalhes dos furos perpendiculares ao fluxo



(fonte: do autor)

Figura 31 – Vista do sistema de distribuição do WCH



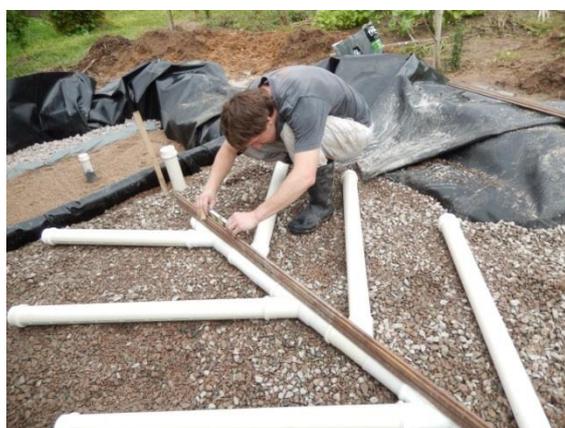
(fonte: do autor)

Figura 32 – Sistema de alimentação do WCV em espinha de peixe



(fonte: do autor)

Figura 33 – Detalhe do nivelamento do sistema de alimentação



(fonte: do autor)

Figura 34 – Sistema de alimentação do WCH



(fonte: do autor)

Figura 35 – Vista do sistema de alimentação do WCH sobre colchão de brita 2 na entrada



(fonte: do autor)

Para os sistemas de drenagem foram feitos furos, também com broca de 8 mm, de forma aleatória, sem preocupação dos furos ficarem nivelados entre si. Os sistemas de drenagem não necessitam de maiores preocupações quanto à disposição dos furos, desde que em quantidade suficiente para drenar o efluente, devido à operação ocorrer de forma afogada nas duas configurações adotadas, WCV e WCH. O sistema de drenagem do WCV foi projetado de uma forma que permita um ponto de acesso, para a coleta de amostras, antes de encaminhar o efluente para o módulo II – WCH.

Figura 36 – Detalhe da furação aleatória para os sistemas de drenagem



(fonte: do autor)

Figura 37 – Instalação do sistema de drenagem do WCH



(fonte: do autor)

Figura 38 – Vista do sistema de drenagem do WCV e alimentação do WCH



(fonte: do autor)

Figura 39 – Sistema de drenagem do WCV sobre camada inicial de brita 2



(fonte: do autor)

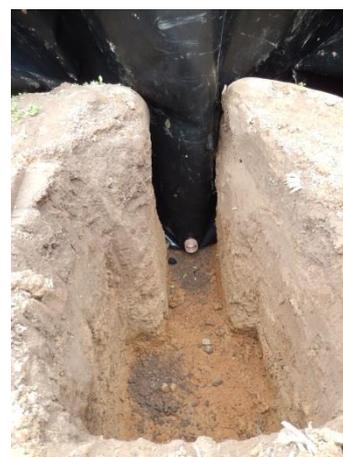
Para a instalação dos sistemas de alimentação e drenagem, foi necessário perfurar a manta de PELBD. Essa instalação é realizada, utilizando adaptadores (flange). Devido aos custos e a dificuldade de encontrar adaptadores de 75 mm, foram utilizados adaptadores de 50 mm. Estas peças são utilizadas nas entradas e saídas de caixas de água. São rosqueadas e possuem um anel de vedação. Devido a esta característica, se prestam para vedar a entrada, ponto entre os módulos I e II e a saída da manta de PELBD, garantindo que não ocorram vazamentos.

Figura 40 – Detalhe do corte da geomembrana



(fonte: do autor)

Figura 41 – Instalação do adaptador (flange)



(fonte: do autor)

Figura 42 – Detalhe do adaptador instalado entre o WCV e WCH



(fonte: do autor)

Figura 43 – Detalhe do adaptador na saída do WCV



(fonte: do autor)

Devido ao uso de canos de 75 mm para alimentação e drenagem, na entrada e saída dos adaptadores, foi necessário utilizar buchas de 50 para 75 mm, e de 50 para 100 mm na saída do WCHib para a entrada na caixa de passagem.

### 4.5.3 Composição das camadas de substrato

Colocada a geomembrana de PELBD e instalados os adaptadores, o próximo passo é a colocação dos substratos que irão compor o sistema de drenagem. Para o sistema em questão foi encomendado brita 2 devido a sua granulometria maior que a brita normalmente utilizada em obras, para evitar problemas com entupimentos ao longo do tempo e garantir uma maior vida útil do WCHib.

O material entregue, apresentou uma granulometria superior ao que se esperava ao encomendar a brita 2. Porém, como o material seria destinado ao sistema de drenagem do WCV e aos colchões de entrada e saída do WCH, de material mais grosseiro, optou-se por utilizar este material.

Após uma camada de aproximadamente 3-5 cm de brita 2 para cobrir toda área onde será instalado o sistema de drenagem, assenta-se o sistema de drenagem dos dois módulos que compõe o *wetland* construído híbrido – WCHib. Após é colocado o restante do material até que se atinja a espessura desejada da camada de drenagem.

A disposição desta camada difere quanto ao tipo de *wetland* e à direção de fluxo adotada.

No WCV, a camada de drenagem preenche todo o fundo com uma espessura de 20 cm.

Figura 44 – Camada inicial e sistema de drenagem do WCV assentado



(fonte: do autor)

Figura 45 – Término da composição da camada de drenagem do WCV



(fonte: do autor)

No WCH, a camada de drenagem é composta por 2 metros de largura, 50 centímetros de comprimento e 60 centímetros de altura e preenche parte volume final do tanque, no caso um volume de 2,0 x 0,5 x 0,6, totalizando 0,6 m<sup>3</sup> de material.

Figura 46 – Ponto de conexão do sistema de drenagem do WCH



(fonte: do autor)

Figura 47 – Composição da camada de drenagem na porção final do WCH



(fonte: do autor)

Para evitar que as camadas de drenagem sejam colmatadas pela entrada de areia devido ação da gravidade e ao fluxo do efluente durante o funcionamento do sistema, é utilizado um geotêxtil<sup>8</sup> para separar as camadas de substrato.

Figura 48 – Geotêxtil recobrindo camada de drenagem – WCV



(fonte: do autor)

Figura 49 – Geotêxtil instalado entre colchão de drenagem e areia grossa – WCH



(fonte: do autor)

A camada seguinte é composta pela areia grossa, responsável pela filtração física, adsorção de contaminantes, meio para desenvolvimento das raízes das macrófitas e meio suporte para aderência do biofilme. É considerada a zona ativa de tratamento dos filtros.

Nas duas configurações de filtro este substrato desempenha papel semelhante, embora no filtro vertical sejam favorecidas as reações aeróbias e no filtro de escoamento horizontal essa zona seja anaeróbia e anóxica. WCH possui zonas aeróbias próximas aos rizomas das macrófitas devido ao transporte de oxigênio realizado pelas plantas até os seus tecidos inferiores.

Esta camada é problemática para os efeitos de colmatção do filtro, devido ao tamanho das partículas da areia utilizada, do mal dimensionamento, do carregamento orgânico efluente ou de um efluente com muitas partículas sólidas. O fluxo pode ser muito lento, facilitando com que ocorra o processo de “entupimento” (colmatção) e o surgimento de fluxo superficial indesejado nos filtros.

<sup>8</sup> Essa informação foi colhida no “Curso Saneamento Ecológico”, repassada pelo ministrante, biólogo e permacultor, Jeferson Müller Timm, nos dias 16 e 17 de julho de 2016, no Instituto de Meio Ambiente e Permacultura DATERRA, Estância Velha – RS.

Uma forma de prevenir que esse problema ocorra, é evitar o uso de areias com partículas muito finas. Para prevenção deste problema, antes do início dos trabalhos, foi realizada a encomenda de areia grossa dos fornecedores locais. A areia fornecida, assim como a brita 2 supracitada acima, apresentou granulometria superior ao esperado.

Novamente foi avaliado que este substrato poderia ser utilizado, embora pudesse haver uma perda na capacidade de filtração física, a granulometria superior garantiria menores problemas com colmatção dos filtros e favoreceria os processos de difusão de oxigênio pela superfície.

No módulo I – WCV, foi colocada sobre o geotêxtil uma camada de 50 centímetros de espessura em toda extensão do filtro, apresentando um volume total de 3 m<sup>3</sup> de material (2,0x3,0x0,5).

Figura 50 – Composição da camada de areia grossa – WCV



(fonte: do autor)

Figura 51 – Término da camada de areia grossa no WCV



(fonte: do autor)

No módulo II – WCH, foi utilizado geotêxtil somente entre a areia grossa e o colchão de drenagem localizado na parte inferior (saída) do filtro. Neste filtro, a área de 2 x 2 metros do filtro de areia grossa foi preenchida também com uma camada de 50 centímetros de areia, totalizando um volume de 2 m<sup>3</sup>. Para construção do WCH, as camadas de brita 2, na saída e entrada, e o espaço do filtro de areia grossa foram construídos de forma conjunta para que se mantenham as dimensões planejadas e os materiais não se misturem.

Figura 52 – Preenchimento do filtro de areia grossa – WCH



(fonte: do autor)

Figura 53 – Término da camada de areia grossa – WCH



(fonte: do autor)

Sobre as camadas de areia grossa dos dois módulos, foi colocada uma última camada de substrato de 10 centímetros de brita 1. Esta camada é responsável pela fixação das macrófitas, encobrimento do sistema de alimentação e maior dispersão do efluente no WCV e para fixação das macrófitas e evitar o aparecimento de lâmina de água caso ocorra problemas de colmatção no WCH.

Figura 54 – Camada de brita 1 no entorno do sistema de alimentação – WCV



(fonte: do autor)

Figura 55 – Camada de brita 1 – WCH



(fonte: do autor)

Figura 56 – Camada de brita 1 pronta, recobrimdo todo sistema de alimentação – WCV



(fonte: do autor)

Figura 57 – Camada de brita 1 pronta sobre camada de areia grossa – WCH



(fonte: do autor)

Realizada a composição das camadas de substratos no módulo I – WCV e módulo II – WCH e, conseqüentemente a instalação dos sistemas de alimentação e drenagem, resta apenas o plantio das macrófitas selecionadas, ligação de entrada e saída do efluente e acabamentos.

#### 4.5.4 Macrófitas utilizadas

As macrófitas foram escolhidas pela presença de flores, adaptabilidade ao meio saturado, presença de aerênquimas e proximidade com o local em que foi implantado o *wetland* construído híbrido.

Foram escolhidas inicialmente quatro espécies a serem aplicadas no WCHib: copo de leite, taboa, junco e taioba. No segundo plantio ocorrido, foram acrescidas as espécies sagitária e biri.

O quadro 11 a seguir, apresenta as macrófitas empregadas no *wetland* construído híbrido, com nomenclatura científica e nome popular.

Quadro 11 – Macrófitas empregadas no *Wetland* Construído Híbrido – WCHib.

Macrófitas	
Nome científico	Nome popular
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Copo de Leite
<i>Typha</i> spp.	Taboa
<i>Juncus</i> spp.	Junco
<i>Xanthosoma</i> sp.	Taioba Roxa
<i>Sagittaria montevidensis</i>	Sagitária
<i>Canna indica</i>	Biri

(fonte: KADLEC & WALLACE (2009), TIMM (2015), ZANELLA (2008))

Excetuando as mudas de taioba roxa, as outras mudas foram utilizadas simultaneamente sobre toda área superficial do módulo I e sobre a camada de brita 1, do módulo II. O cuidado observado à locação das mudas de taioba roxa, deveu-se ao crescimento e porte que esta espécie apresenta, para que não sombreasse e interferisse no desenvolvimento e crescimento das mudas das outras espécies.

Assim, com uso de uma bússola, foi definido o sentido norte, e plantadas as mudas de taioba roxa na “extremidade sul” do *wetland* construído híbrido. Observando este condicionante, estas mudas foram plantadas próximo à zona de saída do WCH.

Procurou-se alocar as mudas de forma que se criasse um perfil decrescente, das espécies de porte maior para menor, no sentido norte. Dessa forma, a distribuição da energia solar sobre as mudas de macrófitas se dá de forma mais uniforme, e as espécies maiores não causam sombreamento sobre as espécies menores.

Para o plantio foram utilizadas cavas de aproximadamente 15 centímetros de profundidade, até ser observada umidade nas camadas de substratos inferiores.

Foram plantadas, em média, quatro mudas por m<sup>2</sup> de área superficial, totalizando assim, aproximadamente 40 mudas.

O primeiro plantio ocorreu no dia 11 de setembro de 2016. Foi necessário refazer o plantio devido a não adaptação das mudas, principalmente no WCV. No WCH onde o nível de efluente permanece mais próximo à superfície, houve uma melhor resposta das mudas plantadas.

As mudas que não responderam ao primeiro plantio foram retiradas e repostas. Este segundo plantio foi realizado no dia 22 de outubro de 2016 e, além da substituição das mudas mortas, foram acrescidas outras duas espécies encontradas em áreas alagadas próximas ao local onde foi implantado o *wetland* construído híbrido. As duas espécies incluídas são a sagitária e a canna indica, devido à adaptabilidade ao meio saturado, presença de flores, aerênquima e raiz em forma de cabeleira.

Para o primeiro plantio das mudas foi realizada a lavagem e poda das raízes, e poda da parte aérea. No segundo plantio, as raízes foram somente lavadas, sendo realizada uma poda menos drástica, com intuito de facilitar à pega. A parte aérea também foi mantida e, retiradas, posteriormente, as folhas que murcharam e não se restabeleceram após transplante de local.

As fotos, a seguir, mostram os locais de coleta, as mudas e a realização do plantio.

Figura 58 – Local de coleta de Copo de Leite



(fonte: do autor)

Figura 59 – Local de coleta de Junco



(fonte: do autor)

Figura 60 – Local de coleta de Biri



(fonte: do autor)

Figura 61 – Local de coleta de Taboa e Sagitária



(fonte: do autor)

Figura 62 – Local de coleta de taioba roxa



(fonte: do autor)

Figura 63 – Detalhe do aerênquima de taioba roxa



(fonte: do autor)

Figura 64 – Detalhe do aerênquima de sagitária



(fonte: do autor)

Figura 65 – Detalhe do aerênquima de junco



(fonte: do autor)

Figura 66 – Detalhe do aerênquima da Taboa



(fonte: do autor)

Figura 67 – Detalhe do aerênquima de copo de leite



(fonte: do autor)

Figura 68 – Plantio de mudas WCH – 22 out. de 2016



(fonte: do autor)

Figura 69 – Plantio de mudas WCV – 22 out. de 2016



(fonte: do autor)

Figura 70 – Vista do WCV após 2º plantio



(fonte: do autor)

Figura 71 – Vista do WCH após 2º plantio



(fonte: do autor)

#### 4.5.5 Conexão de entrada e saída e acabamento

A conexão hidráulica de entrada e saída foi realizada no dia 11 de setembro de 2016, data em que iniciou o funcionamento do *wetland* construído híbrido – WCHib.

Como dispositivo de entrada foi utilizado uma caixa sifonada para facilitar futuras coletas de amostras. Desta caixa sifonada o efluente flui por gravidade para o sistema de distribuição em espinha de peixe na parte superior do WCV.

A alimentação ocorre no momento em que os efluentes gerados são transportados até a fossa séptica e filtro anaeróbio, onde ocorre a transferência de carga para o WCHib. Assim o módulo I – WCV não é alimentado por batelada devido à possibilidade de alimentação por gravidade, e sem o uso de energia elétrica para este fim.

Figura 72 – Caixa sifonada na entrada do WCHib



(fonte: do autor)

Figura 73 – Conexão de entrada do efluente no WCHib



(fonte: do autor)

A saída do WCHib ocorre através do adaptador (flange), mencionado anteriormente, para uma caixa de passagem por cano de 100 mm.

Nesta caixa de passagem é regulada a altura da lâmina de efluente dentro do módulo II – WCH. Este controle ocorre através de um monjolo, composto por um joelho de 90° e um pedaço de cano aberto na extremidade que regula o nível do tanque até que o efluente tratado verta para dentro da caixa de passagem. Da caixa de passagem o efluente é encaminhado por ação da gravidade para a rede pluvial urbana e posterior descarte no corpo receptor.

Na extremidade do cano, que faz a ligação entre a caixa de passagem e a rede pluvial, foi utilizado um joelho de 90° dentro da caixa de passagem, para que este funcione como um selo hídrico, evitando odores dos esgotos sanitários destinados à rede pluvial pública.

Figura 74 – Caixa de passagem e conexão de saída do *wetland* construído híbrido



(fonte: do autor)

Figura 75 – Vista interna caixa de passagem. Monjolo para controle de nível e selo hidráulico para evitar odores



(fonte: do autor)

Optou-se pelo uso de uma caixa de passagem na saída do WCHib, devido à possibilidade de rebaixar o nível de efluente dentro do módulo II – WCH, quando necessário. Caso ocorram problemas de colmatção, pode-se baixar o nível de efluente até o nível de saída da caixa de passagem para a rede pluvial, o que possibilita a aeração da camada superior do módulo II – WCH.

Os acabamentos realizados consistem em, fazer morros de terra por baixo da geomembrana de PELBD, para criar uma borda no entorno do tanque e enterrar as sobras da manta, para dar o acabamento e melhorar o aspecto visual da obra.

Figura 76 – Acabamento parcialmente realizado



(fonte: do autor)

Figura 77 – Borda de terra e cava para enterrar sobre da geomembrana



(fonte: do autor)

Figura 78 – Acabamento WCH



(fonte: do autor)

Figura 79 – Acabamento WCV



(fonte: do autor)

A borda no tanque evita que o escoamento superficial do entorno escorra para dentro do WCHib. Este escoamento superficial tem potencial para carrear sedimentos e assim aumentariam as chances de colmatação e diminuição da vida útil do sistema.

A figura, a seguir, mostra o sistema localizado no terreno, após o término das atividades de implantação e acabamento do WCHib, e desenvolvimento das macrófitas, no dia 13 de novembro de 2016, aproximadamente dois meses após a instalação do sistema.

Figura 80 – Aspecto final do *Wetland* Construído Híbrido implantado no lote



(fonte: do autor)

#### 4.6 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DOS SUBSTRATOS

Para caracterização dos substratos utilizados foi realizado o ensaio de granulometria por peneiras para os três tipos de substratos utilizados nas diferentes camadas do *wetland* construído híbrido. A saber, brita 2, brita 1 e areia grossa.

Mesmo que o material adquirido não se enquadre nestas classificações como já mencionado anteriormente, ele será referido por esta nomenclatura ao longo do texto para facilitar a identificação.

O ensaio foi realizado no dia 06 de outubro de 2016 no Laboratório de Sedimentos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O ensaio foi conduzido por técnico do laboratório e acompanhado por este autor.



De acordo com esta norma, 87,2% da amostra de areia grossa, na verdade é classificada como pedregulho fino, com grãos compreendidos entre 2,0 mm e 6,0 mm.

Somente 8,56% da amostra está na faixa de areias grossas, compreendida entre 0,6 a 2,0 mm.

O  $D_{10}$  desta amostra é 1,90 mm e o  $D_{60}$  é 4,85 mm.

O coeficiente de uniformidade, de acordo com a mesma NBR, é obtido da relação entre  $D_{60}$  e o  $D_{10}$  amostra. O coeficiente de uniformidade deste substrato é  $D=2,55$ , classificado dentro da faixa de solos uniformes.

A brita 1 tem 93,5% da amostra classificada como pedregulho médio, com grãos compreendidos entre 6,0 mm e 20,0 mm. O restante da amostra são pedregulhos finos.

O  $D_{10}$  desta amostra é 8,89 mm e o  $D_{60}$  é 16,16 mm. O coeficiente de uniformidade deste substrato é  $D=1,82$ , também classificado como uniforme, quando  $D < 5$ .

Da análise granulométrica da amostra de brita 2 não foi possível realizar a plotagem da curva granulométrica pois foram obtidos somente dois pontos. Na primeira peneira, de malha 26,67 mm, ficou retida 73,4% da amostra, e na peneira seguinte, de malha 19,1 mm, ficou retido os 26,6% restantes da amostra.

Foi realizada a medição individual das partículas retidas na malha de 26,67 mm para classificar o material entre tamanho mínimo e máximo. Nenhuma das partículas retidas na primeira peneira, de malha 26,67 mm, apresentou tamanho maior que 90,00 mm.

De acordo com a NBR 6502/1995, este substrato é classificado como Pedregulho Grosso, com grãos compreendidos entre 20,0 mm e 60,0 mm e Pedra de mão, com fragmento de rocha compreendido entre 60,0 mm e 200,0 mm.

#### 4.6 CUSTOS

Os custos totais envolvidos na implantação do *wetland* construído híbrido são apresentados na tabela 2, estes valores são referidos ao mês de setembro do ano de 2016. Foram contabilizados os gastos com materiais e mão de obra contratada (dois pedreiros por meio turno). Na tabela abaixo não constam os custos da fossa séptica e filtro anaeróbio, pois estes já estavam instalados no local anteriormente.

Tabela 2 – Custos de implantação do *Wetland* Construído Híbrido – WCHib

Material	Quantidade	Unidade	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)	% Total
Geomembrana PELBD 0,8 mm	64,9	m <sup>2</sup>	13,95	905,33	32,9
Areia Grossa	6	m <sup>3</sup>	70	420	15,3
Brita 2	3,5	m <sup>3</sup>	95	332,5	12,1
Brita 1	1	m <sup>3</sup>	90	90	3,3
Caixa de passagem	1	pç	92,9	92,9	3,4
Prolongador Cx. Passagem	2	pç	62,9	125,8	4,6
Manta BIDIM	6	m	9,9	59,4	2,2
Cxsifonada	1	pç	18,5	18,5	0,7
Tampa cega	1	pç	17,8	17,8	0,6
Luva 50-40 mm	1	pç	2,5	2,5	0,1
Luva 100 mm	1	pç	4,4	4,4	0,2
Joelho 90x100mm esg	4	pç	5,1	20,4	0,7
Bucha 100x50	2	pç	4,2	8,4	0,3
CAP esg 100 mm	1	pç	4	4	0,1
Adap 50x1 1/2 c/ anel	3	pç	17,85	53,55	1,9
Adap 50x1 1/2	3	pç	2,4	7,2	0,3
CAP esg 75 mm	18	pç	4,78	86,04	3,1
Junção esg 75 mm	8	pç	9,75	78	2,8
TEE esg 75 mm	4	pç	8,04	32,16	1,2
TEE esg 75x50	1	pç	8,04	8,04	0,3
Bucha esg 75x50	4	pç	4	16	0,6
Joelho esg 90x75 mm	2	pç	3,5	7	0,3
Joelho esg 45x75 mm	1	pç	4,3	4,3	0,2
Tubo de cola	1	pç	5,5	5,5	0,2
Metro tubo esg 75 mm	24	m	8,44	202,56	7,4
Metro tubo esg 50 mm	1,5	m	5,7	8,55	0,3
Mão de obra	2	pedreiros	70	140	5,1
TOTAL <i>Wetland</i> Construído Híbrido				2750,83	
*Muda de macrófita (Copo de leite)	40	muda	8,33	333,33	
*Custo de mudas de macrófitas, caso não houvesse possibilidade de coleta em sítios naturais					
Obs: Valores referidos ao mês de setembro de 2016.					

(fonte: do autor)

Ao analisarmos os gastos, o custo mais representativo é o da geomembrana de PELBD de 0,8 mm, utilizada para dar estanqueidade ao sistema e evitar a contaminação do solo e águas subterrâneas.

Considerando os três itens de maior representatividade sobre o montante total, a geomembrana e os substratos (areia grossa e brita 2) são responsáveis por 60,3% do custo despendido.

Isto implica que sistemas não tão conservadores quanto ao que foi implantado (com maior valor indicado para relação área/habitante), podem ter uma redução considerável, caso sejam dimensionados para somente um módulo, ou considerado um valor menor para o parâmetro área/habitante no momento do dimensionamento.

Cabe ressaltar, que caso não houvesse possibilidade de coleta de macrófitas em sítios naturais, as mudas necessárias ao sistema, resultariam em um acréscimo de 11% ao valor do *wetland* construído híbrido implantado.

Caso fosse adotada a recomendação de 1,5 m<sup>2</sup> por habitante, considerado somente os moradores fixos da residência e a construção de somente o módulo I – WCV, a área superficial necessária seria de 4,5 m<sup>2</sup>. Esta menor área superficial reduziria os custos envolvidos na aquisição da geomembrana, areia grossa e brita 2. O custo total estimado para implantação de um sistema de WCV com 5 m<sup>2</sup> de área superficial para atender 3 moradores, baseado somente no parâmetro de área/habitante, seria de aproximadamente R\$ 1.170,00. Reduzindo a área superficial para 1m<sup>2</sup> por morador fixo, o custo total estimado para a implantação de um único módulo de WCV, seria R\$ 985,00. A tabela 3 a seguir, apresenta os custos estimados para as diferentes configurações de sistemas de *wetlands* construídos quanto à área superficial.

Tabela 3 – Custos de implantação de diferentes configurações de *Wetlands* Construídos

Tipo de sistema	Custo Total (R\$)
TOTAL <i>Wetland</i> Construído Híbrido	2750,83
TOTAL <i>Wetland</i> Construído Vertical - 5 m <sup>2</sup>	1172,52
TOTAL <i>Wetland</i> Construído Vertical - 3 m <sup>2</sup>	985,00
Obs: Valores referidos ao mês de setembro de 2016	

(fonte: do autor)

## 5 ANÁLISES E DADOS MONITORADOS

O foco do trabalho não é o monitoramento ou eficiência de sistema adaptado devido ao período reduzido de operação e o baixo número de amostragens realizadas.

Porém, foram realizadas algumas amostras para acompanhar o período inicial de operação do sistema e os resultados obtidos são apresentados neste capítulo.

Os parâmetros analisados foram baseados nos trabalhos já publicados sobre o tema e parâmetros estabelecidos na legislação para lançamento em corpos hídricos superficiais e enquadramento destes.

Os parâmetros avaliados e os limites estabelecidos para lançamento de efluentes nas Resoluções CONSEMA 128 e CONAMA 430, e os limites para enquadramento de corpos hídricos Classe 2 estabelecido na CONAMA 357, na qual está enquadrado o corpo receptor, são apresentados no quadro 12, a seguir.

Quadro 12 – Parâmetros e limites estabelecidos na legislação referente a efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários e enquadramento de cursos de água

Parâmetro	Unidade	CONSEMA 128	CONAMA 430	CONAMA 357, Classe 2
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg O <sub>2</sub> /L	180,0	120,0	5,0
<b>OD</b>	mg O <sub>2</sub> /L			5,0
<b>DQO</b>	mg O <sub>2</sub> /L	400,0		
<b>SS</b>	mg/L	180,0		
<b>Colif. Termot./E. coli</b>	NMP/100mL	10 <sup>5</sup>		1000
<b>Turbidez</b>	UNT			100
<b>pH</b>		6 a 9	5 a 9	6 a 9
<b>Fósforo</b>	mg P/L			0,1
<b>NTK</b>	mg NTK/L	20,0		
<b>Nitrato</b>	mg N/L			10,0
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	mg/L	20,0		
<b>Temperatura</b>	°C	< 40	< 40	

(fonte: do autor)

No dia 13 de outubro de 2016, aproximadamente um mês após o início da operação do *wetland* construído híbrido no local, foram coletadas amostras na entrada, saída do *wetland* construído vertical (WCV) e na saída do *wetland* construído híbrido para uma avaliação

preliminar do sistema implantado. Foram avaliados os parâmetros de turbidez e DQO do efluente.

Os resultados obtidos nesta primeira amostragem e eficiência na redução dos parâmetros avaliados, são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da primeira avaliação – 13/10/2016

Parâmetro	Unidade	Amostra			Eficiência %	
		Entrada	WCV	Saída	WCV	Saída
<b>DQO</b>	mg/L O <sub>2</sub>	241,6	147,2	98,1	39%	59%
<b>Turbidez</b>	NTU	46,1	10,6	5,19	77%	89%

(fonte: do autor)

A segunda amostragem ocorreu no dia 17 de novembro de 2016, após 66 dias de operação. Nas doze horas anteriores à coleta do efluente para análise, houve evento de chuva com acumulado de aproximadamente 14 mm, medidos com uso de pluviômetro instalado no lote, localizado a aproximadamente 5 metros do WCHib.

A amostragem dos parâmetros temperatura, oxigênio dissolvido e pH ocorreu às sete horas da manhã, e foram medidos no local, com equipamento e sonda YSI, antes da coleta das amostras para análise em laboratório. Os resultados são apresentados na tabela 5. A tabela 6 apresenta os resultados obtidos na segunda amostragem, em comparação com os padrões estabelecidos para lançamento de efluentes nas legislações CONSEMA 128 e CONAMA 430, e enquadramento do corpo receptor de acordo com a CONAMA 357.

Observa-se que foram atendidos todos os parâmetros estabelecidos nas legislações CONSEMA 128 e CONAMA 430, para lançamento de efluentes de estações de tratamento de esgoto doméstico. Quanto à Resolução CONAMA 357, que estabelece padrões muito restritivos, não foram atendidos os parâmetros de DBO<sub>5</sub>, oxigênio dissolvido (OD), fósforo e nitrato, estabelecidos para corpos hídricos classe 2.

As análises das amostras, nas duas datas, foram realizadas no Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico (LADETEC) no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Tabela 5 – Resultados da segunda avaliação – 17 nov. 2016

Análise	Unidade	Wetland Construído Híbrido			Eficiência %	
		Entrada	WCV	Saída	WCV	Saída
<b>DQO</b>	mg/L O <sub>2</sub>	180,3	98,6	76,1	45,3	57,8
<b>DBO</b>	mg/L O <sub>2</sub>	43	26	15	39,5	65,1
<b>OD</b>	mg/L O <sub>2</sub>	3,96	3,12	2,95		
<b>SS</b>	mg/L	294	166	128	43,5	56,5
<b>Sólidos Totais</b>	mg/L	364	179	185	50,8	49,2
<b>Sólidos Totais Fixos</b>	mg/L	341	190	151	44,3	55,7
<b>Sólidos Totais Voláteis</b>	mg/L	292	154	138	47,3	52,7
<b>pH</b>		7,47	7,33	7,49		
<b>Sólidos Suspensos Totais</b>	mg/L	70	13	57	81,4	18,6
<b>Sólidos Suspensos Fixos</b>	mg/L	6	2	4	66,7	33,3
<b>Sólidos Suspensos Voláteis</b>	mg/L	11	6	5	45,5	54,5
<b>Amônia</b>	mg/L N - NH <sub>3</sub>	7,3	16,2	12,2		
<b>Nitrato</b>	mg/L N - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,007	10,461	10,204		
<b>NTK</b>	mg/L - NH <sub>3</sub>	23,8	16,3	12,9	31,5	45,8
<b>Fósforo Total</b>	mg/L P - PO <sub>4</sub> -3	7,452	5,846	5,03	21,5	32,5
<b>Coliformes Totais</b>	NMP/100mL	1,73E+06	6,49E+04	2,42E+04	96,3	98,6
<b>Coliformes Fecais</b>	NMP/100mL	1,26E+05	1,48E+03	7,38E+02	98,8	99,4
<b>Turbidez</b>	NTU	32,8	3,94	1,94	88	94,1
<b>Temperatura</b>	°C	22,6	22,7	23		

(fonte: do autor)

Tabela 6 – Resultados da segunda amostragem, comparada com legislações vigentes

Parâmetro	Unidade	CONSEMA 128	CONAMA 430	CONAMA 357 Classe 2	Wetland Construído Híbrido	
					WCV	Saída
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg O <sub>2</sub> /L	180,0	120,0	5,0	26,0	15,0
<b>OD</b>	mg O <sub>2</sub> /L			5,0	3,12	2,95
<b>DQO</b>	mg O <sub>2</sub> /L	400,0			98,6	76,1
<b>SS</b>	mg/L	180,0			166,0	128,0
<b>Colif. Termot./E. coli</b>	NMP/100mL	10 <sup>5</sup>		1000	1,48E+03	7,38E+02
<b>Turbidez</b>	UNT			100	3,94	1,94
<b>pH</b>		6 a 9	5 a 9	6 a 9	7,33	7,49
<b>Fósforo</b>	mg P/L			0,1	5,85	5,03
<b>NTK</b>	mg NTK/L	20,0			16,3	12,9
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	mg/L	20,0			16,2	12,2
<b>Nitrato</b>	mg N/L			10,0	10,46	10,20
<b>Temperatura</b>	°C	< 40	< 40		22,7	23

(fonte: do autor)

A figura 84, abaixo, apresenta os efluentes na entrada do WCHib, após WCV e na saída do WCHib, apenas para fins de comparação visual dos efluentes.

Figura 84 – Efluente na entrada do WCHib, após WCV e na saída do WCHib



(fonte: do autor)

## 6 DISCUSSÃO

Realizada a construção e acompanhado o período inicial de operação do *wetland* construído híbrido, foram observados alguns aspectos que serão apontados a seguir.

A geomembrana de PELBD (polietileno linear de baixa densidade) de 0,8 mm se adequou à aplicação, apresentando resistência elevada, garantindo segurança quanto a rompimento por punção ou carga do material utilizado como substrato. Quanto à maleabilidade para instalação e acabamento, a espessura do material dificultou a instalação nos cantos dos tanques escavados e na realização das dobraduras das sobras laterais para enterramento e acabamento das bordas dos tanques. O fabricante possuía a alternativa de geomembrana de 0,5 mm de espessura, que garantiria maior maleabilidade para instalação e acabamento, porém, o mesmo indica o uso de geomembrana de 0,8 mm para confecção de tanques estanques para efluentes sanitários.

Após os primeiros dias de funcionamento do sistema, foi verificada a presença de poça de água permanente na cava realizada para a conexão da saída do sistema do WCHib com a caixa de passagem, utilizada para instalação do monjolo para regular o nível de água dentro do WCH e encaminhar o efluente para a rede pluvial pública.

Esta poça resultava de vazamentos nas conexões da bucha de 50/100 de saída do WCHib com o cano de 100 mm, e na conexão deste cano com a caixa de passagem. Para resolução deste problema foi necessário retirar a caixa de passagem, substituir e refazer a luva do cano de 100 mm para conexão com a bucha 50/100 mm e utilizar adesivo de PVC para selar a conexão de entrada na caixa de passagem.

Figura 85 – Poça de água resultante dos vazamentos



(fonte: do autor)

Figura 86 – Vazamento estancado após substituição do cano e vedação das conexões



(fonte: do autor)

Figura 87 – Bucha de 50/100



(fonte: do autor)

Figura 88 – Detalhe da conexão na caixa de passagem após uso cola adesiva para PVC



(fonte: do autor)

Realizados estes procedimentos, o vazamento foi contido e observado nos dias seguintes, a inexistência de poça de água na cava deixada aberta para verificar a estanqueidade do sistema e possíveis vazamentos.

Quanto às macrófitas empregadas, foram necessários dois plantios em momentos distintos. O primeiro plantio ocorreu no dia 11 de setembro de 2016 e o segundo no dia 22 de outubro de 2016.

No primeiro plantio foi realizada a lavagem das raízes, e uma poda drástica das partes superiores e raízes das macrófitas empregadas. Algumas mudas não apresentaram resposta neste primeiro plantio, principalmente no WCV, onde o efluente é disperso na superfície, percola verticalmente e o nível do efluente se mantém aproximadamente 55 centímetros abaixo da superfície. No WCH estas mudas apresentaram melhor resposta e foram observados alguns brotos destas primeiras mudas plantadas.

Nas figuras a seguir são destacadas as observações realizadas.

Figura 89 – Primeiro plantio – Poda drástica de raízes a partes superiores



(fonte: do autor)

Figura 90 – Mudanças secas – Resultado do primeiro plantio – WCV



(fonte: do autor)

Figura 91 – Brotos novos de muda de taioba do primeiro plantio – WCH



(fonte: do autor)

Figura 92 – Muda de copo de leite implantada no WCH – Segundo plantio



(fonte: do autor)

No segundo plantio, foi realizada somente a lavagem das raízes para retirar o material orgânico e terra, para evitar a inclusão de sedimentos finos no *wetland*. Assim, foi obtida melhor resposta das mudas empregadas. A poda foi realizada posteriormente ao plantio, somente nas partes superiores que apresentaram murcha e não reestabelecimento.

Figura 93 – Mudas utilizadas no segundo plantio



(fonte: do autor)

Figura 94 – Corte de partes superiores secas - WCV



(fonte: do autor)

Neste segundo plantio, também foram obtidos melhores resultados no WCH. Embora as mudas no WCV tenham apresentado resposta satisfatória e brotos novos.

Figura 95 – Macrófitas no WCH após segundo plantio – 12/11/2016



(fonte: do autor)

Figura 96 – Macrófitas no WCH após segundo plantio – 09/12/2016



(fonte: do autor)

Como foram utilizadas as mesmas mudas, o plantio realizado na mesma data e adotada mesma profundidade de cava, relaciona-se à melhor resposta ao nível de efluente mais próximo à superfície, o que facilita a nutrição e adaptação das macrófitas.

Sezerino (2006, p. 134), relata problema semelhante quanto à adaptação das macrófitas em *wetlands* construídos de fluxo sub superficial vertical, “Este problema de adaptação esteve relacionado à reduzida permanência de umidade na rizosfera, devido a retirada completa da matéria orgânica das raízes após a colheita do ambiente natural [...]”. O autor também relata que as mudas destinadas à *wetlands* construídos de fluxo horizontal, foram manejadas da mesma forma, e não apresentaram problemas devido o substrato do maciço filtrante permanecer inundado, garantindo ambiente saturado de umidade e matéria orgânica às macrófitas. Para contornar este problema, Sezerino (2006) cita a adoção de duas medidas mitigadoras: replantio das mudas mantendo uma quantidade de matéria orgânica nos rizomas; e, manutenção do leito filtrante saturado com nível do efluente elevado por cinco dias após plantio das macrófitas.

No momento da construção da camada de brita 2 na parte inferior do WCH, saída do WCHib, foi deixada uma depressão (buraco) para verificar visualmente o nível do efluente no WCH. Esta poça foi deixada propositalmente aparente nos dois meses iniciais de operação. Após este período, foi verificado visualmente, à noite com auxílio de uma lanterna, a presença de larvas de mosquitos nesta poça. No momento em que foi fechado este buraco para evitar o criadouro de vetores de doenças, também foi observada a presença de teias e aranhas ao redor desta poça, indicando colonização do substrato por diferentes artrópodes. Não foram observados mosquitos ou larvas em outras regiões do WCHib.

Dessa forma, foi verificado o potencial de criadouro de vetores de doenças caso o sistema apresente lâmina de água aparente. Isto pode ocorrer por problemas construtivos ou colmatação do substrato e ocorrência de escoamento superficial.

Figura 97 – Buraco na parte superior do sistema de saída do efluente no WCH



(fonte: do autor)

Figura 98 – Detalhe do buraco e lâmina de efluente



(fonte: do autor)

O desnível entre os módulos I e II, WCV e WCH respectivamente, possui 58 centímetros. Até o momento, não foi observada subsidência do material, e movimento do solo e do tronco de eucalipto utilizado nestes pontos de tensão mecânica devido à massa do substrato. Porém, por medida de segurança do sistema, cogita-se aumentar a altura da camada de brita 2 utilizada na entrada do WCH, com uso do mesmo material ou pedras de alicerce, para reduzir este desnível entre os tanques. Esta camada adicional serviria de apoio ao substrato do WCV, e acabamento para esconder a geomembrana aparente.

Figura 99 – Desnível entre WCV e WCH – Vista direita



(fonte: do autor)

Figura 100 – Desnível entre WCV e WCH – Vista esquerda



(fonte: do autor)

A tabela 7 abaixo, compara as eficiências obtidas na segunda amostragem realizada neste trabalho, com os valores médios de alguns parâmetros obtidos por Sezerino (2006). Estes dados resultam de monitoramento realizado de fevereiro à novembro de 2005, em um sistema híbrido, constituído de um WCV seguido por um WCH, para tratamento de uma fração do efluente de lagoa anaeróbia de tratamento de esgotos, situada no município de São José/SC.

Tabela 7 – Performance média de tratamento obtido por Sezerino em 10 meses de monitoramento, comparado a eficiência da primeira amostragem realizada neste trabalho

Parâmetros	Performance de tratamento média %			
	Sezerino (2006)		Teske (2016)	
	WCV	WCH	WCV	WCH
DQO	66	83	45,3	57,8
SS	64	91	43,5	56,5
PO <sub>4</sub> -P	37	77	21,5	32,5

(fonte: do autor)

A tabela 8 apresenta as concentrações dos parâmetros avaliados na ETE Güntherland (WV1), uma das estações monitoradas por Timm (2015) no período de junho à outubro de 2014. Esta estação operava, na época, há 2 anos e é composta por três *wetlands* construídos verticais em sequência. Para fins de avaliação do período inicial de operação do *wetland* construído híbrido implantado neste trabalho, são comparados os resultados obtidos na segunda amostragem deste trabalho, após 66 dias de operação.

Tabela 8 – Concentração média e eficiência de tratamento dos parâmetros avaliados na ETE Güntherland e no *wetland* construído híbrido implantado

Parâmetro	Unidade	Timm (2015)		Teske (2016)	
		Concentração. Média	Eficiência %	Concentração. Média	Eficiência %
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	114,5	83,3	76,1	57,8
DBO	mg/L O <sub>2</sub>	8,7	98,55	15,0	65,1
Amônia	mg/L N - NH <sub>3</sub>	0,3	95,5	12,2	0
NTK	mg/L - NH <sub>3</sub>	1,9	89,24	12,9	45,8
Fósforo Total	mg/L P - PO <sub>4</sub> -3	0,1	83,97	5,03	32,5
Coliformes Totais	NMP/100mL	9,30E+04	86,84	2,42E+04	98,6
E. Coli	NMP/100mL	2,70E+02	88,57	7,38E+02	99,4
Turbidez	NTU	10,1	93,3	1,94	94,1
pH		6,9		7,49	

(fonte: do autor)

A elevada eficiência de remoção observada nos parâmetros coliformes totais, *Escherichia coli* e turbidez no efluente de saída do *wetland* construído híbrido implantando, aproxima-se dos valores médios obtidos por Timm (2015), no sistema em série de *wetlands* verticais. Porém, ao compararmos os resultados dos outros parâmetros, obtidos por Sezerino (2006) e Timm (2015), notam-se que os valores de eficiência, estão aquém dos obtidos nos estudos.

Este fato pode ser explicado pelo período inicial de operação do sistema implantado, estando ainda em fase inicial de operação e colonização do substrato pelo biofilme bacteriano, desenvolvimento da zona radicular e parte aérea das macrófitas empregadas.

Assim, espera-se um aumento na eficiência de remoção de poluentes e nutrientes, com o pleno estabelecimento da zona de raízes, desenvolvimento das macrófitas e plena colonização dos microrganismos aderidos aos substratos e rizomas.

## 7 CONCLUSÃO

A partir da experiência de dimensionamento e implantação do *wetland* construído, verificou-se que o sistema é de fácil construção e, excluindo-se a geomembrana para garantir estanqueidade, faz uso de materiais simples, de fácil aquisição e custos reduzidos.

A maior dificuldade encontrada durante a implantação do sistema foi a carga de trabalho manual que envolve a escavação e preenchimento do *wetland* construído com as camadas de substratos, que compõe o meio filtrante, servem de suporte para o biofilme bacteriano e fixação e desenvolvimento dos macrófitas.

Deve-se levar em consideração no dimensionamento do sistema, as características de relevo e nível do aquífero freático do local a ser implantado o *wetland*, as cargas, hidráulica e orgânica aplicadas, para evitar a sobrecarga do sistema, a estanqueidade e a existência de pré-tratamento para retenção de sólidos mais grosseiros. Outro fator de fundamental importância é a orientação e instrução dos responsáveis quanto à forma de operação e as manutenções que devem ser realizadas ao longo da vida útil do sistema.

Para a construção deste tipo de solução descentralizada, a realização de mutirões pode ser uma alternativa para otimizar o tempo de construção, difundir o conhecimento construtivo, e a importância e os benefícios, do cuidado com o correto tratamento e destino das águas residuárias originadas das atividades humanas. Destacando que estas ações devem ocorrer com orientação técnica e atenção a aspectos construtivos como a estanqueidade, nivelamento dos sistemas de distribuição e a existência de pré-tratamento, entre outros.

O custo total do *wetland* construído híbrido, composto por dois módulos de fluxo hidráulico distinto, chegou a R\$ 2.750,83. Cabe ressaltar que este *wetland* construído foi dimensionado de forma conservadora, adotando o maior valor indicado de área superficial por habitante para WCV e seguido de um WCH de mesma área superficial, para otimizar o polimento do efluente.

Caso fosse adotada a recomendação de 1,5 m<sup>2</sup> por habitante, considerado somente os moradores fixos da residência, e a construção de somente o módulo I – WCV, a área superficial necessária seria de 4,5 m<sup>2</sup>. O custo total estimado para implantação de somente um WCV, com 5 m<sup>2</sup> de área superficial, para atender 3 moradores e baseado somente no

parâmetro de área/habitante, seria de aproximadamente R\$ 1.170,00. Reduzindo a área superficial para 1 m<sup>2</sup> habitante, a construção de um *wetland* construído vertical para atender 3 habitantes, necessitaria de um investimento aproximado de R\$ 985,00.

Foram observados problemas de vazamento em algumas conexões por descuido na instalação destas, e o primeiro plantio das macrófitas não respondeu conforme esperado. Problemas solucionados com a substituição dos canos e reposição das mudas.

Após 70 dias de operação, não houve problemas com odores, distribuição do efluente ou observado fluxo superficial no *wetland* construído híbrido.

Como sugestão de ações e trabalhos futuros sugere-se:

- O monitoramento dos parâmetros de interesse por período mais extenso e em maior número de amostragens para verificar a eficiência do sistema implantado ao longo do tempo e variações sazonais;
- Verificar a legislação vigente para reuso de efluentes domésticos para irrigação das áreas verdes e culturas plantadas no lote;
- Monitorar a vida útil do sistema;
- Implantar tanque com peixes para ornamentação do espaço e sua utilização como bioindicadores da qualidade do efluente;
- Selecionar espécies de macrófitas da região com interesse paisagístico e boa adaptação à este tipo de sistema;
- Verificar possíveis interferências no fluxo hidráulico e as implicações do uso de geotêxtil entre substrato de areia grossa e brita 2, utilizada no sistema de drenagem dos módulos;
- Verificar a adequação da área superficial do módulo II – WCH, adotada de modo arbitrário, com base nos dados monitorados do efluente da saída do WCV.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969**: tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

(\_\_\_\_\_\_). **NBR 6.502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

(\_\_\_\_\_\_). **NBR 7.229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

BENTO, A. P. **Caracterização da microfauna no sistema insular de tratamento de esgotos de Florianópolis/SC**: Um instrumento de controle operacional e avaliação da eficiência do processo. 2000. 184 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Arranjos tecnológicos para tratamento de esgotos sanitários de forma descentralizada**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014. 74 p.

(\_\_\_\_\_\_). Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 4 ed. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2015. 642 p. Disponível em: < <http://www.funasa.gov.br/site/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/page/2/>>. Acesso em: 8 de out. 2016.

(\_\_\_\_\_\_). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. p. 272. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2014>>. Acesso em: 3 de out. 2016.

(\_\_\_\_\_\_). Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para saneamento básico; altera as Leis n<sup>os</sup> 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n<sup>o</sup> 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em: 25 de set. de 2016.

(\_\_\_\_\_\_). Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n<sup>os</sup> 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n<sup>os</sup> 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n<sup>o</sup> 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 27 out. 2016.

CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; VON SPERLING, M.; MONTEGGIA, L. O. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso da água. In: FLORENCIO, L. BASTOS, R. K. X. AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. cap. 3, p. 62-110.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 128**, de 7 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006. Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=216&cod\\_conteudo=7206](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=216&cod_conteudo=7206)>. Acesso em: 29 de set. de 2016.

(\_\_\_\_\_\_). **Resolução n. 276**, de 14 de maio de 2013. Dispõe sobre a excepcionalidade nos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, no que diz respeito aos padrões e condições para a emissão de efluente líquidos domésticos em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=216&cod\\_conteudo=8153](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=216&cod_conteudo=8153)>. Acesso em: 29 de set. de 2016.

(\_\_\_\_\_\_). **Resolução n. 292**, de 12 de março de 2015. Revoga a Resolução CONSEMA 276/2013 e determina a observância da Resolução CONSEMA 128/2006 e 129/2006. Porto Alegre, 2015. Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=216&cod\\_conteudo=9075](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=216&cod_conteudo=9075)>. Acesso em: 29 de set. de 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 7 de out. de 2016.

(\_\_\_\_\_\_). **Resolução n. 430**, de 13 de maio de 2011. 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. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 7 de out. de 2016.

CORAUCCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O.; MELO, H. N. S.; SOUSA, J. T.; NOUR, E. A. A.; FIGUEIREDO, R. F. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de aplicação no solo. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. 1 ed. Belo Horizonte, 2001. cap. 2, p. 35-103.

GAMA Engenharia e Recursos Hídricos. **Diagnóstico da Bacia (RT3)**: serviços de consultoria relativo ao processo de planejamento da Bacia Hidrográfica do Camaquã – fases A, B e C. Porto Alegre, 2015. 674 p. Disponível em: <[http://www.planocamaqua.com.br/?page\\_id=8](http://www.planocamaqua.com.br/?page_id=8)>. Acesso em: 21 de out. de 2016.

(\_\_\_\_\_\_). **Enquadramento (RT5)**: serviços de consultoria relativo ao processo de planejamento da Bacia Hidrográfica do Camaquã – fases A, B e C. Porto Alegre, 2016. 121 p.

Disponível em: <[http://www.planocamaqua.com.br/?page\\_id=8](http://www.planocamaqua.com.br/?page_id=8)>. Acesso em: 21 de out. de 2016.

GESAD. Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado. **Eficácia dos sistemas de tratamento de esgoto doméstico e de água para consumo humano utilizando *wetlands* considerando períodos diferentes de instalação e diferentes substratos e plantas utilizados**: Relatório final. Florianópolis, 2007. 62 p.

HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 73-84, 1998. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-81231998000200007&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81231998000200007&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 10 de out. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010: Características da população – Resultados do universo**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://loja.ibge.gov.br/censo-demografico-2010-caracteristicas-da-populac-o-e-dos-domicilios-resultados-do-universo.html>>. Acesso em: 11 de out. de 2016.

(\_\_\_\_\_\_). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de indicadores 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 102 p. Disponível em: <>. Acesso em:

ITRC – THE INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL. **Technical and regulatory guidance document for constructed *wetlands***, 2003.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment *wetlands***. 2 nd. ed. Boca Raton: CRC, 2009.

MAIER, C. **Qualidade de águas superficiais e tratamento de águas residuárias por meio de zonas de raízes em propriedades de agricultores familiares**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MARQUES, D. M. Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 15, p. 409-435.

MAZZOLA, M. **Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluentes de reator anaeróbio compartimentado**. 113 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PAROLIM, M.; CRISPIM, J. Q.; KAICK, T. S. V. Tratamento de esgoto por zona de raízes: análise e eficiência. **Revista GEOMAE – Geografia, Meio Ambiente e Ensino**, Campo Mourão, v. 3, n. 1, p. 45-57, 2012.

PELLISSARI, C. **Tratamento de efluente proveniente da bovinocultura de leite empregando *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial**. 147 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PLATZER, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W. 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. **Trabalhos...** Florianópolis, 2007a. 8 f.

PLATZER, C.; SENF, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W.; COSTA, R. H. R. Dimensionamento de *wetland* de fluxo vertical com nitrificação – adaptação de modelo europeu para as condições climáticas do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24., 2007b, Belo Horizonte. **Trabalhos...** Florianópolis, 2007. 7 f.

SALATI, E.; SALATI FILHO, E.; SALATI, E. Instituto Terramax. **Utilização de sistemas de *wetlands* construídas para tratamento de águas.** Piracicaba, 2009. 23 p.

SCHAECHTER, M.; INGRAHAM, J. L.; NEIDHARDT, F. C. **Micróbio: uma visão geral.** Porto Alegre: ARTMED, 2010. 547 p.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed *wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TIMM, J. M. **Estudos de casos de *wetlands* construídos descentralizados na região do vale do Sinos e serra gaúcha.** 188 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

UN-HABITAT. **Constructed *wetlands* manual.** Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.1.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995. 240 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Sanitation safety planning: manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta.** Geneva, 2016.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: *wetlands*-construídos utilizando brita e bambu com suporte.** 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.