

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E
SANITÁRIA

Paola Bertoncello Bueno

**PROJETO EXECUTIVO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DOMÉSTICO GERADO POR UMA CASA DE ESTUDANTES
UNIVERSITÁRIOS**

Frederico Westphalen, RS

2021

Paola Bertoncello Bueno

**PROJETO EXECUTIVO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO
DOMÉSTICO GERADO POR UMA CASA DE ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção de grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Correa Medeiros

Frederico Westphalen, RS

2021

Paola Bertoncello Bueno

**PROJETO EXECUTIVO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO
DOMÉSTICO GERADO POR UMA CASA DE ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção de grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

Aprovado em 08 de Fevereiro de 2021:

Raphael Correa Medeiros, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Samara Terezinha Decezaro, Dra. (UFSM)

Juliana Scapin, Dra. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS

2021

DEDICATÓRIA

A minha família, por toda a dedicação e amor que recebi.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, essa força maior que rege todo o universo, por me permitir estar viva e com saúde neste momento tão difícil que a humanidade enfrenta.

Ao fim desta etapa tão importante, agradeço imensamente minha mãe Morgana que nunca mediu esforços, e sempre deu o melhor de si para me criar e me educar; ao meu pai Diógenes por ter me feito forte, e por sempre me aconselhar nesta jornada; ao meu pai do coração Fabio por sempre me incentivar e apoiar em todos os momentos; e a toda a minha família pelos ensinamentos e por todo o suporte.

Agradeço ao meu companheiro Pablo por toda a dedicação, paciência e apoio durante a elaboração deste trabalho; por sempre me lembrar do meu potencial e nunca me deixar desistir.

Ao meu orientador, Professor Dr. Raphael Correa Medeiros pela disponibilidade, paciência, dedicação, por todos os ensinamentos e principalmente pela sua humanidade e empatia.

À Professora Dra. Samara Decezaro pela dedicação, auxílio e pelos conhecimentos transmitidos a mim.

Por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho, meu muito obrigada!

RESUMO

PROJETO EXECUTIVO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO GERADO POR UMA CASA DE ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS

AUTORA: Paola Bertoncello Bueno

ORIENTADOR: Raphael Correa Medeiros

Investir em saneamento básico é promover saúde pública e ambiental, e conseqüentemente, tornar um País mais desenvolvido. Perante o cenário atual do esgotamento sanitário no Brasil, principalmente em relação ao meio rural, percebe-se a necessidade de implantação de tecnologias alternativas e descentralizadas de tratamento de esgotos. Neste contexto, este trabalho objetivou a elaboração de um projeto executivo de uma estação de tratamento de esgoto doméstico fazendo uso da tecnologia dos *wetlands* construídos de fluxo vertical, após tratamento primário em tanque séptico e com unidade de desinfecção. O projeto teve a finalidade de tratar o esgoto doméstico de um prédio de moradia estudantil com 35 habitantes, localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria, no município de Frederico Westphalen – RS. Após a implantação da estação de tratamento de esgoto, além de tratar o esgoto gerado, ela poderá ser utilizada como ferramenta de pesquisa pela universidade. O sistema projetado é composto por um tanque séptico, seguido de um poço de sucção com sistema de bombeamento; quatro unidades de *wetlands* construídos de fluxo vertical em paralelo, cada uma contendo uma caixa de coleta de efluente com controlador de nível; um medidor de vazão, e posterior, unidade de desinfecção do efluente tratado por radiação UV. As eficiências de remoção de poluentes esperadas foram embasadas no que recomenda a literatura para sistemas com esta configuração, esperando-se uma eficiência global de 85% para DBO, 80% para DQO e 85% para SST, resultando em um efluente final dentro dos padrões de lançamento estipulados pelas normativas.

Palavras-chave: Tratamento descentralizado de esgoto. *Wetlands* construídos. Tanque séptico. Radiação Ultravioleta. Dimensionamento.

ABSTRACT

EXECUTIVE PROJECT OF A DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PLANT GENERATED BY A HOUSE OF UNIVERSITY STUDENTS

AUTHOR: Paola Bertoncello Bueno

ADVISOR: Raphael Correa Medeiros

Investing in basic sanitation is promoting public and environmental health, and consequently, making a country more developed. In view of the current scenario of sanitary wastewater in Brazil, especially in relation to rural areas, there is a need to implement alternative and decentralized wastewater treatment technologies. In this context, this work aimed at the elaboration of an executive project of a domestic wastewater treatment station using the technology of vertical flow constructed wetlands, after primary treatment effluent in a septic tank and with a disinfection unit. The project aimed to treat the domestic wastewater of a student housing building with 35 inhabitants, located on the campus of the Federal University of Santa Maria, in the municipality of Frederico Westphalen - RS. After the implementation of the wastewater treatment station, in addition to treating the generated wastewater, it can be used as a research tool by the university. The designed system consists of a septic tank, followed by a suction well with a pumping system; four wetland units built in vertical flow in parallel, each containing an effluent collection box with level controller; a flow meter, and later, a disinfection unit for the effluent treated by UV radiation. The expected pollutant removal efficiencies were based on what the literature recommends for systems with this configuration, with an overall efficiency of 85% for DBO, 80% for DQO and 85% for SST, resulting in a final effluent within the standards of release stipulated by the regulations.

Key-words: Decentralized wastewater treatment. Constructed wetlands. Septic tank. Ultraviolet radiation. Dimensioning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Esquema de escoamento de sistemas de wetlands construídos, para o tratamento de efluentes.....	16
Figura 2– Esquema de funcionamento de um WCFV.....	17
Figura 3– Representação dos tipos de macrófitas aquáticas existentes em wetlands naturais..	19
Figura 4– Identificação do prédio da Casa do Estudante Universitário (CEU) e do local previsto para a implantação da ETE do tipo Wetland.	24

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Condições e padrões para lançamento direto de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.	23
Quadro 2– Qualidade do efluente do tanque séptico em termos de DBO.	33
Quadro 3– Eficiências de remoção de poluentes esperadas do conjunto T.S + WCFV.	41
Quadro 4– Estimativa das concentrações de poluentes após o tratamento e comparação com as Resoluções CONAMA 430/2011 e CONSEMA 355/2017.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Eficiência de remoção de poluentes por diferentes tipos de wetlands construídos. 22	22
Tabela 2– Contribuição diária de despejos por tipo de prédio e de ocupantes.....25	25
Tabela 3– Características físico-químicas adotadas para o esgoto doméstico bruto.27	27
Tabela 4– Características microbiológicas adotadas para o esgoto doméstico bruto.....27	27
Tabela 5– Especificações das camadas do meio suporte das unidades com brita.35	35
Tabela 6– Especificações das camadas do meio suporte das unidades com areia grossa.37	37

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEU	Casa do Estudante Universitário
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
N amoniacal	Nitrogênio amoniacal
NBR	Norma Técnica brasileira
NMP	Número mais provável
NT	Nitrogênio total
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PVC	Policloreto de vinila
SNIS	Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto
SST	Sólidos suspensos totais
UV	Ultravioleta
WC	<i>wetlands</i> construídos
WCH	<i>wetlands</i> construídos de fluxo horizontal
WCV	<i>wetland</i> construído de fluxo vertical
WCV-FS	<i>wetland</i> construído de fluxo vertical com fundo saturado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO SANITÁRIO	14
3.2 WETLANDS CONSTRUÍDOS	15
3.2.1 Wetland Construído de Fluxo Vertical (WCFV)	17
3.2.2 Wetland Construído de Fluxo Vertical com Fundo Saturado (WCFV-FS)	18
3.3 MECANISMOS ATUANTES DO SISTEMA	18
3.3.1 Macrófitas Aquáticas	18
3.3.2 Material filtrante	20
3.3.3 Microrganismos	21
3.4 DESEMPENHO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS NO BRASIL	22
4 METODOLOGIA	23
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
4.2 PARÂMETROS DE PROJETO	24
4.2.1 Contribuição per capita de esgoto	24
4.2.2 Vazão de esgoto doméstico	25
4.2.3 Características do esgoto doméstico bruto	26
4.3 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	27
4.3.1 Tanque séptico	27
4.3.2 Wetlands Construídos de Fluxo Vertical	28
4.3.3 Desinfecção	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1 DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	30
5.1.1 Vazão afluente de esgoto bruto	30
5.1.2 Unidade de tratamento preliminar	30
5.1.3 Dimensionamento do tanque séptico	30
5.1.4 Poço de sucção e vazão de aplicação	32
5.1.5 Dimensionamento dos Wetlands Construídos de Fluxo Vertical	33
5.1.6 Medidor de vazão efluente do WCFV	37
5.1.7 Reator UV	38
5.2 EFICIÊNCIA ESPERADA DO SISTEMA	41
6 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44
ANEXO A - PLANTA BAIXA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	46
ANEXO B - DETALHAMENTO DAS PRINCIPAIS UNIDADES DE TRATAMENTO	47

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico é fator essencial para o desenvolvimento social e econômico de um País. A Política Nacional de Saneamento Básico (Lei Federal Nº 11.445/2007) considera o saneamento básico como sendo o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem de águas pluviais. No Brasil, ainda é necessário muito empenho e investimentos para se alcançar a universalização do acesso a estes serviços essenciais.

Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto (SNIS, 2019) apenas 49,1 % dos esgotos gerados no Brasil são tratados, na região sul do País este índice é ainda menor, apenas 47%. Em relação à coleta de esgotos a população que reside no meio rural ainda sofre com a falta de redes de coleta e o tratamento quando existente, é precário. De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2012), no País, somente 5,2% dos domicílios de áreas rurais estão ligados a uma rede de coleta de esgotos e 28,3% fazem uso da fossa séptica para o tratamento dos dejetos. E o mais alarmante, os 66,5% restantes utilizam fossas rudimentares e lançam os dejetos em corpos hídricos ou diretamente no solo.

Na falta de redes de coleta e tratamento de esgotos no meio rural, muitas vezes relacionada ao alto custo de implantação, operação e manutenção de sistemas convencionais, buscam-se sistemas descentralizados de tratamento. Benassi et al. (2018, p.7) diz que “em áreas rurais, os sistemas descentralizados de tratamento são opções viáveis, em relação aos sistemas convencionais de grande porte, por utilizarem tecnologias simples, de baixo custo e fácil manutenção”.

Existem muitas opções de tecnologias descentralizadas de esgotamento, destacando-se os *wetlands* construídos. Os *wetlands* construídos podem ser utilizados no tratamento de variados tipos de efluentes, principalmente para o tratamento de esgotos domésticos (SEZERINO et al., 2018). Nestes sistemas, os mecanismos atuantes de tratamento são plantas e os microrganismos presentes em suas raízes; as interações físicas, químicas e biológicas presentes no meio suporte favorecem a remoção de matéria orgânica, nutrientes e substâncias tóxicas dos esgotos (VIDAL & HORMAZÁBAL, 2018).

Neste contexto, o presente trabalho tem como foco a elaboração de um projeto executivo de uma Estação de Tratamento de Esgotos do tipo *Wetland* Construído de Escoamento Vertical, composta por um tanque séptico, seguido por quatro unidades de *wetlands* em paralelo e com um reator UV como unidade de desinfecção. Visando o tratamento de esgotos domésticos gerados em uma Casa do Estudante Universitário – CEU,

no *campus* da Universidade Federal de Santa Maria, localizado na zona rural do município de Frederico Westphalen, RS.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar um projeto executivo de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) composta por tanque séptico, *wetlands* construídos de escoamento vertical e unidade de desinfecção para uma moradia estudantil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar um tanque séptico como unidade de tratamento primário;
- Dimensionar as unidades de *wetlands* construídos de fluxo vertical;
- Dimensionar um reator UV para a etapa de desinfecção;
- Elaborar um memorial de cálculos contendo detalhes construtivos de todas as unidades que devem compor a ETE;
- Estimar a eficiência esperada do sistema completo;
- Confeccionar desenhos técnicos com detalhamentos das unidades da ETE.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO

Esgotamento sanitário é como se denomina o conjunto de obras e instalações destinadas à coleta, transporte, afastamento, tratamento e à disposição final das águas residuais de uma comunidade, de uma forma adequada do ponto de vista sanitário (BRASIL, 2011). Este sistema conta com basicamente duas variantes: o sistema de esgotamento sanitário individual ou estático e o sistema de esgotamento sanitário coletivo ou dinâmico (VON SPERLING, 2014). Ainda segundo Von Sperling (2014), os sistemas individuais de esgotamento pressupõem a solução local, sendo usualmente adotados para atender a residências unifamiliares ou, até mesmo, a certo número de residências próximas entre si.

Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto são aqueles onde ocorre a coleta, tratamento e disposição final ou reuso do esgoto em um local próximo à sua geração, se diferenciando dos sistemas centralizados tradicionais (TONETTI et al., 2018). Tais sistemas se destacam por apresentarem diversas vantagens, entre elas: o custo reduzido na implementação e a contribuição para a sustentabilidade local (TONETTI et al., 2018, apud METCALF&EDDY, 2013).

É importante ressaltar que, no Brasil, não há legislação específica para sistemas descentralizados de esgoto, cabendo assim, a cada município legislar sobre a questão (SEZERINO et al., 2018). Instruções normativas sugerem tecnologias que podem ser aplicadas ao tratamento descentralizado. A Norma Brasileira NBR 7229 (ABNT, 1993) apresenta critérios para projeto, construção e operação de tanques sépticos e é complementada pela NBR 13969 (ABNT, 1997) na qual são apresentados critérios para projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementares aos tanques sépticos, como também a disposição final dos efluentes.

Existem diferentes níveis para o tratamento do esgoto sanitário. Os tratamentos preliminar e primário visam à remoção de constituintes “grosseiros” (trapos, galhos, areia, etc.) e sólidos suspensos de fácil sedimentação, respectivamente; o tratamento secundário é onde predomina a remoção de matéria orgânica solúvel biodegradável, principalmente por processos biológicos; e, por fim, o tratamento terciário para remoção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, a desinfecção, bem como remoção de sólidos residuais mais específicos (METCALF&EDDY, 2016).

Os tanques sépticos, utilizados em sistemas individuais, são uma forma de tratamento primário (VON SPERLING, 2014). Sozinhos não suprem as necessidades ambientais, necessitando de tecnologias que complementem o processo, como as tecnologias convencionais citadas pela NBR 13969/1997. Além das tecnologias normatizadas, existem outras tecnologias aplicáveis ao tratamento descentralizado de esgoto, dentre os quais se destacam os *wetlands* construídos (WEBER, 2015).

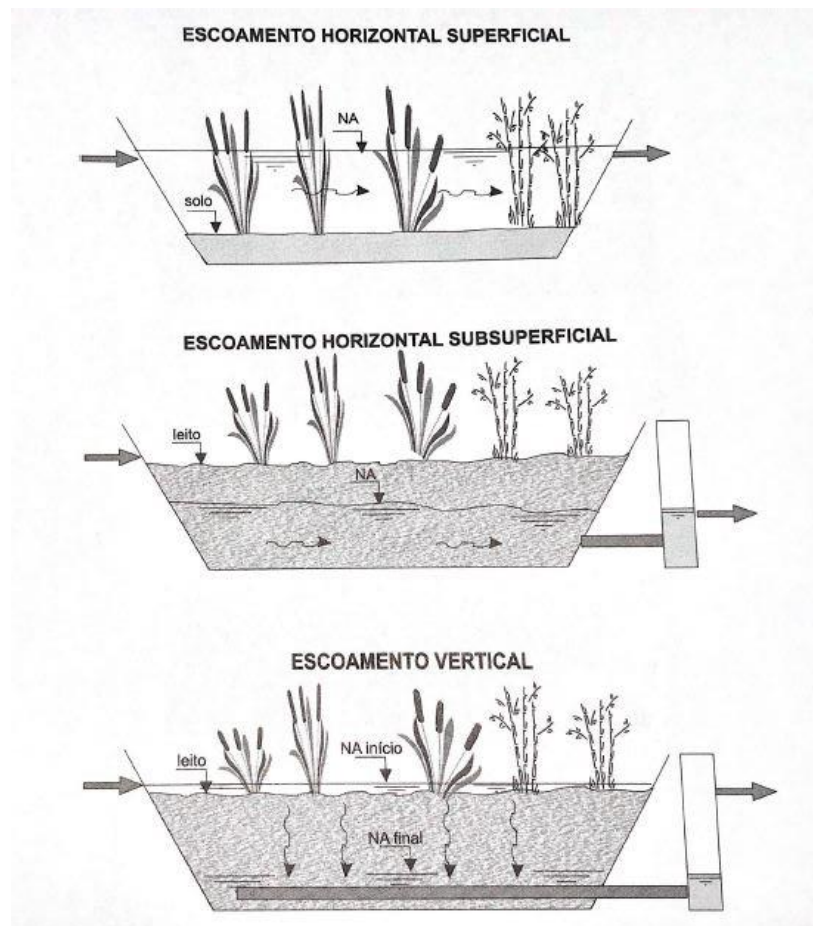
3.2 WETLANDS CONSTRUÍDOS

Segundo Sezerino et al. (2018), os *wetlands* construídos (WC) são sistemas concebidos para replicar e otimizar processos naturais de transformação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, que ocorrem em ambientes alagados, como pântanos e mangues. Tais sistemas realizam o tratamento do esgoto através de lagoas ou canais rasos (usualmente com profundidade inferior a 1,0 m) contendo plantas, podendo conter também um meio suporte poroso e inerte como a brita ou areia (VON SPERLING, 2014).

Dentre as principais vantagens dos WC, destacam-se: baixo custo de operação e manutenção; tolerância para flutuações de vazões de entrada; são esteticamente mais agradáveis que as estações de tratamento de esgoto convencionais; potencial de reuso ou reciclagem da água; ausência de vibração e ruídos, entre outras (BENASSI et al., 2018).

Os *wetlands* construídos são classificados conforme o sentido de escoamento do esgoto dentro do sistema (SEZERINO et al., 2018). Os dois principais tipos de *wetlands* construídos são os de escoamento superficial e de escoamento subsuperficial, sendo que este último é subdividido da seguinte forma: WC horizontal, WC vertical e WC vertical modelo Francês. Os *wetlands* horizontal e vertical são usados, geralmente, – visando evitar o entupimento do material filtrante – para o tratamento secundário de esgoto, já o modelo francês pode receber e tratar o esgoto bruto (DOTRO et al., 2017). Na Figura 1, é possível visualizar o esquema de escoamento dos tipos de *wetlands* construídos:

Figura 1– Esquema de escoamento de sistemas de *wetlands* construídos, para o tratamento de efluentes.



Fonte: Von Sperling (2014).

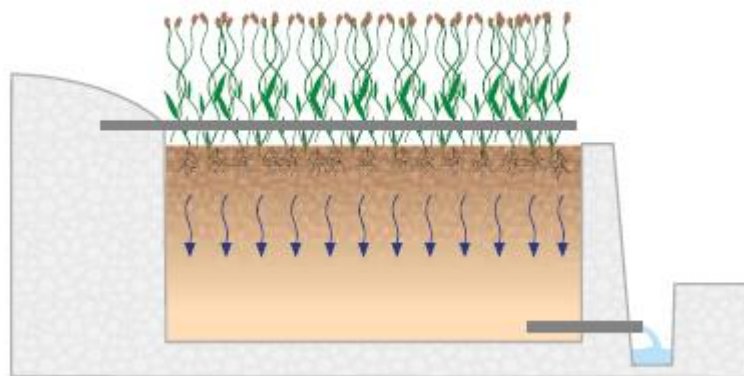
De acordo com Benassi et al. (2018), a diferença entre o sistema de WC de fluxo superficial e o de fluxo subsuperficial é que o primeiro pode ou não conter substrato; quando contém um substrato, ele permanece saturado e com fluxo de água escoando acima do material suporte, além disso, este sistema é indicado para o tratamento terciário do efluente com ênfase na remoção de fósforo. Já no sistema de fluxo subsuperficial o fluxo da água ocorre em sentido horizontal ou vertical, sob a superfície do leito, percolando o material filtrante (substrato); nesse sistema, são utilizadas macrófitas do tipo emergentes enraizadas ao material suporte.

3.2.1 *Wetland* Construído de escoamento Vertical (WCV)

No *wetland* construído de escoamento vertical (WCV), o esgoto previamente tratado num tanque séptico, por exemplo, é disposto de forma uniforme sobre toda a área superficial da unidade de tratamento. Neste sistema, a alimentação acontece de forma intermitente, e o afluente percola em sentido descendente por entre o sistema radicular das macrófitas e os poros do material filtrante, até ser coletado por um sistema de drenagem no fundo da unidade (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

A alimentação da unidade ocorrendo de forma intermitente remete, normalmente, a um meio não saturado hidraulicamente, como mostrado na Figura 2. Após a passagem do afluente, os poros são ocupados por ar, predominando condições aeróbicas no leito filtrante (SANTOS et al., 2019). Ressalta-se que a alimentação pode ocorrer de forma alternada entre os leitos, dispondo de unidades em operação e unidades em descanso.

Figura 2– Esquema de funcionamento de um WCV.



Fonte: Vidal; Hormazábal (2018).

Usualmente, o sistema de distribuição de WCV requer a utilização de unidades pressurizadas, como bombas hidráulicas, para garantir a distribuição eficaz de esgoto em toda a superfície da unidade (VIDAL; HORMAZÁBAL, 2018). Os WCV's por funcionarem como leitos não saturados, apresentam certas vantagens quando comparados aos WC de escoamento horizontal; pois além de eliminar sólidos em suspensão e matéria orgânica, o modelo vertical tem maior capacidade de nitrificação (VIDAL; HORMAZÁBAL, 2018, p.35. apud Cooper et al., 1996; Brix&Arias, 2005).

A literatura aborda eficiências de remoção esperadas no sistema composto por tanque séptico seguido de WCV, sendo elas: DBO > 85%, DQO > 80%, SS > 85%, N amoniacal >

85%, N total < 40% e Fósforo total < 20% (VON SPERLING; SEZERINO, 2018). Estudo de Decezaró (2016) aponta para este tipo de sistema eficiências de remoção de DQO superiores a 69%, podendo chegar até 99%.

3.2.2 *Wetland* Construído Vertical com Fundo Saturado (WCV-FS)

O *wetland* construído vertical com fundo saturado (WCV-FS) possui o mesmo sistema operacional que o WCV de leito não saturado, abordado no item 3.2.1, contendo alimentação intermitente de esgoto e percolação de esgoto no sentido vertical.

De acordo com Sezerino et al. (2018), o que difere o WCV-FS do WCV é uma modificação hidráulica realizada com o intuito de se obter maior remoção de nitrogênio em uma mesma unidade de tratamento, sem que seja necessário incremento adicional de energia ou área. Para isso, é realizada a elevação da tubulação de saída na parte externa da unidade, chamada de controlador de nível.

A remoção de poluentes dentro dos WCV ocorre especialmente por processos oxidativos, porém, esta alta disponibilidade de oxigênio no meio acaba limitando a remoção de nitrogênio total (NT) devido à ausência de zonas anóxicas e também menor disponibilidade de carbono (BASSANI et al., 2020. apud Saeed & Sun, 2012). Para suprir essa deficiência é necessária a criação de zonas anóxicas/anaeróbias; logo, ao saturar o fundo do *wetland* construído se criam estas condições. Dessa forma se torna possível, em uma única unidade, ter condições aeróbias, próximas à superfície, favorecendo a oxidação da matéria orgânica e a nitrificação, e conter zonas anóxicas, ao fundo, favorecendo a remoção da matéria orgânica carbonácea e a desnitrificação (SEZERINO et al., 2018).

3.3 MECANISMOS ATUANTES DO SISTEMA

3.3.1 Macrófitas Aquáticas

Segundo Benassi et al. (2018, p.20) “as macrófitas são vegetais visíveis a olho nu, que flutuam ou permanecem total ou parcialmente submersas em ambientes de águas doces ou salobras”. Estes vegetais assumem um importante papel no tratamento de águas residuárias por sistemas de *wetlands* construídos, pois promovem área superficial para aderência de

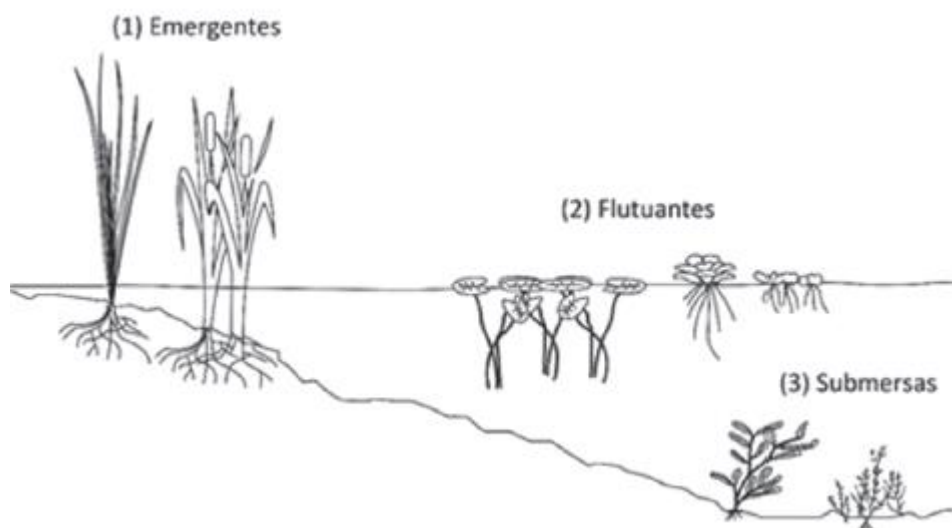
microrganismos, liberam oxigênio no meio filtrante, melhoram o aspecto paisagístico, além de retirar e armazenar nutrientes (BENASSI et al., 2018).

De acordo com Sezerino et al. (2018, p.17) “estudos científicos mostram que aproximadamente 10% do total de nitrogênio removido em *wetlands* construídos se dá pela ação de fitoextração das macrófitas. Também, é relatada uma capacidade de remoção de nitrogênio através da poda de 200 a 2500 kgN/ha.ano”.

As funções de movimento de caule exercidas pelas plantas são de grande importância, pois proporcionam a ocorrência de espaços livres na camada de sedimento acumulado no topo, isso permite a entrada do líquido afluente em direção ao leito (VON SPERLING; SEZERINO, 2018). Para utilização em WCV, são citadas algumas espécies de plantas, como: *Cynodon spp* (capim Tifon 85); *Typha* (taboa) quando os períodos sem alimentação não são longos; *Cyperus Papyrus* (papiro); *Chrysopogon zizanioides* (capim-vetiver); *Zantedeschia aethiopica* (copo de leite), entre outras (VON SPERLING; SEZERINO, 2018). Ressalta-se que as plantas escolhidas devem ser resistentes aos períodos de descanso das unidades.

As macrófitas aquáticas podem ser classificadas de três formas, como mostra a Figura 3: as emergentes se caracterizam por serem enraizadas e com as folhas para fora da água (Taboa, Papiro-Brasileiro); as flutuantes se caracterizam por flutuarem sobre a superfície do líquido (Aguapé, Alface-d’água); e as submersas, estas podem ser enraizadas com folhas submersas (Elódea, Cabomba) ou livres, quando são flutuantes ou estão presas a outras plantas aquáticas (Utriculária) (BENASSI et al, 2018).

Figura 3– Representação dos tipos de macrófitas aquáticas existentes em *wetlands* naturais.



Fonte: Benassi et al. (2018).

Para o plantio em WCV são utilizadas macrófitas aquáticas do tipo emergentes. Através das raízes fornecem área superficial favorecendo o crescimento microbiano aderido, além disso, o crescimento das raízes auxilia na manutenção das propriedades hidráulicas do filtro (DOTRO et al., 2017).

3.3.2 Material filtrante

O material filtrante, também conhecido como material suporte ou substrato tem como principais funções: atuar como meio de suporte para o desenvolvimento das macrófitas aquáticas; atuar como filtro, retendo os sólidos suspensos presentes no esgoto; e também como material de aderência para os microrganismos. É no material filtrante que acontece a maior parte dos processos químicos e biológicos característicos desses sistemas (BENASSI et al., 2018).

De acordo com Sezerino et al. (2018, p.16) “o material filtrante deve possuir características que conciliem uma boa permeabilidade através dos poros entre os grãos que constituem o material filtrante, bem como apresentar um bom potencial reativo de adsorção. São geralmente utilizados, como meio filtrante, materiais inertes como areia, cascalho ou brita, que favorecem a adesão do biofilme e facilita o enraizamento das plantas (VIDAL; HORMAZÁBAL, 2018).

Para a escolha do material filtrante é necessário saber a finalidade do tratamento (BENASSI et al., 2018). Há variações no tipo e na granulometria dos materiais filtrantes ao longo do leito, de acordo com o objetivo de cada camada. Para o tratamento de esgoto doméstico Von Sperling e Sezerino (2018) recomendam para WCV, baseados na literatura, que a camada de filtração (principal camada do sistema) seja de areia grossa com granulometria em torno de 1,2 a 4,8 mm, a camada de transição seja de brita 0 com granulometria de 4,8 a 9,5 mm e que a camada de drenagem, ao fundo do leito, contenha brita 0 (4,8 a 9,5 mm) ou brita 1 (9,5 a 19 mm).

A importância da granulometria do material filtrante para a camada de filtração do WC tem sido abordada em muitos estudos. Segundo Dotro et al. (2017, p.70) “a eficiência do tratamento de um *wetland* construído de fluxo vertical está diretamente relacionada ao material filtrante utilizado”, pois, se for utilizado um material de granulometria mais fina, o período de detenção hidráulica será maior e resultara em maior eficiência de remoção, caso o contrário, a granulometria do material filtrante for mais grossa, resulta em um potencial

menor de entupimento, porém em uma menor eficiência de remoção de poluentes (DOTRO et al. 2017).

Sezerino et al. (2018, p.17) afirmam que “a prática mais comum é a escolha de areias e britas, visando uma longevidade maior do sistema” e também que a escolha pelo material se dá “pela maior facilidade de caracterização destes materiais e experiências de sucesso relatadas na literatura direcionada”.

3.3.3 Microrganismos

Nos *wetlands* construídos há uma diversidade enorme de microrganismos, onde tomam destaque as bactérias e as arqueas (SEZERINO et al., 2018). Esta microbiota se desenvolve em adesão ao material filtrante ou nas raízes das plantas aquáticas, formando um biofilme. Nos WC os microrganismos atuam mineralizando a matéria orgânica e o fósforo orgânico, além de converterem variadas formas de nitrogênio (BENASSI et al., 2018).

No leito filtrante ocorre a interação entre o biofilme e o esgoto, a qual varia conforme o gradiente de oxigênio dissolvido no meio. De acordo com Sezerino et al. (2018, p.19) “o oxigênio que entra no biofilme é consumido gradualmente, até que o mesmo se extinga e surjam condições anóxicas ou anaeróbias, direcionando o desenvolvimento de outras comunidades microbianas”.

A remoção de nitrogênio ocorre pela ação de microrganismos. É de grande importância que ocorra a remoção de nitrogênio, pois este nutriente quando em altas concentrações trazem riscos à saúde humana (exemplo: síndrome do bebê azul) e danos ambientais. Tal remoção acontece devido aos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação através de ações de bactérias aeróbias e anaeróbias, associadas às raízes das plantas (BENASSI et al. 2018).

Além das bactérias e arqueas, também são encontrados, com facilidade no leito do WC, protozoários e micrometazoários. Estes microrganismos são conhecidos por consumirem a matéria orgânica particulada, controlarem o desenvolvimento de fungos e bactérias e por auxiliarem na desinfecção do efluente (BENASSI et al. 2018).

3.4 DESEMPENHO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS NO BRASIL

Nos *wetlands* construídos, o desempenho em relação à remoção de poluentes varia conforme o tipo de sistema adotado. No Brasil, estes sistemas apresentam bons resultados a cerca da eficiência de remoção de parâmetros como: nitrogênio, fosforo, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (BENASSI et al., 2018).

Sezerino et al. (2018) relata sobre o desempenho de WC's na estação experimental do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado - GESAD na Universidade Federal de Santa Catarina. De acordo com Sezerino et al. (2018, p.49) “obteve-se para os primeiros 2 anos de operação um elevado desempenho de tratamento de esgoto sanitário”, comprovando a aplicabilidade dos diferentes tipos de *wetlands* construídos como alternativas tecnológicas na busca da universalização do saneamento no Brasil.

Tabela 1– Eficiência de remoção de poluentes por diferentes tipos de *wetlands* construídos.

Tipo de Wetland	WCFV-FS	WCFV	WCFH	Sistema híbrido	
Eficiência de remoção (%)	SST	84	92	89	99
	DQO	91	86	74	98
	DBO ₅	91	85	44	93
	NT	45	26	62	81
	N – NH ₄ ⁺	66	57	82	93
	P – PO ₄ ³⁻	83	70	87	96

Fonte: Adaptado de Sezerino et al. (2018, p.50).

4 METODOLOGIA

O presente projeto contempla o dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) composta por um tanque séptico seguido de WCV, com unidade de desinfecção, objetivando o tratamento de esgoto doméstico de uma moradia estudantil.

Os parâmetros e as características utilizados para o dimensionamento da Estação de Tratamento de Esgotos do tipo *Wetlands* Construídos buscaram fazer com que o efluente final atenda aos padrões de lançamento de efluentes exigidos pelas Resoluções CONAMA 430/2011 e CONSEMA 355/2017, conforme Quadro 1.

Quadro 1– Condições e padrões para lançamento direto de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

Parâmetro	CONAMA 430/2011	CONSEMA 355/2017
DBO ₅	120 mg/L ou eficiência de remoção mínima de 60%	120 mg/L
DQO	-	330 mg/L
SST	-	140 mg/L
Fósforo	-	4 mg/L ou eficiência de remoção mínima de 75%
Nitrogênio amoniacal	-	20 mg/L

Fonte: Brasil (2011) e Rio Grande do Sul (2017).

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O objeto de estudo trata-se do projeto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do tipo WCV para tratamento de esgoto doméstico gerado na Casa do Estudante Universitário – CEU da Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen. A CEU está localizada na Linha 7 de Setembro, s/n, BR 386 Km 40, no município de Frederico Westphalen, RS. Na Figura 4 é possível observar a localização do prédio da CEU, onde é gerado o esgoto, e o local onde está prevista a implantação do sistema de tratamento.

Figura 4– Identificação do prédio da Casa do Estudante Universitário (CEU) e do local previsto para a implantação da ETE do tipo WCV.



Fonte: Google Earth, 2020.

A área de estudo se caracteriza pela ausência de rede coletora de esgoto, desta forma, buscou-se uma solução para tratar o esgoto gerado de modo com que ele possa ser disposto de maneira ambientalmente correta posteriormente. Atualmente, o esgoto da CEU é direcionado para um sistema de esgotamento onde a disposição final do efluente tem apresentado problemas, podendo ocasionar danos à saúde dos moradores e impactos negativos ao meio ambiente.

4.2 PARÂMETROS DE PROJETO

4.2.1 Contribuição *per capita* de esgoto

A contribuição *per capita* de esgoto é a que resulta da multiplicação de um dado valor de consumo de água *per capita* por um coeficiente de retorno. O coeficiente de retorno pode ser considerado como sendo a fração da água fornecida para abastecimento que adentra a uma rede de coleta na forma de esgoto, geralmente, o valor utilizado é de 80% ($R = 0,8$) (VON SPERLING, 2014).

Há também normativas com valores pré-estabelecidos de contribuição *per capita* de esgoto, como é o caso da NBR 13969/97, a qual apresenta valores médios de contribuições de esgoto diárias de acordo com o tipo de prédio e de ocupantes (ABNT, 1997). Para o desenvolvimento deste projeto, optou-se por adotar o valor de contribuição *per capita* de esgoto segundo o que estabelece essa Norma.

Tabela 2– Contribuição diária de despejos por tipo de prédio e de ocupantes.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (L/d)
1. Ocupantes permanentes		
- residência:		
Padrão alto	Pessoa	160
Padrão médio	Pessoa	130
Padrão baixo	Pessoa	100
- hotel (exceto lavanderia e cozinha):	Pessoa	100
- alojamento provisório:	Pessoa	80

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 13969, 1997.

Desta forma, considerando que o prédio contém apartamentos de baixo padrão, adotou-se como contribuição de despejos *per capita* o valor de 100 litros por dia.

4.2.2 Vazão de esgoto doméstico

De acordo com Von Sperling e Sezerino (2018, p.10) “a vazão afluyente a ser considerada no dimensionamento é a vazão média”. Por se tratar de um sistema individual de tratamento, não se fez necessário incorporar um valor de vazão de infiltração (entrada de água do subsolo na rede de coleta) à vazão média afluyente.

Para o cálculo da vazão média afluyente de esgoto utilizaram-se a população de projeto e a contribuição *per capita* de despejos. A população de projeto é igual a 35 habitantes e foi adotado o valor de contribuição de esgoto por habitante igual a 100 L.d⁻¹.

4.2.3 Características do esgoto doméstico bruto

Identificar as características do esgoto bruto afluyente ao sistema de tratamento é essencial para o adequado dimensionamento das unidades que compõe uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Estas características podem variar em função da finalidade do uso da água. Segundo Von Sperling (2014, p.83) “esses usos, e a forma com que são exercidos, variam com o clima, situação social e econômica, e hábitos da população”.

Para projetar uma estação de tratamento, normalmente não há interesse na determinação dos diversos compostos dos quais o esgoto é constituído, pois os resultados podem não ser diretamente necessários como elementos de projeto e operação. Desta forma, é preferível o uso de parâmetros indiretos que representem o potencial poluidor do despejo (VON SPERLING, 2014).

A matéria orgânica presente nos despejos domésticos é uma característica de grande importância, pois é a principal causadora da poluição de corpos d'água: por meio do consumo de oxigênio dissolvido por microrganismos no processo de utilização e estabilização da matéria orgânica. Existem métodos indiretos de medição do consumo de oxigênio, podendo ser por meio da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), Demanda Última de Oxigênio (DBO_u) ou Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Na ausência de uma análise laboratorial do esgoto da CEU, e para fins de dimensionamento, adotou-se um valor para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) baseando-se no estudo de Decezaro (2018), que analisou a qualidade do esgoto bruto da Casa do Estudante Universitário – CEU II da UFSM em Santa Maria – RS, no período de setembro de 2015 a dezembro de 2017. O valor adotado para desenvolvimento deste projeto foi de 500 mg $DBO_{5,20}/L$. Após a definição da concentração de DBO, foi realizado o cálculo da carga de DBO presente no esgoto bruto que resultou em 1,75 Kg $DBO_{5,20} \cdot d^{-1}$.

Para as demais características do esgoto bruto, foram adotadas concentrações de acordo com o estudo de Decezaro (2018), e de acordo com o que recomenda Von Sperling (2014) para características físico-químicas de esgotos sanitários. As concentrações podem ser visualizadas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3– Características físico-químicas adotadas para o esgoto doméstico bruto.

Parâmetro	Concentração (mg/L)
SST	450
DBO ₅	500
DQO	800
Nitrogênio total	45
N amoniacal	25
Fósforo	5

Fonte: adaptado de Decezaro (2018); Von Sperling (2014) *apud* Arceivala (1981), Pessoa & Jordão (1995), Qasim (1985), Metcalf & Eddy (1991), Cavalcanti et al. (2001).

Tabela 4– Características microbiológicas adotadas para o esgoto doméstico bruto.

Organismo	Concentração (NMP/100 mL)
Coliformes totais	$2,4 \times 10^7$
<i>E.coli</i>	$7,7 \times 10^6$

Fonte: adaptado de Decezaro (2018).

4.3 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

4.3.1 Tanque séptico

Os tanques sépticos são unidades de tratamento de nível primário, geralmente utilizados para receber o esgoto de pequenas populações contribuintes. Segundo Von Sperling (2014, p.285) os tanques sépticos são “decantadores, onde os sólidos sedimentáveis são removidos para o fundo, constituindo o lodo, o qual permanece no fundo dos tanques por um tempo longo o suficiente para a sua estabilização. Esta estabilização se dá em condições anaeróbias”.

Para o dimensionamento do tanque séptico foi seguido os critérios da Norma ABNT NBR 7229/1993. De acordo com a NBR 7229 de 1993, para encontrar o volume útil do tanque séptico são necessários: o número de pessoas contribuintes; a contribuição *per capita* de despejos; o período de detenção, em dias; a taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente a tempo de acumulação de lodo fresco; e a contribuição de lodo fresco (ABNT, 1993). No aspecto construtivo, os tanques podem ter formato cilíndrico ou prismático

retangular. Para este projeto, optou-se pelo formato cilíndrico, pois se pretendeu minimizar a área útil em favor da profundidade.

4.3.2 *Wetlands* Construídos de escoamento Vertical

Para realizar o dimensionamento dos *wetlands* foram seguidos os critérios e informações contidos no boletim “Dimensionamento de *Wetlands* Construídos no Brasil” dos autores Von Sperling e Sezerino (2018).

Foram projetadas quatro unidades de WCV, considerando que três estarão em operação e uma em descanso. Duas das unidades serão constituídas por brita, e as outras duas por areia grossa como meio suporte, sendo que as unidades contendo areia grossa sofrerão alternância entre os leitos a cada 3,5 dias.

Os critérios de projeto empregados no WCV recebendo efluente previamente tratado englobam a taxa de aplicação orgânica superficial máxima e a taxa de aplicação hidráulica superficial máxima. Von Sperling e Sezerino (2018) recomendam valores de 10 a 20 $\text{gDBO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ para a taxa de aplicação orgânica e de 0,05 a 0,12 $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ para a taxa de aplicação hidráulica nesses sistemas.

Para este projeto, a taxa de aplicação orgânica superficial foi adotada, sendo de 16 $\text{gDBO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, posteriormente, calculou-se a taxa de aplicação hidráulica superficial.

4.3.3 Desinfecção

Após o tratamento do esgoto nas unidades de WCV, é necessário que ocorra a remoção de organismos patogênicos do efluente através do processo de desinfecção. A desinfecção não objetiva eliminar todos os microrganismos (esterilização), apenas, busca inativar seletivamente microrganismos presentes no esgoto sanitário, com ênfase nos que ameaçam a saúde humana (VON SPERLING, 2014).

Dentre os principais processos de remoção de organismos patogênicos, destaca-se o que faz uso de Radiação Ultravioleta (UV). Segundo Gonçalves et al. (2003, p.210) “no tratamento de esgotos sanitários, a radiação UV mostra-se altamente competitiva com a cloração”, pois, ao contrário do cloro, a radiação UV não gera subprodutos nos efluentes tratados. “Nenhum tipo de produto é adicionado à corrente líquida, resultando em processos

simples, de baixo custo e com pouca exigência de operação e manutenção” (GONÇALVES et al., 2003, p.210).

Sabendo disto, para a etapa de desinfecção, optou-se por dimensionar um Reator UV composto por lâmpadas germicidas emersas. O dimensionamento foi realizado tendo como base os estudos de Gonçalves (2003), visando, principalmente, a remoção de coliformes fecais termotolerantes, em especial a *Escherichia coli*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico são apresentados os cálculos efetuados para o dimensionamento de todas as unidades da ETE do tipo WCV; os respectivos resultados obtidos, e algumas considerações.

5.1 DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

5.1.1 Vazão afluyente de esgoto bruto (Q_{eb})

Conforme citado no item 4.2.2, a população de projeto é de 35 habitantes, e a contribuição *per capita* de esgoto foi definida em 100 L.d⁻¹. Sabendo disso, utilizou-se a equação 1 para encontrar a vazão afluyente de esgoto bruto:

$$Q_{eb} = Pop. \times Contribuição \textit{ per capita} \quad (1)$$

$$Q_{eb} = 35 \text{ hab} \times 100 \text{ L/hab.dia}$$

$$Q_{eb} = 3.500 \text{ L.d}^{-1} \text{ ou } 3,5 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$$

5.1.2 Unidade de tratamento preliminar

O tratamento preliminar visa à remoção de sólidos grosseiros dos esgotos. Esta etapa é de grande importância, pois promove a proteção das bombas e tubulações presentes no sistema, como também, a proteção das unidades seguintes do tratamento. Usualmente, a remoção de sólidos grosseiros é realizada por meio de grades, mas em alguns casos também podem ser utilizadas peneiras rotativas, estáticas ou trituradores (VON SPERLING, 2014).

Para o presente projeto, recomenda-se a aquisição de uma caixa de gradeamento modulada para ser instalada anteriormente ao tanque séptico. A caixa de gradeamento deve ser composta por grades finas (espaçamento entre 1 a 2 cm), e atender à vazão de projeto.

5.1.3 Dimensionamento do tanque séptico

O volume útil do tanque séptico foi calculado a partir da equação 2, de acordo com a NBR 7229 (ABNT, 1993):

$$V = 1000 + N(CT + KLf) \quad (2)$$

$$V = 1000 + 35 ((100 \times 0,83) + (65 \times 1))$$

$$V = 6.180 \text{ L ou } 6,2 \text{ m}^3$$

Onde:

V = volume útil, em litros;

N = número de pessoas ou unidades de contribuição;

C = contribuição de despejos ($\text{L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$);

T = período de detenção, em dias;

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias;

Lf = contribuição de lodo fresco ($\text{L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

Através do cálculo, o volume útil do tanque séptico resultou em $6,2 \text{ m}^3$. Os valores de contribuição de despejos, período de detenção, taxa de acumulação de lodo e contribuição de lodo fresco, atribuídos à equação, foram definidos conforme o que indica a NBR 7229 (ABNT, 1993).

Esta Norma (NBR 7229/1993) estipula ainda, profundidades mínimas e máximas para a unidade de tanque séptico por faixa de volume útil; para volume útil na faixa de $6,0$ a $10,0 \text{ m}^3$, a profundidade útil mínima deve ser de $1,50$ metros e a profundidade útil máxima de $2,50$ metros. Portanto, adotou-se uma profundidade útil de $2,30$ metros para o tanque, a este valor foi adicionado $0,50$ m, com objetivo de respeitar a distância entre o nível do líquido e o tampão de fechamento, resultando numa profundidade total do tanque de $2,80$ metros. O tanque séptico será de câmara única, com diâmetro interno de $1,90$ metros, o mínimo sugerido pela Norma é de $1,10$ m.

Von Sperling (2014) relata a eficiência típica de remoção de DBO em tanques sépticos entre 30 e 35% . Considerando 35% de eficiência de remoção de DBO no tratamento primário, obteve-se a concentração efluente de DBO_{efl} a partir da equação 3.

$$\text{DBO}_{\text{efl}} = (1 - (E/100)) \times \text{DBO}_{\text{eb}} \quad (3)$$

$$\text{DBO}_{\text{efl}} = (1 - 0,35) \times 500$$

$$\text{DBO}_{\text{efl}} = 325 \text{ mg DBO.L}^{-1}$$

Onde:

E = eficiência de remoção (%);

DBO_{eb} = concentração de DBO no esgoto bruto (mg DBO/L).

A concentração de DBO no efluente do tanque séptico resultou em 325 mg DBO. L⁻¹.

5.1.4 Poço de sucção e vazão de aplicação

Imediatamente após a unidade de tanque séptico, foi projetado um poço de sucção. Este poço receberá o efluente do tanque séptico, e terá por finalidade aumentar a vida útil das bombas que irão realizar o recalque do esgoto até as unidades de WCV.

O poço de sucção comportará duas bombas submersíveis que serão utilizadas de forma intermitente para a alimentação dos WCV; a atuação das bombas será programada por automação, de forma que elas operem em alternância. Levando em consideração o baixo fluxo de vazão por aplicação, optou-se pela utilização de bombas de menor potência, sendo escolhido o modelo BRAVA EV05 com potencia de 0,5 CV, da marca Schneider Motobombas.

Segundo Von Sperling & Sezerino (2018), em *wetlands* construídos de escoamento vertical a frequência de dosagem do afluente deve ser num período entre 2 a 8 horas; o intervalo de alimentação desse tipo de *wetland* é maior para garantir que a superfície do leito seque durante o repouso. Desta forma, a alimentação dos *wetlands* ocorrerá em bateladas, inicialmente, com frequência de aplicação a cada 2 horas, totalizando 12 doses diárias. Calculou-se a vazão de cada aplicação através da equação4:

$$Q_{ap} = Q_{méd}/n \quad (4)$$

$$Q_{ap} = 3,5 / 12$$

$$Q_{ap} = 0,29 \text{ m}^3 \text{ por aplicação}$$

Onde:

Q_{ap} = vazão de aplicação (m³);

$Q_{méd}$ = vazão de projeto (m³/dia);

n = número de aplicações diárias.

A vazão de aplicação, de acordo com as configurações desejadas para a fase inicial de operação, é de 0,29 m³ por aplicação. Essa vazão será recalçada por bombeamento, sendo distribuída para três unidades de WCV em operação.

O poço de sucção foi dimensionado considerando-se o pior cenário de operação, tendo em vista que a frequência de alimentação e a vazão de aplicação podem ser alteradas posteriormente, conforme houver necessidade. Desta forma, foi considerada uma frequência de dosagem de 8 horas (3 vezes ao dia) e uma vazão de aplicação correspondente, de 1,17 m³ por aplicação, como mostrado a seguir:

$$V_{\text{útil}} = (Q \times T) / 4 \quad (5)$$

$$V_{\text{útil}} = (1,17 \times 8) / 4$$

$$V_{\text{útil}} = 2,4 \text{ m}^3$$

Onde:

$V_{\text{útil}}$ = volume útil do poço de sucção (m³);

Q = vazão de cada aplicação, considerando 3 aplicações por dia (m³);

T = intervalo do ciclo da bomba (horas).

O volume útil corresponde ao nível mínimo e máximo de operação das bombas. Ao volume útil foi adicionado 1,0 m³ a mais, resultando em um volume efetivo, entre o fundo do poço e o nível médio de operação, de 3,4 m³. O poço de sucção conta com uma inclinação de 2:1 no fundo, visando evitar o depósito de sedimentos (zonas mortas).

5.1.5 Dimensionamento dos WCV

Inicialmente, para o dimensionamento do sistema de WCV considerou-se a concentração e a carga de DBO do efluente do tanque séptico. Os valores podem ser visualizados no Quadro 2.

Quadro 2– Qualidade do efluente do tanque séptico em termos de DBO.

Conc. de DBO efluente do T.S.	325 mg DBO/L
Carga de DBO efluente do T.S.	1,14 kg DBO/dia

Fonte: Autor.

A área superficial de cada unidade de WCV foi calculada a partir da adoção de um valor para a taxa de aplicação orgânica superficial máxima; o valor adotado foi de 16 g DBO.m⁻².d⁻¹ dentro da faixa recomendada por Von Sperling & Sezerino (2018). Von Sperling & Sezerino (2018, p.31) afirmam que “a área superficial requerida das unidades em operação é o quociente entre a carga de DBO afluente ao *wetland* e a taxa de aplicação orgânica superficial adotada”. Conforme a equação 6:

$$A_s = \text{Carga DBO}_{\text{af}} / \text{TAO}_{\text{máx}} \quad (6)$$

$$A_s = 1137,5 / 16$$

$$A_s = 71,09 \text{ m}^2$$

Onde:

A_s = área superficial requerida (m²);

TAO = taxa de aplicação orgânica superficial máxima (g DBO.m⁻².d⁻¹).

A área superficial requerida resultante da equação 6 foi arredondada para 71 m², e através desse valor verificou-se a taxa de aplicação hidráulica superficial, como mostra a equação 7.

$$\text{TAH} = Q_{\text{méd}} / A_s \quad (7)$$

$$\text{TAH} = 3,5 / 71$$

$$\text{TAH} = 0,05 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}$$

Onde:

TAH = taxa de aplicação hidráulica superficial (m³.m⁻².d);

$Q_{\text{méd}}$ = vazão de projeto (m³/d);

A_s = área superficial requerida (m²).

O valor resultante da taxa de aplicação hidráulica foi de 0,05 m³.m⁻².d e apresenta-se dentro da faixa usual de 0,05 a 0,12 m³.m⁻².d. De acordo com Von Sperling & Sezerino (2018, p.57), “caso a taxa de aplicação hidráulica esteja dentro de valores aceitáveis, a área requerida poderá ser considerada como a área superficial adotada”. A área superficial foi dividida pelo número de unidades do *wetland* em operação (3 unidades), logo, cada unidade deverá ter uma área superficial de 23,70 m², sendo que a quarta unidade (em descanso) também terá a mesma área superficial.

Tendo o conhecimento da área das unidades de WC, determinou-se o comprimento e a largura de cada unidade. Optou-se por uma relação comprimento/largura com valor de 2:1, visando adequar melhor os WC ao terreno onde é prevista a implantação do sistema. Portanto, adotou-se a medida da largura de 3,40 metros e calculou-se a medida do comprimento, por meio da equação 8.

$$C = A_{\text{unidade}} / L \quad (8)$$

$$C = 23,70 / 3,40$$

$$C = 6,97 \text{ m} = \text{adotou-se } 7,00 \text{ metros.}$$

Onde:

C = comprimento (m);

L = largura (m);

A_{unidade} = área superficial de cada unidade (m^2).

A determinação da profundidade útil depende do tipo de WC e do material filtrante escolhido. “No caso de *wetlands* verticais, estipula-se a altura de cada camada do meio suporte (camadas de filtração, transição e de drenagem)” (VON SPERLING & SEZERINO, 2018, p. 59). Sabendo que, para este projeto, são previstas duas unidades de WCV com brita como meio filtrante e outras duas unidades com areia grossa como meio filtrante, seguem as especificações das camadas nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5– Especificações das camadas do meio suporte das unidades com brita.

Camada	Altura (m)	Material
Superior do meio suporte (H_{sup})	-	-
Principal, de filtração (H_{int})	0,60	Brita 1
Transição (H_{trans})	-	-
Drenagem (H_{inf})	0,20	Brita 2
Borda livre (bL)	0,20	Não se aplica
Profundidade útil (m)		0,80
Profundidade total (m)		1,00

Fonte: Autor.

Tabela 6– Especificações das camadas do meio suporte das unidades com areia grossa.

Camada	Altura (m)	Material
Superior do meio suporte (H_{sup})	0,05	Brita 1
Principal, de filtração (H_{int})	0,50	Areia grossa
Transição (H_{trans})	0,05	Brita 0
Drenagem (H_{inf})	0,20	Brita 1
Borda livre (bL)	0,20	Não se aplica
Profundidade útil (m)		0,80
Profundidade total (m)		1,00

Fonte: Autor.

5.1.5.1 Detalhes hidráulicos e construtivos

As duas unidades do WCV com brita como material filtrante estarão em operação contínua, com alimentação intermitente. Já, as duas unidades restantes, com areia grossa como material filtrante, terão alternância entre os leitos a cada 3,5 dias, ou seja, uma unidade estará operando durante este período e a outra em descanso; optou-se assim para se evitar a colmatação do material filtrante, aumentando a vida útil do mesmo.

A entrada e distribuição do afluente nos *wetlands* devem ocorrer por meio de tubulações dispostas de maneira que permita a distribuição uniforme do afluente em toda a área superficial da unidade (VON SPERLING & SEZERINO, 2018). As tubulações de distribuição devem ser assentadas na parte superior do leito, evitando assim a propagação de odores; a distribuição deverá ocorrer por meio de três linhas de tubo PVC de 32 mm de diâmetro, com orifícios de 6 mm de diâmetro com espaço de 15 cm entre eles. Para a definição dos diâmetros de tubulação de entrada e de saída, utilizaram-se como base as características do WCFV apresentado por Decezaró (2016) em seu estudo.

As unidades devem contar com um sistema de drenagem, na parte inferior do leito, composto por três linhas de tubulação PVC de 40 mm de diâmetro, com orifícios de 8 mm de diâmetro com espaçamento de 10 cm entre eles; as tubulações devem ser assentadas acima de uma camada de 5 cm de brita. Em cada linha de tubulação de drenagem deve ser acoplada uma tubulação de mesmo diâmetro, que irá aflorar à superfície do leito, com a extremidade aberta para a atmosfera (VON SPERLING & SEZERINO, 2018); essas tubulações são denominadas tubos de ventilação e tem como objetivo aerar a parte inferior dos WCV.

O sistema de drenagem irá captar a água residuária que percolou e direciona-la até a caixa de coleta. A caixa de coleta terá as seguintes dimensões: 0,50 m de largura, 0,50 m de comprimento e 0,85 m de altura; composta por uma tubulação de 40 mm de diâmetro que permite a variação do nível d'água dentro de cada unidade. “Usualmente esta tubulação é colocada em sua altura mínima, de forma a que o nível d'água dentro da unidade situe-se próximo ao fundo, garantindo que o meio suporte permaneça não saturado” (VON SPERLING & SEZERINO, 2018, p.28).

Antes de adicionar o material de preenchimento dentro da unidade, é imprescindível que haja a impermeabilização do fundo do leito e das paredes internas. Von Sperling & Sezerino (2018) sugerem a utilização de materiais que garantam a impermeabilização e resistência mecânica e aos impactos da radiação solar, quando em locais expostos. O material de impermeabilização escolhido para este projeto foi a geomembrana de PEAD, com espessura mínima de 1,0 mm.

Por fim, é prevista a utilização de plantas da espécie *Canna L.* (cana índica), por terem demonstrado boas condições operacionais no estudo de Decezaró (2018) e por apresentarem aspectos paisagísticos. Segundo Decezaró (2018, p.93) “a *Canna* teve um desenvolvimento perene em todas as estações do ano monitoradas”. Para o transplante, recomenda-se 3 mudas por m².

5.1.6 Medidor de vazão efluente do WCV

É necessário, após a caixa de coleta do efluente de cada unidade de WCFV, que haja um dispositivo medidor de vazão. Este dispositivo tem como finalidade a obtenção de dados de vazão do efluente, possibilitando o monitoramento operacional das unidades.

Para este projeto, devido à baixa vazão efluente das unidades de *wetlands* construídos, optou-se pela instalação de uma calha medidora de vazão do tipo Palmer da SanecomFibra. Segundo o fabricante, este tipo de calha é indicada quando o canal, ao qual se deseja medir a vazão, é parcialmente fechado (tubulações). O tamanho da Palmer varia conforme o diâmetro da tubulação. Este tipo de calha conta com um suporte para adaptar medidor ultrassônico, caso se faça necessário.

5.1.7 Reator UV

Considerou-se para o dimensionamento do reator UV a utilização de lâmpadas UV com 30 W de potência nominal, com eficiência de 10 W a 254 nm; absorvância do efluente tratado, proveniente dos WCs de 0,300 u.a/cm, valor de dose efetiva de 20 mJ/cm² e adotou-se a espessura de 3,0 cm para a lâmina d'água dentro da câmara, em razão de as lâmpadas UV ficarem emersas. O reator deve ser fabricado em alumínio, pois, de acordo com Gonçalves et al. (2003, p. 267) “a eficiência de reflexão da radiação UV estimada para o refletor de alumínio é de 70%”.

O valor da dose de UV para inativação de *E. coli* (20 mJ/cm²) foi baseada em resultados dos estudos de Gonçalves et al. (2003), Li et al. (2009) e Wang et al. (2012); com o intuito de apresentar eficiência mínima de 2 log de inativação.

Inicialmente, calculou-se a dose aplicada; após, calculou-se a dose aplicada por volume e em seguida, pode-se estimar o número de lâmpadas necessárias para a desinfecção. O desenvolvimento dos cálculos é dado a seguir:

$$Da = \frac{D \cdot \alpha \cdot L}{(1 - e^{-\alpha L})} \quad (9)$$

$$Da = \frac{20 \cdot 0,691 \cdot 3}{(1 - e^{-0,691 \cdot 3})}$$

$$Da = 47,43 \text{ mJ/cm}^2$$

Onde:

Da = dose aplicada (mJ/cm²);

D = dose efetiva (mJ/cm²);

α = absorvância x Ln(10) = 0,300 x 2,303 = 0,691;

L = altura da lâmina d'água (cm).

$$Dav = \frac{Da}{L} \cdot 0,2778 \quad (10)$$

$$Dav = \frac{47,43}{3} \cdot 0,2778$$

$$Dav = 4,39 \text{ Wh/m}^3$$

Onde:

Dav = dose aplicada por volume (Wh/m³);

D_a = dose aplicada (mJ/cm^2);

L = altura da lâmina d'água (cm);

0,2778 = fator de conversão.

Para a definição do número de lâmpadas necessárias foi preciso utilizar a vazão máxima de aplicação, que foi calculada a partir da vazão de aplicação, considerando um cenário de alimentação com intervalo de 8 horas (3 vezes ao dia); multiplicando a vazão de $1,17 \text{ m}^3$ por aplicação pelo coeficiente K_1 e K_2 (1,2 e 1,5, respectivamente), resultando no valor de $2,106 \text{ m}^3$ que deverá ser drenado no WCV em até 1 hora.

$$n = \frac{Q_{\text{máx}} \cdot D_{av}}{P_{254} \cdot f} \quad (11)$$

$$n = \frac{2,106 \cdot 4,39}{10 \cdot 0,7}$$

$$n = 1,32 \rightarrow 2 \text{ lâmpadas UV}$$

Onde:

n = número de lâmpadas.

$Q_{\text{máx}}$ = vazão máxima de aplicação (m^3/h);

D_{av} = dose aplicada por volume (Wh/m^3);

P_{254} = potencia de eficiência em 254 nm (W);

f = eficiência do refletor de alumínio (70%).

Após definido que serão necessárias 2 lâmpadas UV para este reator, realizaram-se os cálculos de volume e área necessária para a câmara de desinfecção do reator UV. Adotou-se um tempo de exposição mínimo do líquido à lâmpada, referente à vazão máxima de aplicação, de 30 segundos. Portanto:

$$V = Q_{\text{máx}} \cdot t \quad (12)$$

$$V = 0,000585 \cdot 30$$

$$V = 0,018 \text{ m}^3$$

Onde:

V = volume da câmara de desinfecção (m^3);

$Q_{\text{máx}}$ = vazão máxima de aplicação (m^3/s);

t = tempo de exposição mínimo (s).

$$A = V / L \quad (13)$$

$$A = 0,018 / 0,03$$

$$A = 0,59 \text{ m}^2$$

Onde:

A = área total da câmara de desinfecção (m²);

V = volume da câmara de desinfecção (m³);

L = altura da lâmina d'água (m).

Por fim, confere-se a dose aplicada no reator por meio da equação 14.

$$Da (reator) = \left(\frac{n \cdot P_{254} \cdot f}{A} \right) t \quad (14)$$

$$Da (reator) = \left(\frac{2 \cdot 10 \cdot 0,7}{5850} \right) \cdot 30$$

$$Da (reator) = 0,071 \text{ J/cm}^2 \text{ (x1000)}$$

$$Da (reator) = 71,79 \text{ mJ/cm}^2$$

Onde:

Da (reator) = dose aplicada no reator de acordo com a configuração escolhida (mJ/cm²);

n = número de lâmpadas;

P₂₅₄ = potencia de eficiência em 254 nm (W);

f = eficiência do refletor de alumínio (70%);

A = área total da câmara de desinfecção (cm²);

t = tempo de exposição mínimo (s).

A dose aplicada obtida com a configuração escolhida para o reator resultou em um valor superior em relação à dose aplicada adotada para o dimensionamento. Isso se deve à vazão para desinfecção, resultando na necessidade de “1,32” lâmpadas, a qual foi ajustada para 2 lâmpadas. Com a dose aplicada superior, trabalha-se-á na segurança do processo de desinfecção, possibilitando a inativação de microrganismos mais resistentes que a *E. coli*, como cistos e oocistos de protozoários e ovos de helmintos. A câmara de desinfecção necessitará das seguintes dimensões: 0,95 m de comprimento, 0,65 m de largura.

5.2 EFICIÊNCIA ESPERADA DO SISTEMA

As eficiências esperadas do sistema foram estimadas de acordo com o boletim desenvolvido por Von Sperling & Sezerino (2018), onde relatam valores de eficiências globais de remoção de poluentes em sistemas de WCV recebendo efluente de tratamento primário em tanques sépticos. Os valores de eficiência esperados são demonstrados no Quadro 3.

Quadro 3– Eficiências de remoção de poluentes esperadas do conjunto T.S + WCFV.

Parâmetro	Eficiência de remoção (%)
DBO	> 85
DQO	> 80
SST	> 85
N amoniacal	> 85
N total	< 40
Fósforo total	< 20
Coliformes termotolerantes	1 – 2 unidades log

Fonte: Von Sperling & Sezerino (2018).

Para a etapa de desinfecção espera-se uma eficiência de remoção de *Escherichia coli* de 2 unidades log, segundo experiências relatadas por Gonçalves et al. (2003). Portanto, ao somar à remoção do WCV, espera-se, no mínimo 4 unidades log de remoção e efluente final com concentração de *E. coli* menor que 10^3 NMP/100mL.

Visando alcançar eficiências de remoção de Nitrogênio total mais elevadas, recomenda-se saturar o fundo do leito do WCV; este processo ocorre através da elevação do controlador de nível na caixa de coleta do efluente, e proporciona condições anóxicas ao meio favorecendo a desnitrificação. Mais informações podem ser encontradas no item 3.2.2 deste documento.

Alcançando os valores esperados de eficiência citados no Quadro 3, o sistema estará de acordo com os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pelas Resoluções CONAMA 430 (Brasil, 2011) e CONSEMA 355 (Rio Grande do Sul, 2017), como mostrado no quadro 4.

Quadro 4– Estimativa das concentrações de poluentes após o tratamento e comparação com as Resoluções CONAMA 430/2011 e CONSEMA 355/2017.

Parâmetros	Conc. esgoto bruto (mg/L)	Eficiência esperada (%)	Conc. esgoto efluente (mg/L)	CONAMA 430	CONSEMA 355
DBO	500	85	75	120 mg/L	120 mg/L
DQO	800	80	160	-	330 mg/L
SST	450	85	67,5	-	140 mg/L
Fósforo	5	20	4	-	4 mg/L
N amoniacal	25	85	3,75	-	20 mg/L

Fonte: autor.

As estimativas das concentrações de poluentes no efluente do sistema foram realizadas utilizando a seguinte equação:

$$\text{Conc}_{\text{efluente}} = (1 - (E/100)) \times \text{Conc}_{\text{esgotobruto}} \quad (15)$$

Onde:

$\text{Conc}_{\text{efluente}}$ = concentração do parâmetro no efluente do sistema (mg/L);

E = eficiência de remoção esperada (%);

$\text{Conc}_{\text{esgotobruto}}$ = concentração do parâmetro no esgoto bruto (mg/L).

6 CONCLUSÃO

Por meio da elaboração do projeto executivo de uma Estação de Tratamento de Esgotos do tipo *Wetlands* Construídos de escoamento Vertical, o presente trabalho buscou solucionar o problema do sistema de esgotamento sanitário de um prédio de moradia estudantil composto por 35 habitantes. O projeto, além de ser considerado uma solução para a problemática enfrentada, também foi pensado como uma futura ferramenta para fomentar o ensino e a pesquisa na Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen, local onde será implantado.

A principal dificuldade encontrada na elaboração de um projeto neste formato foi a pouca disponibilidade de experiências com *wetlands* construídos de escoamento vertical nacionais, em escala real. Por se tratar de uma tecnologia inovadora no País, a literatura a respeito do dimensionamento de WC é limitada; encontra-se um acervo mais amplo de informações em experiências internacionais.

Destaca-se, que a composição das unidades de WCV, presentes neste projeto, possibilita a pesquisa a cerca do tratamento de esgotos domésticos com a comparação do desempenho de diferentes materiais filtrantes, podendo ainda, ser modificada a estrutura operacional das unidades com a opção de saturar o fundo do leito dos *wetlands* verticais, transformando-os em WCV-FS. O propósito desta versatilidade nos WC é de possibilitar melhorias na eficiência de tratamento, sendo viável economicamente.

As eficiências de remoção de poluentes, principalmente para parâmetros orgânicos como DBO e DQO, recomendadas pela literatura para este sistema como um todo, satisfazem o que determinam as Resoluções CONAMA 430/2011 e CONSEMA 355/2017 para lançamento de efluentes sanitários em corpos hídricos. Salienta-se, que para este sistema, também é possível realizar o armazenamento do esgoto tratado e desinfetado, em reservatórios, para posterior reuso.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BASSANI, Leandro et al. **Feeding mode influence on treatment performance of unsaturated and partially saturated vertical flow constructed wetland**. Science of Total Environment. p. 1-8. set. 2020.

BENASSI, Roseli Frederigi et al. (org.). **Manual de sistemas de wetlands construídas para o tratamento de esgoto sanitário: implantação, operação e manutenção**. Santo André - SP: UFABC, 2018.

BRASIL. **Atlas do Saneamento – 2011. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm> Acesso em: 14 dez. 2020.

BRASIL. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Ministério do Meio Ambiente: Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília.

DECEZARO, S. T. **Nitrificação e remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos de efluente doméstico em wetland construído de fluxo vertical**. Santa Maria, 2016.

DECEZARO, S. T. **Sistema de tanque séptico e wetland construído vertical com recirculação para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de esgoto doméstico**. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

DOTRO, G. et al. **Treatment Wetlands**. IWA, 2017. 7 v. (Biological Wastewater Treatment Series).

GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de efluentes sanitários**. Vitória - ES: PROSAB, 2003.

LI, D.; Craik, S. A.; Smith, D. W.; Belosevic, M. Infectivity of Giardia lamblia cysts obtained from wastewater treated with ultraviolet light. **Water Research**. v. 43, p. 3037-3046. 2009.

METCALF&EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5. ed. Nova Iorque: Amgh Editora Ltda, 2016.

PNAD. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**, 2012. Disponível em: <www.ibge.com.br>. Acesso em: 12 jan. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução nº 355, de 19 de julho de 2017**. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: CONSEMA. Porto Alegre

SANTOS, A. B. et al. (org.). **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza: IMPRECE, 2019. 812 p. RENTED.

SEZERINO, P. H. et al. **WETLANDS CONSTRUÍDOS APLICADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção**. Tubarão: UFSC, 2018.

SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: II.

TONETTI, A. L. et al. **TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS EM COMUNIDADES ISOLADAS: referencial para a escolha de soluções**. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018.

VIDAL, G.; HORMAZÁBAL, Sujey. **Humedales Construídos: diseño y operación**. Concepción: Trama Impresores S.A, 2018.

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

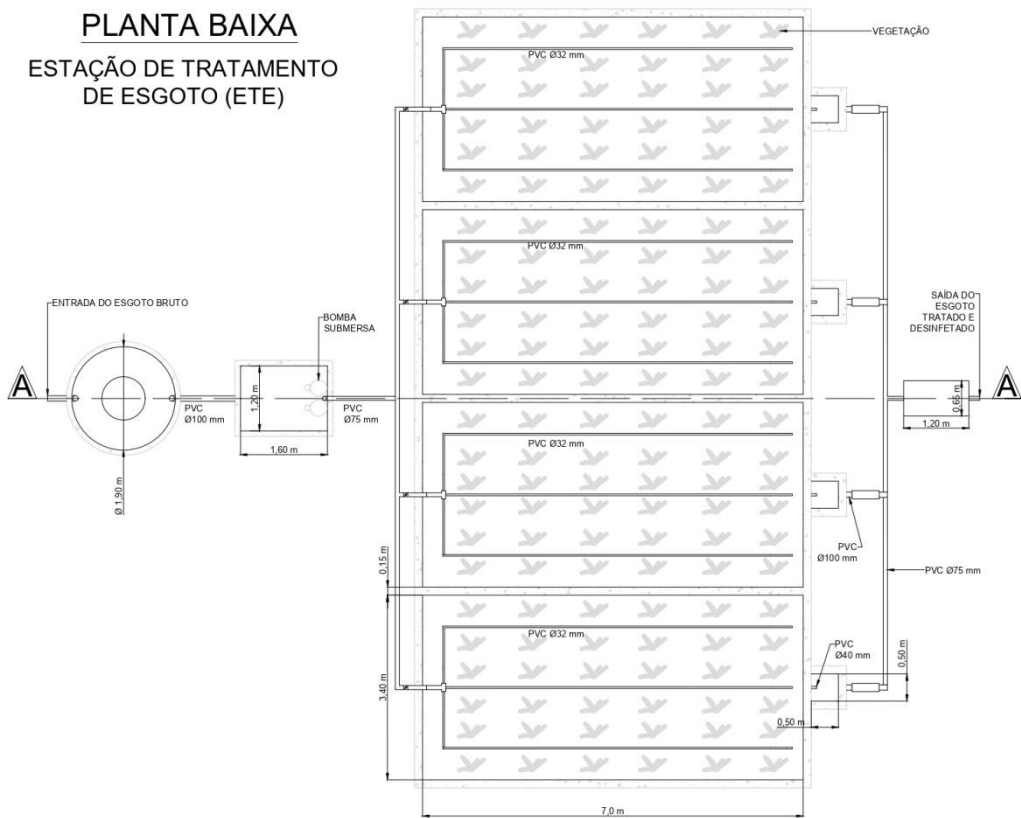
VON SPERLING, M.; Sezerino, P.H. (2018). **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil**. *Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial*, novembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <<http://gesad.ufsc.br/boletins/>>.

WANG, X.; Hu, X.; Wang, H.; Hu, C. Synergistic effect of the sequential use of UV irradiation and chlorine to disinfect reclaimed water. **Water Research**. vol. 46, p. 1225-1232. 2012.

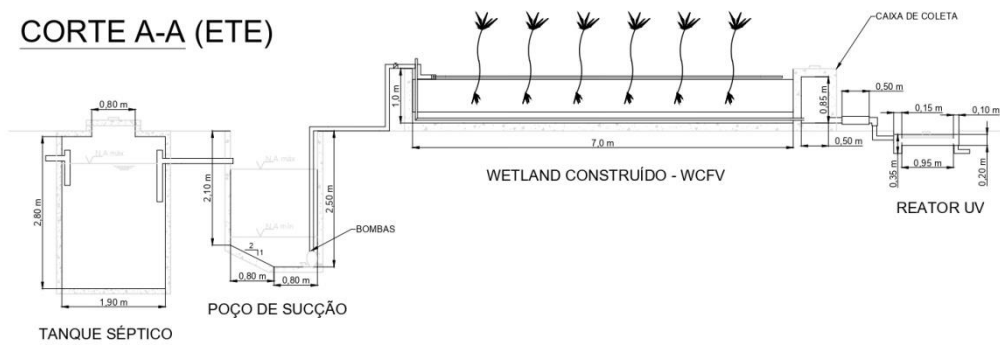
WEBER, C. F. **Proposta de dimensionamento e implantação de wetlands construídos em sistema individual de tratamento de esgoto sanitário**. 70 f. TCC - Curso de Técnico em Processos Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba, 2015.

ANEXO A - Planta baixa da Estação de Tratamento

PLANTA BAIXA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ESGOTO (ETE)



CORTE A-A (ETE)



Universidade Federal de Santa Maria <i>campus</i> Frederico Westphalen Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária		
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO		Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso
Autora: Paola Bertoncetto Bueno	Folha: A3	Data: Janeiro de 2021
Orientador: Prof ^o Dr. Raphael C. Medeiros	Escala: 1:75	

ANEXO B - Detalhamento das principais unidades de tratamento.

