

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

Mateus da Rosa

**IMPLANTAÇÃO E INÍCIO DE OPERAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COM WETLANDS CONSTRUÍDOS EM
CASA DO ESTUDANTE UNIVERSITÁRIO.**

Frederico Westphalen, RS
2023

Mateus da Rosa

**IMPLANTAÇÃO E INÍCIO DE OPERAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COM WETLANDS CONSTRUÍDOS EM CASA DO
ESTUDANTE UNIVERSITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária
da Universidade Federal de Santa Maria-
Campus Frederico Westphalen (UFSM-FW)
para obtenção do título de **Engenheiro
Ambiental e Sanitarista.**

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Samara Terezinha Decezaro

Frederico Westphalen, RS

2023

Mateus da Rosa

**IMPLANTAÇÃO E INÍCIO DE OPERAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COM WETLANDS CONSTRUÍDOS EM CASA DO
ESTUDANTE UNIVERSITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária
da Universidade Federal de Santa Maria-
Campus Frederico Westphalen (UFSM-FW)
para obtenção do grau de **Engenheiro
Ambiental e Sanitarista**.

Aprovado em 04 de dezembro de 2023:

Samara Terezinha Decezaro. Dr^a (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Raphael Corrêa Medeiros. Dr. (UFSM)

Gabriela Anzanello. Eng. Amb. e Sanit. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS

2023

Dedico este trabalho à minha família e a todos aqueles que buscam uma graduação e carregam consigo a esperança de melhorar de vida através da educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela persistência, fé e coragem para seguir em frente e concluir mais essa etapa. Uma etapa muito árdua, em que passei por momentos muito difíceis, acabei me perdendo de mim mesmo, mas finalmente me encontrei. Nesse período, me afastei d'Ele, mas Ele sempre esteve presente, mesmo quando eu estava distante.

Agradeço imensamente a minha mãe, Janete, por ser a pessoa mais incrível do mundo, possuir o maior coração, me incentivar e me apoiar incondicionalmente, oferecendo carinho, aconchego e afago, quando os dias se tornavam cinzas e tristes. Agradeço a meu pai, Altair, por ser exemplo de caráter, honra, comprometimento e, mesmo passando por problemas de saúde, sempre manteve os braços abertos para oferecer um abraço.

Agradeço às minhas irmãs, Mônica e Michele, por serem luz na minha vida, proporcionar sorrisos e alegrias, mesmo nos momentos mais difíceis e quando tudo parecia sem sentido. Agradeço também meus cunhados, Júnior e Leandro, por todo o apoio e a toda minha família, pelo incentivo que sempre recebi.

Registro aqui um agradecimento muito especial à Gilmara Braun e Milena Soares Binsfeld, sem dúvidas, os melhores presentes que a universidade me proporcionou, sem vocês, com toda a certeza, jamais teria concluído essa caminhada, agradeço a tantos momentos vividos e memórias construídas, além de tantos trabalhos e conhecimentos adquiridos e compartilhados. Levarei para sempre em meu coração, todas as risadas e conselhos que recebi, muito além da sala de aula, me ajudaram a me encontrar e me entender.

Agradeço muito à minha orientadora, professora Dr.^a Samara Terezinha Decezaro, por todo conhecimento compartilhado, pelo incentivo e por todos os momentos muito além da sala de aula. Mais que uma mestra, se tornou uma amiga, me aconselhando em questões além do papel de orientadora. Foi e será sempre uma grande inspiração para prosseguir na caminhada acadêmica.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, especialmente ao grupo de pesquisa GESAR- Grupo de Estudos em Saneamento Rural, por todo conhecimento compartilhado e momentos vividos. Agradeço a todo o corpo docente da instituição, técnicos e demais funcionários, que de uma forma ou de outra, possibilitaram a conclusão deste trabalho.

*“Ando devagar porque já tive pressa
E levo esse sorriso
Porque já chorei demais
Hoje me sinto mais forte
Mais feliz, quem sabe
Só levo a certeza
De que muito pouco sei
Ou nada sei...”*

(Almir Sater e Renato Teixeira,1990)

RESUMO

IMPLANTAÇÃO E INÍCIO DE OPERAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM WETLANDS CONSTRUÍDOS EM CASA DO ESTUDANTE UNIVERSITÁRIO

AUTOR: Mateus da Rosa

ORIENTADORA: Samara Terezinha Decezaro

O tratamento de esgotos de forma descentralizada é uma opção viável, especialmente em comunidades isoladas e locais de difícil acesso; dessa forma, a utilização de wetlands construídos é uma opção vantajosa, devido ao baixo custo de operação e manutenção e simplicidade de operação, além de embelezamento paisagístico proporcionado. O objetivo do trabalho foi acompanhar a instalação e início de operação de uma estação de tratamento de esgoto, junto à Casa do Estudante Universitário, da Universidade Federal de Santa Maria, em Frederico Westphalen. A estação é composta por tanque séptico, poço de sucção, wetlands construído de fluxo subsuperficial vertical de fundo saturado e desinfecção por radiação ultravioleta. Os wetlands construídos possuem quatro módulos: dois possuem brita e dois, areia grossa como meio filtrante; um módulo de areia possui altura de saturação de 0,15 m e o outro, altura de saturação de 0,25 m, bem com os módulos de brita. Os módulos de areia operam de forma intercalada e os de brita operam de forma simultânea. Ambos os módulos foram transplantados com *Canna x generalis*. A distribuição do afluente é realizada por bomba, regulada por boia; cada pulso possui volume de 950 litros, que foi regulado pela boia, com vazão de 45 litros/minuto e taxa de aplicação hidráulica de 13,3 litros/m².pulso. A implantação seguiu as normas vigentes, bem como os manuais de especialistas na área. Foram realizadas adequações necessárias ao projeto inicial, adicionadas calhas coletoras, amostradores microbiológicos e piezômetros, para possibilitar análises físico-químicas, microbiológicas e hidráulicas, respectivamente. Também foram realizadas análises qualitativas e quantitativas, no afluente e efluente dos wetlands, além do estabelecimento de rotina operacional para a estação. A estação alcançou um desempenho satisfatório, considerando o início de operação, de acordo com as exigências legais. Foi alcançada maior remoção nos wetlands construídos de areia, em todos os parâmetros, chegando a 86% para demanda química de oxigênio, 62% para nitrogênio amoniacal e 94% para sólidos suspensos totais. Também foi verificada queda no valor de pH nos wetlands construídos de areia. Foi estabelecida a rotina operacional da estação, com atividades diárias, semanais, mensais e pontuais. Pode-se concluir que todas as modificações realizadas, contribuíram significativamente para a melhora do desempenho da estação e que a mesma apresenta índices de remoção satisfatórios.

Palavras-chave: Tratamento descentralizado. Saturação de fundo. Remoção de contaminantes. Wetlands verticais. Material filtrante.

ABSTRACT

IMPLEMENTATION AND START OF OPERATION OF A SEWAGE TREATMENT PLANT WITH WETLANDS BUILT IN A UNIVERSITY STUDENT'S HOME

AUTHOR: Mateus da Rosa
ADVISOR: Samara Terezinha Decezaro

Decentralized sewage treatment is a viable option, especially in isolated communities and difficult-to-access locations; Therefore, the use of constructed wetlands is an advantageous option, due to the low cost of operation and maintenance and simplicity of operation, in addition to the landscape beautification provided. The objective of the work was to monitor the installation and start of operation of a sewage treatment plant, next to the University Student House, at the Federal University of Santa Maria, in Frederico Westphalen. The station consists of a septic tank, suction well, wetlands constructed of saturated bottom vertical subsurface flow and ultraviolet radiation disinfection. The constructed wetlands have four modules: two have gravel and two have coarse sand as filtering media; one sand module has a saturation height of 0.15 m and the other, a saturation height of 0.25 m, as well as the crushed stone modules. The sand modules operate interspersed and the gravel modules operate simultaneously. Both modules were transplanted with *Canna x generalis*. The distribution of the influent is carried out by a pump, regulated by a float; each pulse has a volume of 950 liters, which was regulated by the float, with a flow rate of 45 liters/minute and a hydraulic application rate of 13.3 liters/m².pulse. The implementation followed current standards, as well as manuals from experts in the field. Necessary adjustments were made to the initial project, adding collection gutters, microbiological samplers and piezometers, to enable physical-chemical, microbiological and hydraulic analyses, respectively. Qualitative and quantitative analyzes were also carried out on the influent and effluent of the wetlands, in addition to establishing an operational routine for the station. The station achieved satisfactory performance, considering the start of operation, in accordance with legal requirements. Greater removal was achieved in wetlands constructed of sand, in all parameters, reaching 86% for chemical oxygen demand, 62% for ammonia nitrogen and 94% for total suspended solids. A drop in the pH value was also observed in wetlands built with sand. The station's operational routine was established, with daily, weekly, monthly and occasional activities. It can be concluded that all the modifications carried out contributed significantly to improving the station's performance and that it presents satisfactory removal rates.

Keywords: Decentralized treatment. Background saturation. Contaminant removal. Vertical wetlands. Filter material.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Etapas e mecanismos do tratamento de esgotos.

Figura 02: Esquema de um wetlands construído de fluxo superficial.

Figura 03: Representação de um sistema de wetlands construído de fluxo horizontal.

Figura 04: Representação de um sistema de wetlands construído de fluxo vertical.

Figura 05: Ciclo do nitrogênio no meio ambiente.

Figura 06: Esquema de wetlands construído de fluxo vertical com fundo saturado.

Figura 07: Representação dos diferentes tipos de macrófitas.

Figura 08: Biofilme formado em wetlands construídos.

Figura 09: Mapa de localização da área de instalação.

Figura 10: Pontos de coleta do esgoto bruto e do afluente de cada WC.

Figura 11: Fases de construção da ETE.

Figura 12: Localização dos blocos A e B da CEU no campus.

Figura 13: Bomba de recalque, tanque séptico e poço de sucção.

Figura 14: Profundidade de cada coletor, calha utilizada e piezômetros.

Figura 15: Boia que controla o acionamento da bomba que realiza o recalque do esgoto para os WCFV.

Figura 16: Medição da vazão de entrada do esgoto.

Figura 17: Vazão de saída em cada WCFV, quando estavam em operação as unidades: Areia 1, brita 1 e Brita 2.

Figura 18: Mudança realizada da tubulação de distribuição.

Figura 19: Tubulação de distribuição de 20mm.

Figura 20: Alturas de saturação do fundo de 15 cm e 25 cm, da esquerda para a direita, respectivamente.

Figura 21: Resultados das duas campanhas de amostras.

Figura 22: Limpeza da caixa de gradeamento após 45 dias de operação.

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Principais vantagens do tratamento descentralizado.

Quadro 02: Tipos de macrófitas, quanto ao enraizamento e características.

Quadro 03: Parâmetros analisados e métodos utilizados nas análises.

Quadro 04: Periodicidade e procedimentos a serem realizados na ETE.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Vazão em cada WCFV durante a primeira campanha de medição de vazão afluente.

Tabela 02: Vazão em cada WCFV durante a segunda campanha de medição de vazão afluente.

Tabela 03: Resultado da primeira campanha de amostras.

Tabela 04: Resultado da segunda campanha de amostras.

Tabela 05: Comparativo entre os estudos e os diferentes parâmetros analisados.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEU	Casa do Estudante Universitário
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DQO	Demanda química de oxigênio
ETE	Estação de tratamento de esgoto
N-NH ₄	Amônio
N-NO ₂	Nitrito
N-NO ₃	Nitrato
pH	Potencial hidrogeniônico
RNA	Ácido ribonucleico
SAC	Sistemas Alagados Construídos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UV	Radiação Ultravioleta
WC	Wetlands Construídos
WCFS	Wetlands Construídos de Fluxo Superficial
WCFSB	Wetlands Construídos de Fluxo Subsuperficial
WCFSBH	Wetlands Construídos de Fluxo Subsuperficial Horizontal
WCFSBV	Wetlands Construídas de Fluxo Subsuperficial Vertical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	O TRATAMENTO DE ESGOTOS NA ATUALIDADE	17
2.2	TRATAMENTO CENTRALIZADO E DESCENTRALIZADO.....	19
2.3	NÍVEIS, PROCESSOS E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO	21
2.3.1	Tratamento Preliminar	22
2.3.2	Tratamento Primário	23
2.3.3	Tratamento Secundário	24
2.3.4	Tratamento Terciário	24
2.4	WETLANDS CONSTRUÍDOS	25
2.4.1	Componentes do Sistema	26
2.4.1.1	Material Filtrante.....	26
2.4.1.2	Plantas	26
2.4.1.3	Microrganismos.....	28
2.5	CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS WETLANDS CONSTRUÍDOS	29
2.5.1	Wetlands construídas de fluxo superficial	29
2.5.2	Wetlands construídas de fluxo subsuperficial	30
2.5.2.1	Wetlands Construídos de Fluxo Subsuperficial Horizontal	30
2.5.2.2	Wetlands Construídas de Fluxo Subsuperficial Vertical.....	32
2.6	REMOÇÃO DE NITROGÊNIO E SATURAÇÃO DE FUNDO NOS WCFV ...	33
3	METODOLOGIA	36
3.1	ÁREA DE ESTUDO	36
3.2	ACOMPANHAMENTO DA EXECUÇÃO DA OBRA	36
3.3	ADEQUAÇÕES DO PROJETO	37
3.4	MUDANÇAS APÓS INÍCIO DE OPERAÇÃO	37
3.5	ESTABELECIMENTO DE ROTINA OPERACIONAL	37
3.6	CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO AFLUENTE E EFLUENTE.....	37
3.6.1	Caracterização Quantitativa	37
3.6.1.1	Caracterização quantitativa afluente	37

3.6.1.2	Caracterização quantitativa efluente	38
3.6.2	Caracterização Qualitativa.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	CONSTRUÇÃO DA ESTAÇÃO.....	40
4.2	MUDANÇAS DO PROJETO ORIGINAL.....	43
4.3	INÍCIO DE OPERAÇÃO.....	45
4.4	ANÁLISE QUANTITATIVA AFLUENTE	45
4.5	ANÁLISE QUANTITATIVA EFLUENTE	47
4.6	MUDANÇAS APÓS INÍCIO DE OPERAÇÃO	49
4.7	SATURAÇÃO DO FUNDO.....	51
4.8	ANÁLISES QUALITATIVAS	51
4.8	ESTABELECIMENTO DE ROTINA OPERACIONAL	56
4.9	RECOMENDAÇÕES	58
5	CONCLUSÃO	59
6	REFERÊNCIAS	60
	ANEXO A - PLANTA ORIGINAL DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO.....	65
	ANEXO B - DETALHAMENTO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO	66
	APÊNDICE A - PLANTA FINAL DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	67
	APÊNDICE B - DETALHAMENTO DAS UNIDADES	68

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico se refere ao conjunto de medidas adotadas para manter ou modificar condições do meio ambiente, a fim de prevenir doenças, promover a saúde e garantir o bem estar de uma comunidade (GOMES, 2021; ROCHA, 2018). O novo marco do saneamento básico, na forma da Lei 14.026, de 15 de julho de 2020, tem como princípio fundamental, a universalização do acesso ao saneamento, ampliando progressivamente o acesso dos domicílios a este serviço (GOMES, 2021).

A falta de acesso a esse serviço impacta diretamente na saúde e na qualidade de vida das pessoas, além de impactar todo o ecossistema nas proximidades, uma vez que o despejo de efluentes sem o devido tratamento, causa contaminação do solo e da água, além de agravar outros problemas, como a proliferação de mosquitos transmissores de doenças (GOMES, 2021).

Diante disso, a implantação de um sistema de tratamento de esgotos domésticos, na casa do estudante universitário (CEU) da UFSM-FW irá trazer grandes benefícios à comunidade acadêmica que utiliza as dependências da mesma, além de agregar muito conhecimento prático nas disciplinas relacionadas ao saneamento básico.

A construção da ETE também impactará diretamente as atividades de pesquisa, favorecendo inúmeras possibilidades de estudos relacionados ao material filtrante, análises biológicas e microbiológicas; além de proporcionar atividades de extensão, servindo de modelo para novas estações que utilizam o mesmo sistema, proporcionar visitas técnicas de escolas e demais entidades, contribuindo para a educação ambiental.

O tratamento do esgoto gerado pela CEU também se alia aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), em 2015, com o objetivo de garantir o desenvolvimento econômico, social e ambiental, através de 17 objetivos (ONU, 2023). Destes, destacam-se o objetivo 6- Água potável e saneamento, o objetivo 14- Vida na água, e o objetivo 15- Vida terrestre, pois o tratamento do esgoto antes de seu lançamento no corpo receptor, evita a contaminação da água e do solo.

Os wetlands construídos, sistema escolhido para o tratamento, apresentam como vantagens, a simplicidade de operação, baixo custo de operação e manutenção, embelezamento paisagístico e grande eficiência de remoção de contaminantes (BARSZCZ et al., 2019; BITTENCOURT, PAULA, 2014; IBRAHIN, IBRAHIN, CANTUÁRIA, 2015; MATHEUS, et al, 2018; VON SPERLING, 2014).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente estudo tem por objetivo acompanhar a instalação e o início de operação de um sistema de wetlands construídos de fluxo vertical (WCFV) junto à Casa do Estudante Universitário da Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen-RS.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Acompanhar a execução da obra de acordo com o projeto e com as normas e orientações técnicas aplicáveis.
- Realizar adequações ao projeto inicial conforme necessidade.
- Acompanhar o início de operação do sistema de tratamento, apontando soluções para possíveis problemas construtivos ou operacionais.
- Estabelecer uma rotina operacional para a estação de tratamento.
- Avaliar qualitativa e quantitativamente o afluente e efluente dos WCFV no início de operação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir são apresentados os tópicos e principais conceitos que embasam o presente trabalho, uma visão geral do panorama do tratamento de esgotos no Brasil, bem como o detalhamento de cada parte de um sistema wetlands.

2.1 O TRATAMENTO DE ESGOTOS NA ATUALIDADE

A geração de efluentes acompanha a humanidade desde os seus primórdios, sendo observados hábitos sanitários ao longo da história, muito antes de todo conhecimento sobre a contaminação do solo e da água, bem como a transmissão de doenças (ROCHA, 2018).

Em Nippur, por volta de 3.750 a. C. foram encontradas galerias de esgoto; em Pataliputra, no vale do rio Ganges, as ruas possuíam canais destinados ao lançamento de dejetos, bem como em Harappa, no vale do rio Indo. Na antiga Mesopotâmia (atual Síria) em 3.000 a.C. as casas possuíam privadas, banheiros e tubulação de esgoto (ROCHA, 2018).

Porém, historicamente, as soluções contemplavam apenas formas de afastamento dos dejetos para posterior lançamento no corpo receptor, sem realizar um tratamento antes de sua disposição final (ROCHA, 2018).

Com o avanço da tecnologia e a percepção das consequências e dos problemas causados ao meio ambiente, pelo lançamento dos efluentes sem o devido tratamento, foi-se percebendo a necessidade de realizar um tratamento antes de lançar o esgoto no corpo receptor.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 9648, esgoto sanitário é definido como “despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”.

Segundo a mesma norma, são apontadas as definições de cada um deles, sendo esgoto doméstico a água residuária gerada nas residências, oriundas da utilização da água para higiene e necessidades fisiológicas; esgoto industrial é a parcela de água residuária resultante dos mais diversos processos industriais, respeitando os padrões de lançamento e considerando as características específicas de cada indústria.

A norma define ainda que água de infiltração é toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema e que penetra nas canalizações. Da mesma forma, a contribuição pluvial parasitária é a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto.

As características do esgoto devem ser consideradas para a realização do seu tratamento, bem como a escolha do melhor tratamento, considerando os custos, área disponível

e eficiência de tratamento exigidas pela legislação, dentre outros parâmetros (NUVOLARI, 2011).

A composição do esgoto é de aproximadamente 99,87% de água, 0,04% de sólidos sedimentáveis, 0,02% de sólidos não sedimentáveis e 0,07% de substâncias dissolvidas. Diante disso, considerando a grande quantidade de água presente no esgoto, para o tratamento, seu escoamento é considerado como o da água (VASCONCELOS, 2020).

A realização de um tratamento antes do lançamento impacta diretamente na qualidade de meio ambiente no seu entorno, evitando a contaminação do solo e da água, contribuindo assim, para a conservação dos recursos naturais e preservação da fauna e da flora (VASCONCELOS, 2020).

Outro fato importante, diretamente relacionado ao tratamento de efluentes, é a diminuição da proliferação de doenças, como Hepatite A, leptospirose, febre tifoide, diarreia, cólera, entre outras. Dessa forma, o tratamento de esgotos contribui para o saneamento ambiental, promovendo melhor qualidade de vida para as comunidades envolvidas (VASCONCELOS, 2020).

O acesso ao saneamento básico enfrenta diversos entraves, sendo alguns, de natureza social, cultural e principalmente política. (SOUZA et al, 2015).

Diante da necessidade de tratamento dos afluentes, antes do seu lançamento no corpo receptor, passaram a ser empregadas as Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), cuja definição, de acordo com a Diretriz Técnica N.º 04/2019 da FEPAM, é:

Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário (ETE): sistema composto por unidades de tratamento e disposição final destinado ao controle da poluição de origem sanitária inserida em um Sistema de Esgotamento Sanitário ou em um Sistema de Tratamento de Resíduos de Esgotamento Sanitário.

A destinação correta e o tratamento de esgotos não são uma realidade em todo o país, visto sua dimensão continental e devido às grandes diferenças sociais de cada região e estado. Cabe ressaltar ainda, que muitos locais não dispõem de coleta de esgoto, logo, a realidade de um tratamento para esses efluentes é ainda mais distante.

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), o atendimento de coleta de esgotos é de 55%, considerando o atendimento total, nas áreas rurais e urbanas; com relação ao atendimento da área urbana, o índice chega a 63,2%. Já no que diz respeito ao tratamento dos esgotos, os índices de cobertura apresentam valores de 51,2% do total de esgotos gerados.

Com relação aos estados, há uma grande divergência com relação aos percentuais de coleta de esgoto na área urbana, com estados apresentando índices acima de 90%, como São Paulo e o Distrito Federal e estados que apresentam índices bem menos satisfatórios, entre 20% e 40% em estados como Rio Grande do Sul, Pernambuco, Tocantins e Santa Catarina (SNIS, 2020).

Considerando os baixos índices de coleta e tratamento que o Brasil possui, soluções de tratamento alternativas e de baixo custo devem ser implementadas, a fim de que se diminua e minimize tanto quanto possível, o lançamento de esgotos não tratados, que acaba contaminando o corpo hídrico receptor.

2.2 TRATAMENTO CENTRALIZADO E DESCENTRALIZADO

O tratamento de esgotos pode ser realizado de forma centralizada, onde todo o esgoto de uma área é captado e enviado para uma ETE que trata todo o esgoto, recebendo, diariamente, uma alta vazão; outra forma de tratamento, é a forma descentralizada, ou seja, o esgoto é tratado próximo à fonte geradora, com soluções mais simples, geralmente contam com uma vazão diária menor, quando comparadas ao tratamento centralizado (TONETTI, 2018).

O tratamento de esgotos de forma centralizada ocorre principalmente nas grandes cidades e áreas com grande densidade demográfica. É uma alternativa que gera custos elevados, pois o tratamento dos esgotos é realizado geralmente em locais muito distantes da fonte geradora, uma vez que as ETE são instaladas próximas ao corpo receptor do efluente (BARSZCZ et al., 2019; MATHEUS et al, 2018;).

Os custos associados ao tratamento centralizado estão ligados à necessidade de tubulações com grandes diâmetros, principalmente nas áreas finais de captação do esgoto, onde, devido ao grande acúmulo de vazões, são necessárias tubulações maiores, que conseqüentemente apresentam custo mais elevado (MATHEUS et al., 2018).

De acordo com Matheus et al (2018), também estão associados à necessidade de instalação de elevatórias de esgoto em alguns pontos, devido à topografia da cidade ou à existência de obstáculos, como rios, redes de distribuição de água e redes elétricas.

Em contrapartida, o tratamento de esgotos de forma descentralizada é uma opção muito viável para comunidades isoladas, pequenos núcleos familiares ou locais, que, por motivos diversos, não são atendidos por rede coletora. O tratamento descentralizado apresenta vantagens sociais, econômicas, ambientais e operacionais (TONETTI, 2018).

O quadro 1 apresenta as principais vantagens desses sistemas.

Quadro 01: Principais vantagens do tratamento descentralizado.

Área	Vantagens
Social	<p>Contribuem para a melhoria da saúde da população local.</p> <p>Podem gerar trabalho e renda.</p> <p>Podem ajudar a produzir alimentos, contribuindo com a segurança alimentar.</p> <p>São adaptáveis aos costumes e à cultura.</p> <p>Normalmente são bem aceitos pela população e entidades fiscalizadoras.</p> <p>Podem ajudar a compor o paisagismo local.</p>
Econômica	<p>Os sistemas mais simples têm baixo custo de instalação.</p> <p>Consumem pouca energia e insumos externos.</p> <p>Alguns subprodutos do sistema têm valor comercial e podem gerar renda (alimentos, biogás, plantas ornamentais).</p> <p>Há economia em adubos quando se utiliza o esgoto tratado na agricultura.</p>
Ambiental	<p>Sistemas unifamiliares podem ser compactos.</p> <p>Usam poucos insumos e energia na construção e operação.</p> <p>Reduzem a poluição do solo e corpos hídricos locais.</p> <p>Podem melhorar as condições ecológicas locais.</p> <p>Promovem o reúso de água e de nutrientes localmente.</p>
Operacional	<p>Dispensam a construção de rede coletora local e estações elevatórias.</p> <p>Têm boa flexibilidade operacional.</p> <p>Podem ser ampliados ao longo do tempo.</p> <p>Têm baixo consumo de materiais e energia.</p> <p>Em boa parte dos casos, não se cobra pelo tratamento.</p> <p>Não requerem mão-de-obra especializada.</p> <p>Podem tratar águas cinzas e de vaso sanitário separadamente.</p> <p>São pouco influenciados por desastres naturais.</p>

Fonte: Tonetti (2018).

As principais desvantagens desses sistemas, são o custo de implantação e requerimento de área, conforme a vazão a ser tratada (VON SPERLING, 2014)

Essa forma de tratamento pode garantir a saúde da população e a integridade ambiental nas áreas em que o tratamento centralizado não pode ser implantado.

Segundo Matheus et al (2018), a escolha da melhor tecnologia para o tratamento de esgotos depende de muitos fatores, sendo os principais: a acessibilidade, considerando a realidade do local; os custos de instalação, operação, manutenção, depreciação e demais possíveis gastos associados.

A operação deve ser de forma mais simples quanto possível, com mão de obra e suporte disponíveis localmente; além da confiabilidade, devendo a tecnologia escolhida ser capaz de atender os níveis e exigências da legislação (MATHEUS et al., 2018).

2.3 NÍVEIS, PROCESSOS E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

O tratamento de esgotos envolve diversos processos físicos, químicos e biológicos e tais processos não atuam de forma isolada, cada processo depende indiretamente um do outro, a fim de que o tratamento completo ocorra da forma mais satisfatória e atendendo aos padrões da legislação vigente (METCALF & EDDY, 2016)

Os processos físicos visam a remoção de matéria separável do efluente, de forma física, na qual se remove a matéria sólida, sendo a matéria grosseira, sedimentável e flutuante; nos processos químicos, são adicionadas substâncias químicas que interagem com as substâncias presentes no esgoto, a fim de melhorar a eficiência do processo (BITTENCOURT, PAULA, 2014; JORDÃO, PESSOA, 2014).

São exemplos desses produtos, os coagulantes, que visam a formação de agregados sólidos de maior dimensão, favorecendo a sedimentação dos mesmos (JORDÃO, PESSOA, 2014).

Os processos biológicos envolvem a ação de microrganismos, objetivando reproduzir os fenômenos que ocorrem na natureza, onde, transformam componentes complexos em compostos simples (METCALF & EDDY. 2016).

De acordo com Jordão e Pessoa (2014), o tratamento dos efluentes também pode ser classificado de acordo com a redução dos sólidos e impurezas, além do nível de eficiência das unidades. O tratamento é classificado como preliminar, primário, secundário e terciário. A quantidade de unidades de tratamento necessárias depende das exigências da legislação local e das características do corpo receptor. A figura a seguir apresenta um esquema das etapas do tratamento.

Figura 01: Etapas e mecanismos do tratamento de esgotos.



Fonte: Silva (2016).

2.3.1 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar tem como função realizar a remoção de materiais sólidos que estão presentes no esgoto, além da areia e gorduras, dependendo do tipo de efluente, sendo uma operação física unicamente (CONTERATO, 2018; LANGE, 2012; VON SPERLING, 2014). É de fundamental importância a remoção desses sólidos para que os tanques subsequentes não sejam assoreados e não ocorra abrasão nas bombas do sistema, além da proteção das unidades posteriores e do corpo receptor (BITTENCOURT, PAULA, 2014; CONTERATO, 2018).

Esse tratamento é realizado basicamente com a utilização de peneiras, grades, caixa de gordura e caixa de areia (LANGE, 2012; VON SPERLING, 2014).

De todos os tipos de unidades de tratamento preliminar, as grades são as mais utilizadas, empregadas em praticamente todos os tipos de efluentes, diferentemente da caixa de areia e da caixa de gordura, que podem não ser necessárias em alguns tipos de efluentes que não apresentam a areia ou gordura na sua composição (IBRAHIN, IBRAHIN, CANTUÁRIA, 2015; LANGE, 2012).

As grades podem possuir diferentes espaçamentos entre suas barras, de acordo com o material sólido presente no efluente, assim, elas podem ser classificadas em grossas

(espaçamento entre barras de 4 a 10 cm), médias (entre 2 e 4 cm) e finas (entre 1 e 2 cm) (VON SPERLING, 2014).

As grades são constituídas de barras paralelas dispostas entre si, com uma distância definida, com uma inclinação, visando a limpeza. A espessura das barras também é definida com base em normas, dependendo do tipo de efluente, além de minimizar a perda de carga (IBRAHIM, IBRAHIN, CANTUÁRIA, 2015).

Dependendo da origem do efluente, poderá ser necessário, ao final do tratamento preliminar, a adição de um tanque de equalização, que tem a função de regularizar a vazão, para que a mesma se aproxime o máximo possível da vazão média (VON SPERLING, 2014).

Esse tanque se faz necessário em indústrias que operam com uma grande variação de vazão durante o dia; assim, é indicado a utilização do tanque para evitar grandes variações, pois quando a vazão estiver mais próxima da vazão máxima, o tanque estará enchendo e quando estiver com uma vazão mínima, estará esvaziando (VON SPERLING, 2014).

2.3.2 Tratamento Primário

O tratamento primário visa a remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, a fim de minimizar os custos referentes à energia necessárias para a aeração na fase do tratamento secundário (BITTENCOURT, PAULA, 2014; LANGE, 2012; VON SPERLING, 2014).

Grande parte do material presente no efluente, dentre os sólidos suspensos e matéria orgânica, logo, se sua remoção for efetiva, resultará em um nível mais baixo de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) encaminhada para o tratamento secundário (VON SPERLING, 2014).

O tratamento primário ocorre basicamente por meio de processos de decantação e flotação, onde as partículas sólidas são separadas da parte líquida, de forma natural, apenas considerando o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH). São removidas as partículas sólidas e coloidais (METCALF & EDDY, 2016).

Podem ser adicionados produtos químicos para auxiliar na separação do material sólido do líquido, conseqüentemente clarificando-o (CONTERATO, 2018; IBRAHIN, IBRAHIN, CANTUÁRIA, 2015). Os produtos químicos adicionados promovem a aglutinação das partículas sólidas, aumentando seu peso e conseqüentemente fazendo com que elas sedimentem.

Nessa etapa ocorre a formação do lodo primário, oriundo da separação do material sólido sedimentado (CONTERATO, 2018). O efluente dessa etapa, geralmente contém em torno de 60% da carga inicial de DBO, que é um indicador do nível de poluição orgânica do efluente (IBRAHIM, IBRAHIN, CANTUÁRIA, 2015).

2.3.3 Tratamento Secundário

Esse nível de tratamento visa a remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão do efluente, através da ação de microrganismos, que se alimentam de carboidratos, lipídios e proteínas (na sua forma dissolvida) presentes no esgoto e os convertem em gás carbônico, outros gases e água (CONTERATO, 2018; IBRAHIN, IBRAHIN, CANTUÁRIA, 2015).

Entre os microrganismos presentes nessa etapa, podem ser citados os fungos e as bactérias, de forma que a ação dos mesmos visa acelerar os processos que ocorrem naturalmente nos corpos receptores. Os microrganismos convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular; em condições anaeróbias, ocorre a formação de metano (LANGE, 2012; VON SPERLING, 2014).

Existem inúmeras tecnologias disponíveis para realizar o tratamento secundário, como filtros biológicos percoladores, lodos ativados, lagoas de estabilização, biodiscos, biofiltros, filtros anaeróbios, wetlands construídos e disposição sobre o solo. Devem ser considerados, para critério de escolha, aspectos como o custo de implantação, operação e manutenção, área disponível, clima, disponibilidade de mão de obra especializada, entre outros (CONTERATO, 2018; KADLEC, WALLACE, 2009; LANGE, 2012).

A conversão da matéria orgânica em gases, para energia, também diminui as concentrações de poluentes presente no esgoto (BITTENCOURT, PAULA, 2014).

2.3.4 Tratamento Terciário

Esse tipo de tratamento visa a remoção complementar da matéria orgânica, compostos não biodegradáveis, poluentes tóxicos e metais pesados, nitrogênio, fósforo e microrganismos patogênicos (CONTERATO, 2018; IBRAHIM, IBRAHIN, CANTUÁRIA, 2015).

São empregados quando é necessário alcançar um grau elevado de qualidade final, ou quando não foram alcançadas as características necessárias para lançamento do efluente nos cursos d'água, de acordo com a legislação. As técnicas incluem ozonização, osmose reversa, eletrodialise, lagoas de maturação, radiação UV, etc. (CONTERATO, 2018; LANGE, 2012).

Dessas tecnologias, a precipitação química é a mais comumente utilizada para a maioria dos metais. Precipitantes comuns incluem hidróxido, sulfeto e carbonato, que também é utilizado em alguns casos especiais. Os metais podem ser removidos separadamente ou coprecipitados com fósforo (IBRAHIM, IBRAHIN, CANTUÁRIA, 2015).

O tratamento visa a remoção dos nutrientes, principalmente o Fósforo, onde são empregados sais metálicos, como o alumínio, íon férrico, ferro ferroso e cálcio. Polímeros também são utilizados como auxiliares de floculação. Ele também pode ser incorporado por microrganismos (BITTENCOURT, PAULA, 2014; LANGE, 2012).

2.4 WETLANDS CONSTRUÍDOS

Os wetlands construídos têm sido usados há mais de 100 anos para o tratamento de esgotos; os primeiros registros datam de 1912, tendo iniciado devido à capacidade das zonas úmidas realizarem o tratamento das águas residuárias, além de serem uma grande fonte de nutrientes (EPA, 2000).

A aplicação dos wetlands construídos, sistemas projetados para realizarem os processos de tratamento observados nos wetlands naturais, de forma controlada, teve início na Europa, na década de 1950. Nos Estados Unidos, os registros datam de 1960, onde, no final da década houve um implemento do uso. Na América, a aplicação desta tecnologia ocorreu mais tarde, na década de 1980 (EPA, 2000).

Existem inúmeras vantagens na utilização desses sistemas no tratamento de esgotos, dentre elas, a baixa necessidade de energia, o baixo custo de operação e manutenção, baixa vibração e ruídos e o fato de serem mais agradáveis esteticamente (DECEZARO et al, 2021; PERONDI et al, 2020; SEZERINO et al, 2018).

As plantas são empregadas nesses sistemas, devido à capacidade de absorverem nutrientes como nitrogênio e fósforo, utilizando para seu desenvolvimento e abrigarem comunidades de microrganismos em suas raízes, além de proporcionar uma aparência melhor à estação, considerando que algumas espécies florescem, além de serem utilizadas como fonte de renda devido à comercialização das flores, aumenta a biodiversidade do local, pois aumenta a concentração de insetos e pequenos animais, além de possibilitar a polinização, através de abelhas, (MATHEUS, et al, 2018; VON SPERLING, 2018).

2.4.1 Componentes do Sistema

Os wetlands construídos possuem basicamente três componentes principais, sendo eles: plantas, o material filtrante e os microrganismos.

2.4.1.1 Material filtrante

O material filtrante é a parte do sistema responsável por promover a filtração do esgoto, realizando assim, a parte física do tratamento. Esse meio atua ainda como o suporte para a fixação das plantas e microrganismos (formação de biofilme), além de promoverem a adsorção de poluentes (SEZERINO et al, 2018; VON SPERLING, 2018).

As principais características dos meios filtrantes que devem ser consideradas para a sua utilização, são a porosidade, que deve proporcionar uma boa permeabilidade ao meio, e a capacidade de adsorção. A permeabilidade deve ser observada, uma vez que ela deve proporcionar a filtração do esgoto, porém deve evitar a colmatção do sistema, ou seja, o entupimento do mesmo (DOTRO et al, 2017; VON SPERLING, 2018).

Muitos materiais filtrantes são utilizados, como areia, brita e solo; como cada material apresenta características muito distintas entre si, a escolha do material deve ser bem criteriosa, considerando aspectos como a disponibilidade do material, o clima da região e a viabilidade econômica (SEZERINO et al, 2018). As areias apresentam grande condutividade hidráulica, porém são pouco reativas, enquanto as argilas são muito reativas, mas praticamente impermeáveis (DOTRO et al, 2017).

No Brasil, os materiais mais utilizados são a brita e a areia, sendo a brita, o material mais utilizado, representando o material utilizado em 64% dos trabalhos relacionados (SEZERINO et al, 2015).

2.4.1.2 Plantas

Muitas espécies de plantas são utilizadas nesses sistemas, sendo as macrófitas, a espécie mais utilizada, elas necessitam de locais alagados para sobreviverem, como pântanos e brejos. Uma das principais funções das plantas é fornecer estrutura para melhorar a filtração e sedimentação (DOTRO et al, 2017; EPA, 2000; PELISSARI, 2019; VON SPERLING, 2018).

Como são organismos que utilizam a energia solar para incorporar o carbono inorgânico (foto autotróficos) e devido à grande disponibilidade de água e nutrientes para a

produção de matéria orgânica nesses sistemas, a produtividade primária é muito elevada (ARIAS, BRIX, 2003).

Dentre os benefícios do uso de plantas, podem ser citados o aumento de área disponível para aderência de microrganismos, beleza paisagística, remoção de nutrientes, estabilização da superfície e o aumento do tempo de detenção hidráulica (ARIAS, BRIX, 2003; MATHEUS et al. 2018).

No entanto, é necessário que se faça a manutenção periódica das plantas, para que o sistema tenha a máxima eficiência e a fim de se evitar a devolução de nutrientes e matéria orgânica para o sistema (DOTRO et al, 2017; MATHEUS et al, 2018).

Os tipos mais utilizados nos sistemas alagados são a *Phragmites australis*, muito utilizadas na Europa; *Typha spp.*(taboa) e *Juncus spp* (junco) (PELLISSARI, 2019; SEZERINO et al, 2018; VON SPERLING, 2018).

A escolha do tipo de planta utilizada deve considerar aspectos econômicos, como o custo de aquisição e manutenção (poda), adaptação da espécie à região, além da tolerância dela aos poluentes presentes no esgoto, que variam de acordo com a sua origem, que pode ser doméstico, industrial ou comercial (MATHEUS et al, 2018; VON SPERLING, 2018).

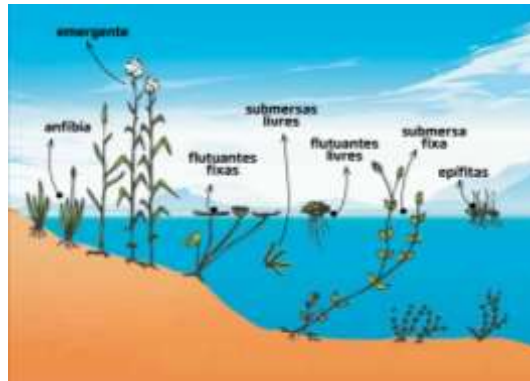
Segundo Xavier (2018) elas são classificadas de acordo com sua forma biológica. O quadro 02 apresenta os tipos e suas características. Já a figura 7 apresenta o esquema de cada tipo de macrófita.

Quadro 02: Tipos de macrófitas, quanto ao enraizamento e características.

Tipo	Enraizamento	Características
Anfíbia	Dentro/ fora da água	Modificam a morfologia de acordo com o local,
Emergente	No leito	Folhas largas e flutuantes
Flutuante fixa	No leito	Folhas largas e flutuantes
Flutuante livre	Não são enraizadas	Livre sobre a água, levadas pelo vento, correnteza.
Submersa fixa	Enraizadas no leito	Folhas e caule submersos, apenas flor fica emersa
Submersa livre	Não apresenta raízes fixas	Totalmente submersa
Epífita	Não apresenta raízes fixas	Ocorre sobre outras plantas

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2018).

Figura 07: Representação dos diferentes tipos de macrófitas



Fonte: Xavier (2021)

2.4.1.3 Microrganismos

Os microrganismos representam os mais importantes agentes no tratamento de compostos biodegradáveis dos esgotos, sendo destaques os grupos de bactérias e arqueas (DOTRO et al, 2017).

As espécies de microrganismos que se desenvolvem no interior do sistema estão diretamente ligadas às características do entorno, como clima, temperatura, disponibilidade de matéria orgânica e oxigênio, além do material suporte; quando existe grande disponibilidade de matéria orgânica no meio, o crescimento dos microrganismos é acelerado, de modo que o oxigênio disponível pode se tornar o fator limitante para esse crescimento (DOTRO et al, 2017; MATHEUS et al, 2018; VON SPERLING, 2018).

As comunidades de microrganismos se fixam no meio suporte e originam uma camada de material e microrganismos, que formam uma camada espessa e volumosa, conhecida como biofilme, que proporciona a existência de zonas aeróbias, anaeróbias e anóxicas (MATHEUS et al, 2018; VON SPERLING, 2018). A figura 8 apresenta o biofilme formado em wetlands.

Figura 08: Biofilme formado em wetlands construídos



Fonte: Brix (2003)

A presença dos microrganismos está diretamente ligada à disponibilidade de nutrientes para as plantas, convertendo-os em formas assimiláveis pelas mesmas (DOTRO et al, 2017).

Essa atividade é útil especialmente na transformação das formas de nitrogênio em várias formas biologicamente úteis, elas também são responsáveis por transformar o fósforo, passando de formas insolúveis para solúveis (MATHEUS et al, 2018; NUVOLARI, 2011; VON SPERLING, 2018).

Atualmente existem diversas variações de WC, possuindo particularidades e características específicas, podendo ainda, ser empregados em conjunto, combinando as vantagens de dois ou mais tipos de sistemas. Um exemplo pode ser aplicado para a remoção de nitrogênio, onde inicialmente utiliza-se um sistema com grande disponibilidade de oxigênio, favorecendo a nitrificação, e posteriormente, um sistema anaeróbico que possibilite a desnitrificação (DECEZARO, 2016).

Esses sistemas são divididos de acordo com a entrada do afluente no sistema, onde o fluxo pode ser superficial ou subsuperficial (AVELAR, MATOS, MATOS, 2019).

2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS WETLANDS CONSTRUÍDOS

2.5.1 Wetlands construídos de fluxo superficial

Nos wetlands construídos de fluxo superficial, o esgoto entra de forma superficial no sistema, ocupa toda a área do alagado e permanece acima da camada suporte, esses sistemas permitem a utilização de macrófitas flutuantes, submersas ou emergentes (DOTRO et al, 2017; VON SPERLING, 2018).

O esgoto tratado é coletado por tubulações que ficam na parte inferior do sistema, abaixo da camada suporte e a alimentação ocorre de forma contínua (VON SPERLING, 2018).

Esses sistemas são indicados para tratamentos de nível terciário, pois são eficientes na remoção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, logo são necessárias etapas prévias de tratamento que objetivam a remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão (DOTRO et al, 2017; VON SPERLING, 2018).

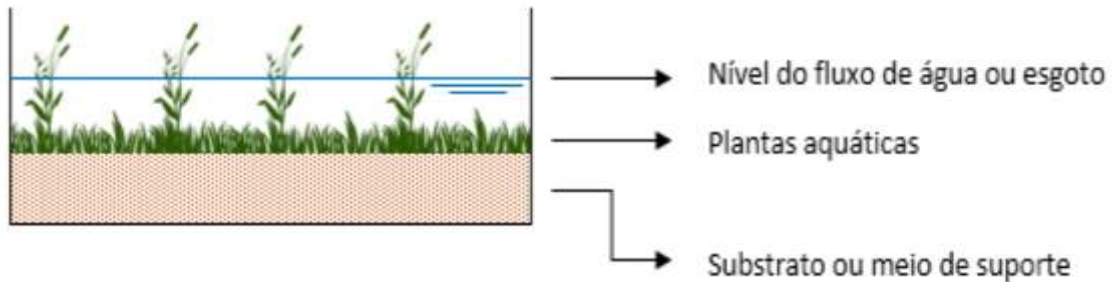
Esses sistemas podem apresentar meio suporte ou não, nos casos em que não há suporte, são utilizadas macrófitas flutuantes, que não necessitam de meio para fixação. (MATHEUS et al, 2018).

Esse arranjo de WC pode apresentar alguns problemas, pelo fato de a lâmina de afluente ficar aparente. Essa característica pode ocasionar a liberação de maus odores e

proliferação de mosquitos, podendo se tornar vetores de doenças. Outro fator considerado, é o estético, uma vez que o esgoto aparente pode não ser viável, dependendo do local de instalação da ETE (KADLEC; WALLACE, 2009).

A figura 2 apresenta o esquema de um WCFV.

Figura 02: Esquema de um wetlands construído de fluxo superficial



Fonte: Sanchez (2017)

2.5.2 Wetlands construídos de fluxo subsuperficial

Nesse tipo de sistema o fluxo ocorre abaixo da superfície do leito, na camada filtrante. O esgoto/a água residuária a ser tratado(a) entra em contato apenas com as raízes das plantas, logo, as plantas utilizadas nesses sistemas devem ser macrófitas emergentes. Eles são classificados de acordo com o sentido do fluxo do esgoto dentro do sistema, que pode ocorrer de forma horizontal ou vertical (DOTRO, et al, 2017; MATHEUS, et al, 2018; VON SPERLING, 2018).

2.5.2.1 Wetlands construídos de fluxo subsuperficial horizontal

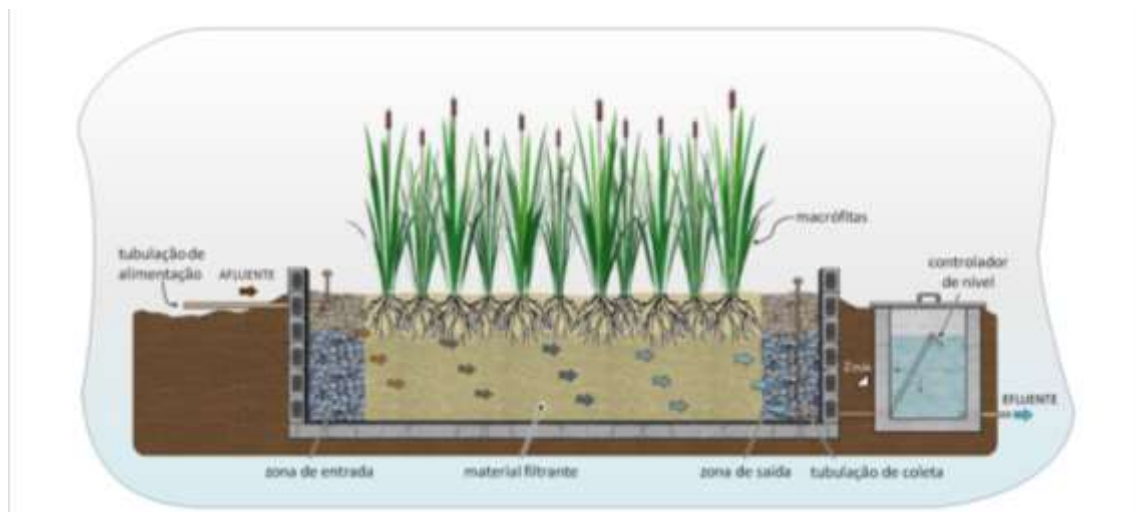
Nos wetlands construídos de fluxo subsuperficial horizontal (WCFH) o afluente entra no sistema em uma camada logo abaixo da camada superficial, onde estão as plantas, e percola de forma praticamente horizontal, em leito saturado, até a zona de saída. Podem ser operados com fluxo intermitente, contínuo ou em batelada (PAOLI, 2010).

Os WCFH são indicados para o tratamento secundário de esgotos, ou seja, o objetivo principal é a remoção de matéria orgânica carbonácea (MATHEUS et al, 2018; VON SPERLING, 2018). Como neste sistema, o afluente não fica exposto, minimiza o risco de exposição de animais e seres humanos ao esgoto, minimizando riscos de contaminação (PAOLI, 2010)

Um tratamento de nível preliminar e primário à montante dos WCFH é essencial, para remover material mais grosseiro, de forma a prolongar a vida útil do sistema e evitar entupimentos, por isso, é indicado como pós tratamento de fossa séptica ou fossa-filtro (PAOLI, 2010).

A figura 3 apresenta a configuração de um sistema de fluxo horizontal.

Figura 03: Representação de um sistema de wetlands construído de fluxo horizontal



Fonte: Sezerino et al (2018).

Nesses sistemas, a altura da camada suporte pode variar de 0,5 m a 0,9 m. As maiores alturas estão relacionadas à granulometria do material suporte, uma vez que geralmente, quanto mais fina a granulometria, maior será a altura da camada suporte, visando uma maior área de seção transversal, diminuindo assim a perda de carga hidráulica (MATHEUS et al, 2018; VON SPERLING, 2018). Os microrganismos que fazem parte do sistema possuem grande disponibilidade de área superficial para sua fixação, de forma de o crescimento aderido pode ocorrer no próprio leito filtrante, nas raízes das plantas, bem como nos sólidos presentes no efluente (PAOLI, 2010).

Os taludes podem apresentar variação na inclinação também, se forem construídos escavados no solo, mas geralmente em sistemas pequenos ou pré-fabricados, as paredes geralmente são verticais. A declividade de fundo também está associada à perda de carga devido à colmatagem dos poros (MATHEUS et al, 2018; VON SPERLING, 2018).

Com relação a granulometria, grãos menores favorecem uma filtração mais efetiva, porém o risco de colmatagem é mais elevado, podendo entupir o sistema de forma mais rápida,

e estão ligadas à altura do meio suporte, pois quanto menor a granulometria, maior deverá ser a altura do meio (VON SPERLING, 2018).

Os grãos são sempre comparados em termos de brita, tendo como referências as britas 0, 1 e 2. Para as zonas de entrada e saída usualmente se utilizam granulometrias semelhantes a brita 4 (MATHEUS et al, 2018).

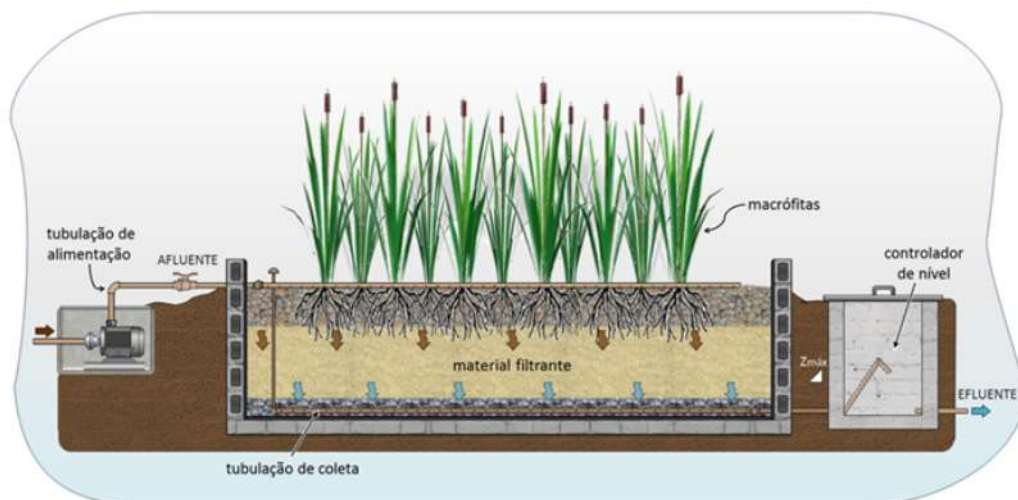
2.5.2.2 Wetlands construídos de fluxo subsuperficial vertical

Nos wetlands construídos de fluxo subsuperficial vertical (WCFV), o esgoto entra na subsuperfície e escoava verticalmente pelo sistema, através da camada suporte e por entre as raízes das plantas (VON SPERLING, 2018).

A camada suporte não está saturada; o efluente é captado por tubulações situadas na parte inferior do sistema; é recomendado para o tratamento secundário avançado, dessa forma, é indicado que seja realizada uma etapa de tratamento anterior, com intuito de remoção de sólidos suspensos, que podem causar colmatção no sistema (DOTRO et al, 2017; VON SPERLING, 2018).

Eles operam com alimentação intermitente, possibilitando maior entrada de oxigênio no interior (MATHEUS et al, 2018). Na figura 4 é apresentado o esquema simplificado de um sistema de fluxo subsuperficial vertical.

Figura 04: Representação de um sistema de wetlands construído de fluxo vertical.



Fonte: Sezerino et al (2018)

Os WCFV apresentam grande vantagem com relação aos outros sistemas, devido ao grande aporte de oxigênio que entra no sistema a partir da atmosfera, de forma natural, pelo fato do fluxo de entrada do esgoto ocorrer de forma intermitente (DOTRO et al, 2017).

A maior quantidade de oxigênio presente favorece a remoção aeróbia da matéria orgânica carbonácea e o processo de nitrificação, fato que faz com que esse tipo de sistema apresente uma boa taxa de remoção/conversão de nitrogênio amoniacal (DOTRO et al, 2017; VON SPERLING, 2018).

2.6 REMOÇÃO DE NITROGÊNIO E SATURAÇÃO DE FUNDO NOS WCFV

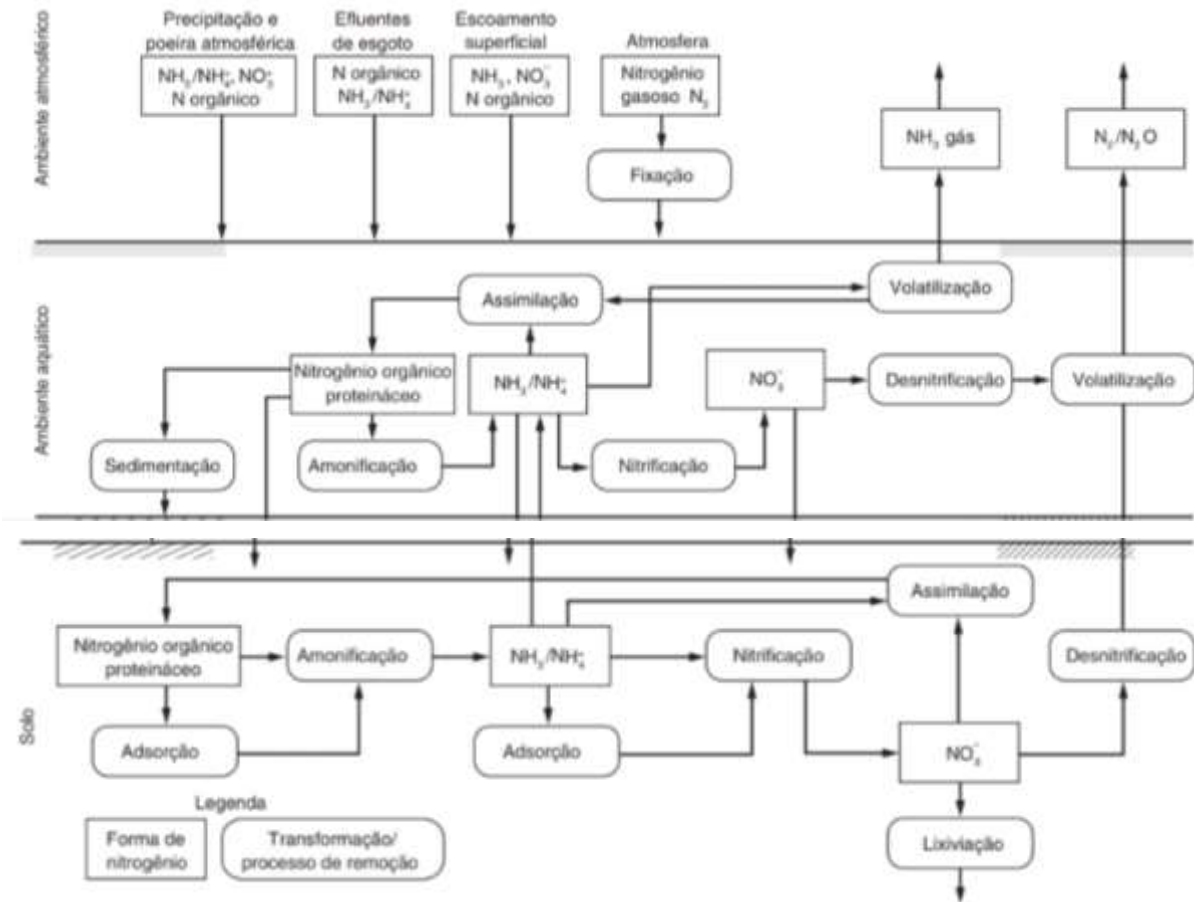
O nitrogênio é um elemento essencial para o crescimento de microrganismos e plantas, sendo um dos principais componentes dos aminoácidos, que formam as proteínas, além de serem componentes majoritários do ácido desoxirribonucleico (DNA) e o ácido ribonucleico (RNA) (ROCHA, ROSA, CARDOSO, 2009; METCALF & EDDY, 2016).

Outros elementos também são importantes, como o ferro, mas em quantidades menores; o nitrogênio, porém, assim como o fósforo, desempenha papel fundamental no desenvolvimento e crescimento dos microrganismos e plantas (METCALF & EDDY, 2016). Entretanto, dependendo das concentrações, esses elementos podem se tornar prejudiciais para o meio ambiente; a eutrofização é um dos problemas mais evidentes, relacionados ao excesso desses nutrientes na água (FERREIRA, SARON, 2013).

As principais fontes de nitrogênio são provenientes de compostos nitrogenados de origem animal ou vegetal. Seu ciclo apresenta diversas mudanças e necessita da atuação de diversos microrganismos (METCALF & EDDY, 2016). A figura 5 apresenta o ciclo do nitrogênio no ambiente.

Durante o tratamento das águas residuárias, o nitrogênio passa por diversas transformações, passando de nitrogênio orgânico para nitrogênio amoniacal, nas formas de amônia (NH_3) e o íon amônio (NH_4^+), formas de fácil remoção do efluente. Os principais processos são a assimilação por plantas e microrganismos e nitrificação e desnitrificação (METCALF & EDDY, 2016; ROCHA, ROSA, CARDOSO, 2009; TEIXEIRA, 2006).

Figura 05: Ciclo do nitrogênio no meio ambiente.



Fonte: Metcalf, & Eddy (2016).

Considerando a importância do nitrogênio para o crescimento das plantas, em um sistema biológico, elas desempenham importante função nesse processo, uma vez que utilizam o nitrogênio presente no esgoto como fonte de nutrientes, nas formas de amônia e nitrato (ROCHA, ROSA, CARDOSO, 2009).

Os microrganismos assimilam parte do nitrogênio, na forma de amônia e nitrato, incorporando em massa celular, mas parte dele retorna ao tratamento devido a lise celular (NUVOLARI, 2011; TEIXEIRA, 2006).

No processo de nitrificação, o nitrogênio amoniacal ($\text{N-NH}_3/\text{N-NH}_4^+$), na presença de oxigênio (zonas aeróbias), é oxidado e convertido a nitrito (N-NO_2^-) e nitrato (N-NO_3^-), sendo o primeiro processo realizado por bactérias, dentre elas, as do gênero *Nitrosomonas*, que oxidam a amônia a nitrito, sendo uma forma instável e facilmente oxidado (TEIXEIRA, 2006). Já a conversão do nitrito para nitrato é realizada por outro grupo de bactérias, dentre elas, as do gênero *Nitrobacter* (METCALF & EDDY, 2016; TEIXEIRA, 2006; VON SPERLING, 1996).

Na ausência de oxigênio livre e na presença de nitrato (zonas anóxicas), ocorre a desnitrificação, por microrganismos heterotróficos, na qual o nitrato é convertido a nitrito e posteriormente são produzidos os componentes óxido nítrico, óxido nitroso e nitrogênio gasoso, ambas formas gasosas que são liberadas para a atmosfera (METCALF & EDDY, 2016; ROCHA, ROSA, CARDOSO, 2009; TEIXEIRA, 2006).

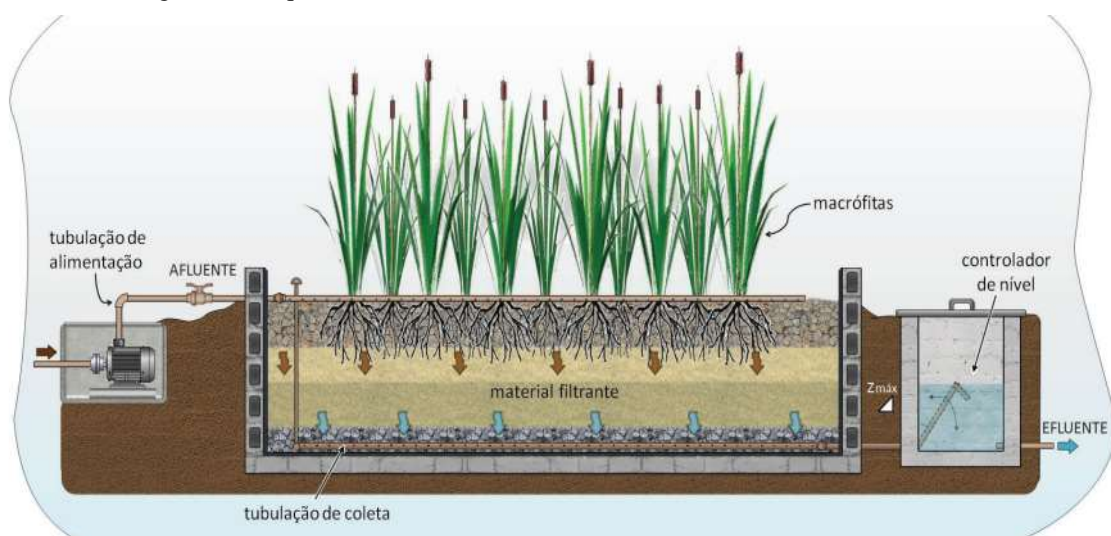
Muitos elementos podem influenciar o crescimento e a eficiência desse processo (desnitrificação) como o pH, que apresenta uma faixa ideal entre 7,5 e 8,6 (TEIXEIRA, 2006). O oxigênio dissolvido também apresenta grande importância no processo, podendo se tornar um fator limitante das reações, tornando lentas ou cessando. A matéria orgânica também desempenha um papel fundamental, fornecendo a fonte de carbono necessária (TEIXEIRA, 2006).

Os WCFV são sistemas aeróbios, na grande maioria, por essa razão o processo de nitrificação ocorre de forma efetiva, porém essa característica prejudica o processo de desnitrificação, logo, é necessário criar uma camada anóxica, a fim de possibilitar esse processo (LANGERGRABER, et al, 2021; METCALF & EDDY, 2016).

A saturação do fundo em WCFV resulta em uma melhor remoção do nitrogênio, uma vez que promove uma zona anóxica, possibilitando o processo de desnitrificação (METCALF & EDDY, 2016). Dessa forma, as transformações no nitrogênio iniciam na camada superior (zona aeróbia), com os processos de amonificação e nitrificação e finalizam na camada inferior (anóxica), com a desnitrificação, na qual o N_2 é produzido e emitido para a atmosfera (MAZUCATO et al, 2020).

A figura 6 apresenta o esquema de um WCFV com fundo saturado.

Figura 06: Esquema de wetlands construído de fluxo vertical com fundo saturado.



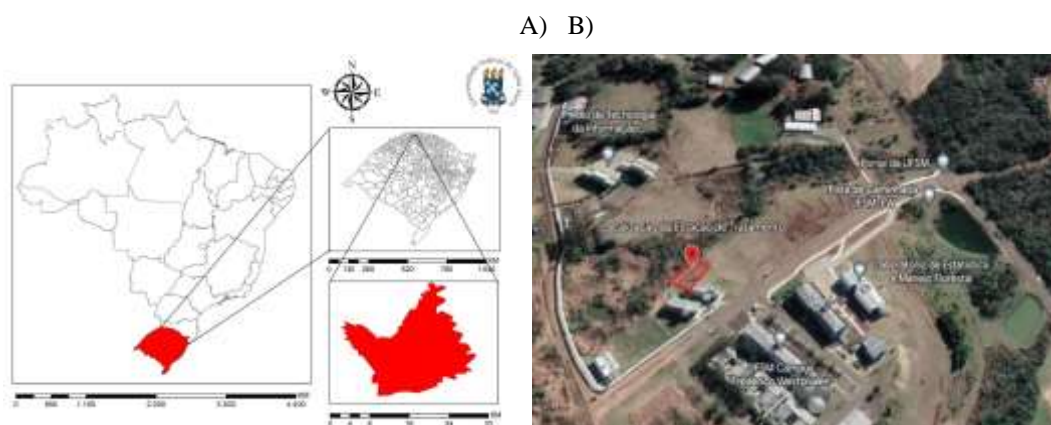
Fonte: Sezerino et al (2018).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A instalação da ETE ocorreu nas proximidades da Casa do Estudante Universitário do Campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Frederico Westphalen -RS. A figura 9 apresenta a localização de Frederico Westphalen (A) e do local de instalação da ETE dentro do campus da UFSM/FW.

Figura 09: Mapa de localização e local de instalação da ETE dentro do campus da UFSM/FW



Fonte: Autor (2023) e Google Earth (2023)

3.2 ACOMPANHAMENTO DA EXECUÇÃO DA OBRA

Com base no projeto executivo (Bueno, 2021), foi realizado o acompanhamento da construção da ETE, observando as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT (NBR 7229/1993- Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos e NBR 13969/1997- Tanques sépticos- unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos- Projeto, construção e operação).

Também foram seguidas as normas e recomendações presentes no manual e nos boletins do Grupo Wetlands Brasil, que reúne os maiores especialistas em wetlands construídos, em nível nacional.

3.3 ADEQUAÇÕES DO PROJETO

Durante a construção da ETE foram adicionadas calhas coletoras, piezômetros e amostradores microbiológicos e controlador de nível, que não estavam previstos no projeto original.

3.4 MUDANÇAS APÓS O INÍCIO DE OPERAÇÃO

Após o início da operação, foram realizadas mudanças na tubulação de distribuição, a fim de garantir uma melhor distribuição do afluyente sobre as unidades.

3.5 ESTABELECIMENTO DE ROTINA OPERACIONAL

Foram observadas as características específicas do esgoto, como os materiais sólidos presentes, que influenciam diretamente na periodicidade de limpeza da unidade de tratamento preliminar, bem como o desenvolvimento das plantas e a necessidade de poda e o funcionamento do conjunto motor-bomba, para estabelecer uma rotina de inspeção na mesma, a fim de garantir o bom funcionamento.

3.6 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO AFLUENTE E EFLUENTE

3.6.1 Caracterização quantitativa

3.6.1.1 Caracterização quantitativa afluyente

Foram realizadas quatro campanhas de medição da vazão afluyente, de forma manual, com a utilização de um balde de volume conhecido e cronômetro. As medições permitiram verificar a taxa de aplicação hidráulica afluyente aos WCFV, de modo que todas as unidades obtivessem a mesma vazão afluyente, a fim de possibilitar a comparação de desempenho entre as mesmas.

3.6.1.2 Caracterização quantitativa efluente

Foi realizada uma campanha de medição da vazão efluente, a fim de verificar o desempenho hidráulico das diferentes configurações das unidades (tipo de material filtrante e nível de saturação). Foram utilizados dois béqueres, com capacidades de 2000 ml e 200 ml e cronômetro.

As verificações foram realizadas durante o período de quatro pulsos completos, sendo iniciada antes do primeiro pulso. No momento de início do pulso, foram realizadas medições com intervalos de 2 minutos, após 5 minutos, 10 minutos e 30 minutos, até o início do novo pulso.

3.6.2 Caracterização qualitativa

As análises em laboratório foram realizadas a cada 15 dias, após o início da operação da estação. Nas unidades preenchidas com areia, as análises eram coletadas sempre no segundo dia de alimentação de cada unidade.

Foram analisadas amostras em cinco pontos diferentes. O P1 representa o afluente bruto, na figura ele está sobre o poço de sucção, porém o afluente bruto foi coletado na entrada de cada unidade e homogeneizado. Os demais pontos de coleta foram na saída das unidades, sendo W1 (P2), W2 (P3), W3 (P4) e W4 (P5). A figura 10 apresenta os pontos de coleta do afluente.

Figura 10: Pontos de coleta do afluente e efluente de cada WC.



Fonte: Autor (2023)

Foram analisadas amostras do afluente e efluente dos WCFV, sendo verificada a temperatura, pH, alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO) e nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+). Foi seguida a metodologia de APHA (2012) e Tedesco (1995). O quadro 04 apresenta os parâmetros analisados e os métodos utilizados.

Quadro 04: Parâmetros analisados e métodos utilizados nas análises

Parâmetro	Método
Temperatura	APHA, 2012
pH	APHA, 2012
Alcalinidade total	APHA,2012
DQO	APHA,2012
N-NH ₄	Tedesco, 1995

Fonte: Autor (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONSTRUÇÃO DA ESTAÇÃO

O projeto original foi baseado no trabalho de Bueno (2021), porém foram realizadas adequações e modificações no projeto original. As plantas originais (projeto executivo) e as plantas finais (*as built*) se encontram nos anexos 1 e 2.

A ETE, projetada para uma vazão de 7.200 L d^{-1} , conta com uma caixa de gradeamento (crivo), um tanque séptico, um poço de sucção, um conjunto motor-bomba, quatro unidades de WCFV, desinfecção por radiação ultravioleta e uma caixa de acúmulo para reutilização do esgoto já tratado.

O tipo de tratamento preliminar não é o usual, pois geralmente são empregadas grades ou telas para a remoção de sólidos grosseiros; porém em função das características construtivas, foi adotado o crivo como opção de tratamento. Foi utilizado um tubo de PVC de 0,5 m de comprimento e diâmetro de 100 mm, perfurado.

O início das obras ocorreu no dia 06 de dezembro de 2022. A figura 11 apresenta as diferentes fases de construção da ETE, iniciando com a terraplanagem da área (A) e início da fundação (B), colocação de malha (C) e alicerce (D), após foram levantadas as paredes (E), construídas as caixas de saída (F), impermeabilização com manta asfáltica (G), assentamento da tubulação de saída e piezômetros (H), enchimento dos tanques com brita (I) e areia (J), assentamento da tubulação de distribuição (K) e conclusão da obra (L).

Figura 11: Fases de construção da ETE.

A)



B)



C)



D)



E)



F)



G)



H)



Após a saída do WCFV, o esgoto passa por desinfecção por radiação ultravioleta (UV) e é destinado a um tanque para coleta e reuso, posteriormente é encaminhado para a rede de drenagem pluvial.

A CEU possui 32 apartamentos, com capacidade para 2 pessoas cada um deles, sendo dividida em dois blocos (A e B), o esgoto de ambos os blocos é direcionado para a ETE.



Fonte: Autor (2023)

A figura 12 apresenta os blocos A e B.

Figura 12: Localização dos blocos A e B da CEU no campus.



Fonte: Google Earth (2023)

O esgoto gerado no bloco B passa por um pré-tratamento de fossa-filtro e então é encaminhado para o poço de sucção. O esgoto do bloco A passa pelo pré tratamento na caixa com crivo, vai para o tanque séptico e é encaminhado para o poço de sucção. A imagem 13 apresenta a bomba, o tanque séptico e o poço de sucção.

Figura 13: Bomba de recalque, tanque séptico e poço de sucção.



Fonte: Autor (2023)

O tratamento do sistema wetlands conta com quatro unidades, sendo duas com material filtrante a pedra brita e duas tendo a areia como material filtrante, ambas as unidades possuem uma camada de aproximadamente 2,5 cm de pedrisco no fundo. A disposição dos materiais de preenchimento está demonstrada no Apêndice B.

Cada unidade contém uma área superficial de 23,80 m² e foram transplantadas com *Canna x generalis*. A tubulação de distribuição foi toda furada, com broca de 6 mm de diâmetro, com furos na metade inicial, espaçados 20 cm entre si, na metade final, os furos foram espaçados 10 cm entre si (Apêndice B).

4.2 MUDANÇAS DO PROJETO ORIGINAL

Durante a construção da ETE, foram realizadas algumas mudanças no projeto original, detalhadas nos apêndices A e B, bem como a adição de estruturas com finalidades diversas, sendo elas: a instalação de 9 piezômetros nas unidades, instalados 3 a cada 1,75 m, lado a lado, sendo o primeiro em contato com o fundo, o segundo 11 cm acima, e o terceiro, 11 cm acima do segundo.

Eles foram construídos com tubos de Policloreto de Vinila (PVC), de 40', sendo colocado um CAP na extremidade em contato com o fundo, os 11 cm finais do tubo foram perfurados, a fim de permitir a entrada de esgoto.

Além disso, na zona não saturada das unidades, foram instalados coletores (para coleta de esgoto) em diferentes profundidades, em todas as unidades e com diferentes comprimentos. Eles foram feitos com tubos PVC de 25', sendo cada calha coletora feita com um tubo de 1 m de comprimento e diâmetro de 50', cortado ao meio.

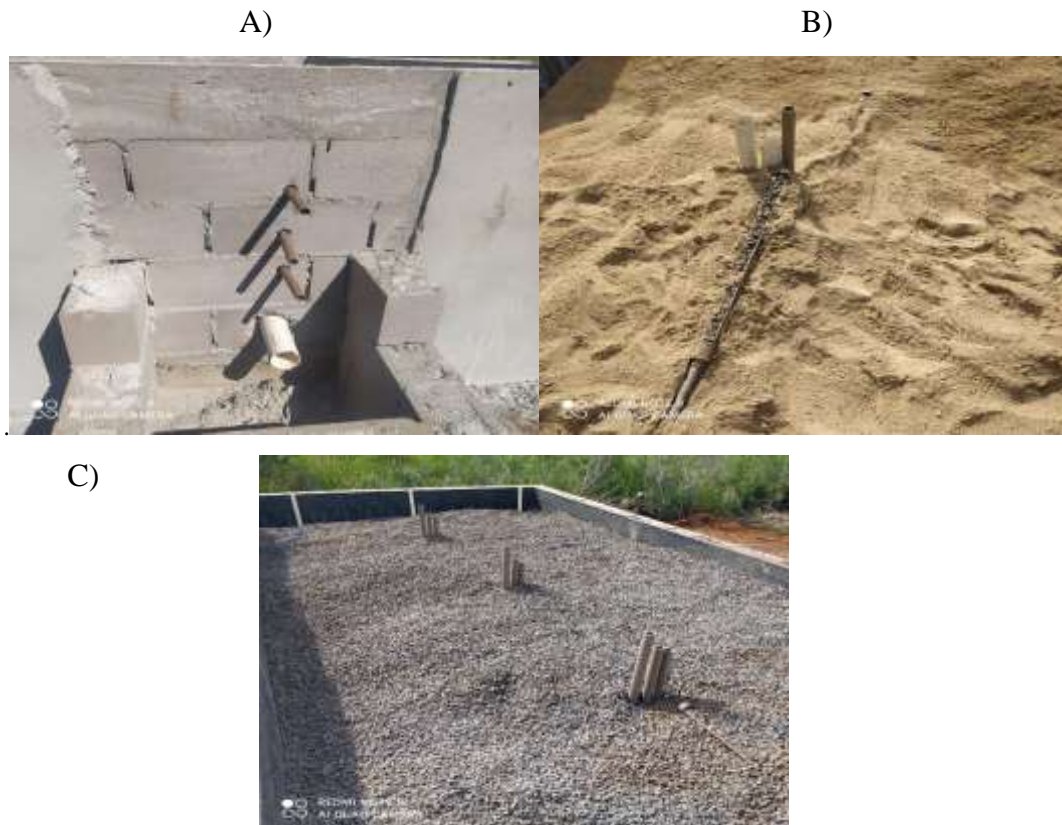
O primeiro coletor foi instalado a uma profundidade de 0,35 m a partir da borda livre, com um comprimento de 0,5 m, somado ao comprimento da calha, instalada no final do tubo, totalizando 1,5 m; o segundo foi instalado 0,15 m abaixo do primeiro, com comprimento de 1,6 m. O último foi instalado 0,15 m abaixo do segundo e possui comprimento de 2,8 m.

Também foi instalado um amostrador microbiológico em cada unidade, para caracterizar os microrganismos existentes em diferentes profundidades ao longo do tempo. Os amostradores foram construídos com tubos PVC de 40' com 1 m de comprimento, perfurados.

Dentro desses tubos foi colocado mais um tubo, de 25' com CAP no final, também todo perfurado, para possibilitar a entrada do esgoto.

Na figura 14 são apresentadas as profundidades de cada coletor (A), a calha utilizada na extremidade de cada coletor (B) e os piezômetros (C).

Figura 14: Profundidade de cada coletor, calha utilizada e piezômetros.



Fonte: Autor (2023)

4.3 INÍCIO DE OPERAÇÃO

A ETE iniciou a operação no dia 31/08/2023. O tanque séptico e o poço de sucção operam com fluxo contínuo, e as unidades em fluxo intermitente, por comando automático de boia. A figura 15 apresenta o poço de sucção com a boia, que aciona a bomba quando o nível máximo é atingido.

Figura 15: Boia que controla o acionamento da bomba que realiza o recalque do esgoto para os WCFV.



Fonte: Autor (2023)

São alimentadas, sempre, três unidades, sendo as duas de brita e uma de areia, pois as unidades de areia operam de forma intercalada, a cada 3 dias, a fim de prevenir colmatção e mineralização dos sólidos. As unidades de brita operam de forma simultânea.

O volume de cada pulso foi fixado em 950 L, obtido por meio da regulagem da boia. Cada unidade recebe aproximadamente 317 L/pulso, com uma vazão de aproximadamente 45 L/min, resultando em a taxa de aplicação hidráulica instantânea de 13,3 L/m².pulso.

4.4 ANÁLISE QUANTITATIVA AFLUENTE

Após iniciada a operação da estação, foi realizada a medição da vazão de entrada em cada unidade, de forma manual. Para isso, a tubulação de alimentação foi desviada para baldes de volume conhecido, onde foi marcado o volume de 14 litros e cronometrado o tempo que cada um dos módulos demorou para encher o balde. Na figura 16 é apresentado como foi realizada a medição da vazão.

Figura 16: Medição da vazão de entrada do esgoto.



Fonte: Autor (2023)

Após a primeira medição da vazão de esgoto na entrada de cada unidade, foi verificada uma diferença de vazão, de forma que o esgoto não estava sendo distribuído igualmente em todas as unidades, pois o tanque de brita 2, estava recebendo uma vazão maior.

Diante disso, foi ajustada a vazão afluyente às unidades, através do registro de gaveta, a fim de igualar todas as vazões. Como as unidades de areia estavam operando de forma intercalada, no primeiro momento foi verificada a vazão apenas da unidade de Areia 1, visto que a unidade de Areia 2 não estava em operação.

A tabela 01 apresenta os valores de vazão inicial, além dos valores após o ajuste do registro.

Tabela 1: Vazão em cada WCFV durante a primeira campanha de medição de vazão afluyente.

Tempo (s)	Areia 1	Brita 1	Brita 2	Tempo médio (s)	Vazão (L/s)
Tempo 1	18,11	17,2	16,88	17,40	0,805
Tempo 2	18,23	18,23	15,02	17,16	0,816
Tempo 3	18,68	18,16	15,52	17,45	0,802
Tempo 4	18,51	17,23	16,51	17,42	0,804
3,5 voltas					
Tempo 5	18,47	18,1	16,92	17,83	0,785
Tempo 6	18,83	17,57	18,29	18,23	0,768

Nota: Tempo decorrido para enchimento de um balde com volume de 14 L.

Fonte: Autor (2023)

Em uma segunda campanha de medições de vazão, foi verificada a vazão afluyente às unidades, durante a operação da unidade de Areia 2 juntamente com as duas unidades preenchidas com brita (tabela 02).

Tabela 02: Vazão em cada WCFV durante a segunda campanha de medição de vazão afluente.

Tempo (s)	Areia 1	Brita 1	Brita 2	Tempo médio (s)	Vazão (L/s)
Tempo 1	19,26	19,17	18,2	18,88	0,742
Tempo 2	19,37	18,47	16,7	18,18	0,770
Tempo 3	15,67	17,68	17,4	16,92	0,828

Fonte: Autor (2023)

Dessa forma, foi possível fixar uma vazão relativamente semelhante em todas as unidades, a fim de garantir as mesmas condições em todas.

4.5 ANÁLISE QUANTITATIVA EFLUENTE

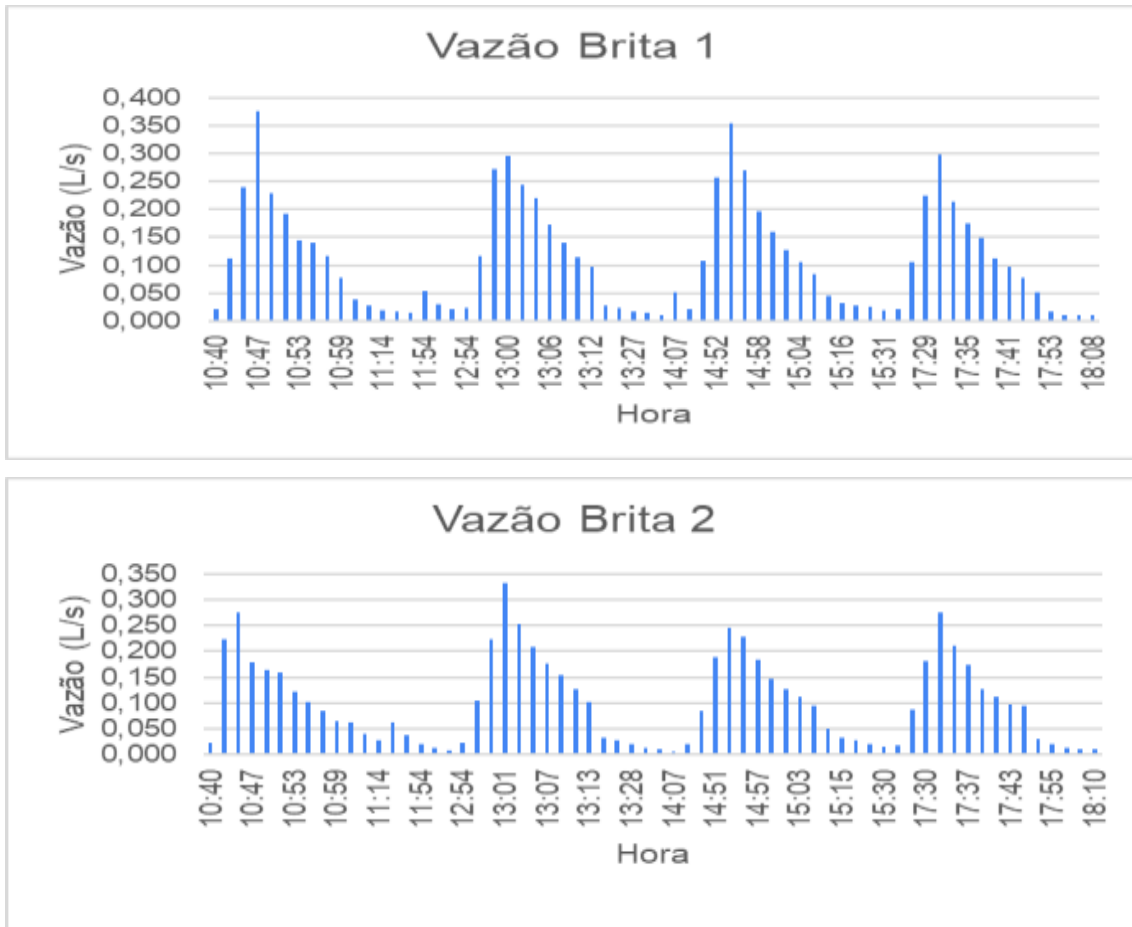
A medição da vazão efluente foi realizada no dia 29/09/2023, quando estavam em operação os WC1, WC3 e WC4. As medições foram feitas com um becker de 2000 ml e um de 200ml e cronômetro, sendo anotada a vazão efluente.

A partir da aplicação de um pulso, as medições foram realizadas em intervalos de 2 minutos, sendo realizadas 10 verificações, após mais 5 verificações com intervalos de 5 minutos e por fim, medições com intervalos de 30 minutos até o próximo pulso, ou seja, quanto maior a vazão efluente, maior a frequência (menor o intervalo) das medições.

Os gráficos a seguir apresentam os resultados das vazões de saída dos WCFV.

Figura 17: Vazão de saída em cada WCFV, quando estavam em operação as unidades: Areia 1, Brita 1 e Brita 2.





Fonte: Autor (2023)

De acordo com os gráficos, é possível notar uma diferença no comportamento das vazões nas unidades de areia e de brita. Na unidade de areia, nota-se que a vazão de saída é menor inicialmente.

A vazão na unidade de areia demora em torno de 15 minutos para ficar abaixo de 0,05 L/s, nas unidades de brita, esse tempo fica em torno de 12 minutos. Também é possível observar que os picos de vazão foram diferentes em cada unidade.

Na unidade de areia, o pico de vazão foi alcançado no início do primeiro pulso, chegando muito próximo a 0,400 L/s. Na unidade de brita 1, o pico de vazão foi alcançado no primeiro pulso, ultrapassando 0,350 L/s. Na unidade brita 2, o pico foi alcançado no segundo pulso, chegando próximo a 0,340 L/s.

Na unidade de areia, os picos de vazão foram observados no primeiro e no segundo pulso, respectivamente. Na unidade brita 1, os maiores picos foram observados no primeiro e no terceiro pulso. Na unidade brita 2, os picos maiores aconteceram no primeiro e segundo pulsos, respectivamente.

Após os primeiros instantes, ela se acentua, tendo picos mais proeminentes e diminuindo mais rapidamente, enquanto as unidades de brita apresentam uma vazão maior inicialmente, porém com o passar do tempo, a diminuição não é tão acentuada quanto na de areia, sendo a saída mais estabilizada.

Durante a verificação das vazões foi possível perceber a grande diferença no tempo de percolação do aflente na areia e na brita. Os resultados indicam que a areia apresenta um tempo de percolação/detenção hidráulica superior, fazendo com que o esgoto permaneça mais tempo em contato com o meio filtrante e com a parte biológica do sistema.

Análises posteriores devem ser realizadas, a fim de verificar a influência do biofilme, da colmatação do sistema e o desenvolvimento das plantas, no TDH das unidades, considerando que a verificação ocorreu no início de operação, onde esses fatores não foram considerados.

Previamente pode-se observar que as plantas apresentam grande diferença no estágio de crescimento, entre as unidades de areia e brita. Nas unidades de areia, as plantas apresentam maior tamanho e maior quantidade de folhas, quando comparadas às unidades de brita. Dessa forma, o desenvolvimento das plantas pode influenciar o TDH das unidades.

4.6 MUDANÇAS APÓS O INÍCIO DE OPERAÇÃO

Durante a operação da ETE foi verificado que a distribuição do esgoto na superfície das unidades não estava ocorrendo de forma uniforme. O esgoto aflente era distribuído apenas na metade inicial dos WCFV (primeiros 3 m), enquanto a parte final não apresentava vazão expressiva.

Inicialmente cada unidade tinha 3 tubos de distribuição, com diâmetro de 32 mm, porém como não estava apresentando uma distribuição satisfatória, por toda a superfície, foi retirada a tubulação do meio, de cada unidade, de forma que a vazão nos dois tubos restantes fosse maior.

A figura 18 apresenta a mudança que foi realizada, onde inicialmente, a distribuição ocorria através de 3 tubos (A) e após a mudança, por apenas 2 (B).

Figura 18: Mudança realizada da tubulação de distribuição

A)

B)



Fonte: Autor (2023)

Também foram trancados 9 furos de cada tubulação de forma intercalada, a fim de fazer com que a distribuição ocorresse em toda a extensão da tubulação, porém mesmo assim, a vazão se concentrava no início da tubulação. Apenas a unidade de brita 2 apresentava uma vazão satisfatória, de forma bem distribuída.

Porém, mesmo com a mudança, a vazão não apresentava uma distribuição satisfatória em todas as unidades. Dessa forma, foi trocada a tubulação de distribuição, sendo reduzida para um diâmetro de 20 mm.

A tubulação foi furada com broca de diâmetro de 5,5 mm, com furos espaçados 20 cm entre si, na metade inicial (3 m), e na metade final (3 m), os furos foram espaçados 10 cm. A figura a seguir mostra a mudança realizada. Nessa configuração (Figura 19), também foram trancados 8 furos, na metade inicial, de forma intercalada.

Figura 19: Tubulação de distribuição de 20mm.



Fonte: Autor (2023)

Após a mudança, a distribuição ocorreu de forma mais homogênea, porém ainda apresenta diferença da vazão de saída do afluente, no início e no final do tubo.

4.7 SATURAÇÃO DO FUNDO

A saturação do fundo foi implementada nas unidades 30 dias após o início de operação, sendo implantadas alturas de saturação de 0,15m e 0,25 m. Sendo um tanque de areia com altura de 0,15 m e outro de 0,25 m e um tanque de brita com altura de 0,15 m e outro de 0,25 m.

Na figura 20 são apresentadas as duas alturas de saturação, da esquerda para a direita, as alturas de 0,15 m e 0,25 m. A tubulação de saída ficou inclinada com o intuito de facilitar a coleta de esgoto na saída.

Figura 20: Alturas de saturação do fundo de 15 cm e 25 cm, da esquerda para a direita, respectivamente.



Fonte: Autor (2023)

4.7 ANÁLISES QUALITATIVAS

Foram realizadas duas campanhas de análises, com intervalo de quinze dias entre elas. Os resultados são apresentados nas tabelas 03 e 04, a seguir.

Tabela 03: Resultados da primeira campanha de amostragem (realizada em 21/09/23).

Ponto de coleta	pH	Temperatura (°C)	Alcalinidade (CaCO ₃ /L)	DQO ¹ (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)
Afluente	7,75	24,2	324	215	146
WC1	6,64	23,2	151	<30	56
WC2	6,64	23,2	130	<30	67
WC3	7,72	23,2	293	68	87
WC4	7,74	23,2	301	57	78

¹Resultados considerando o limite de quantificação do método, de 30 mg/L.

Fonte: Autor (2023)

De acordo com os resultados das análises, é possível observar que os WC com areia apresentaram um pH menor, comparados aos de brita. Tal diferença pode ser devido à composição química diferente entre os materiais, pois a areia é composta principalmente por sílica, que é um composto neutro, sem tendência de aumentar o pH. A brita é composta por rochas, que podem conter minerais, capazes de neutralizar ácidos, se comportando como tampão contra mudanças de pH (BOTELHO, 2017; REIS, RODELLA, 2002)

Ao encontro disso, para alcalinidade também é possível notar uma grande redução nos WC com areia. Já nos WC com brita, a redução não foi tão significativa. No WC1, a redução foi de 53,4%, no WC2, a redução foi de 59,9%, já nos WC 3 e 4, as reduções foram de 9,5% e 7%, respectivamente.

Com relação à DQO, os WC1 e 2 apresentaram redução superior a 86%, o WC3 obteve redução de 68% e o WC4, redução de 73%. Pode-se observar que a areia se tornou bem mais efetiva da redução de DQO, comparada à brita.

Com relação à redução de N-NH₄, as eficiências de remoção foram de 62%, 54%, 40% e 46%, para os WC1, WC2, WC3 e WC4, respectivamente. A areia foi mais efetiva na redução de N-NH₄.

Portanto, em todos os parâmetros analisados, os WC com areia apresentaram valores superiores aos WC com brita, alcançando índices mais satisfatórios.

Tabela 04: Resultados da segunda campanha de amostras (realizadas em 05/10/23).

Ponto de coleta	pH	Temperatura (°C)	Alcalinidade (CaCO ₃ /L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)
Afluente	7,76	20,3	275	287	73	63
WC2	7,06	20,4	225	57	2,9	36
WC3	7,7	20,4	235	85	4,3	46
WC4	7,67	20,3	250	87	24	44

Fonte: Autor (2023)

Na segunda campanha de verificações, o WC1 não foi analisado por estar em período de repouso.

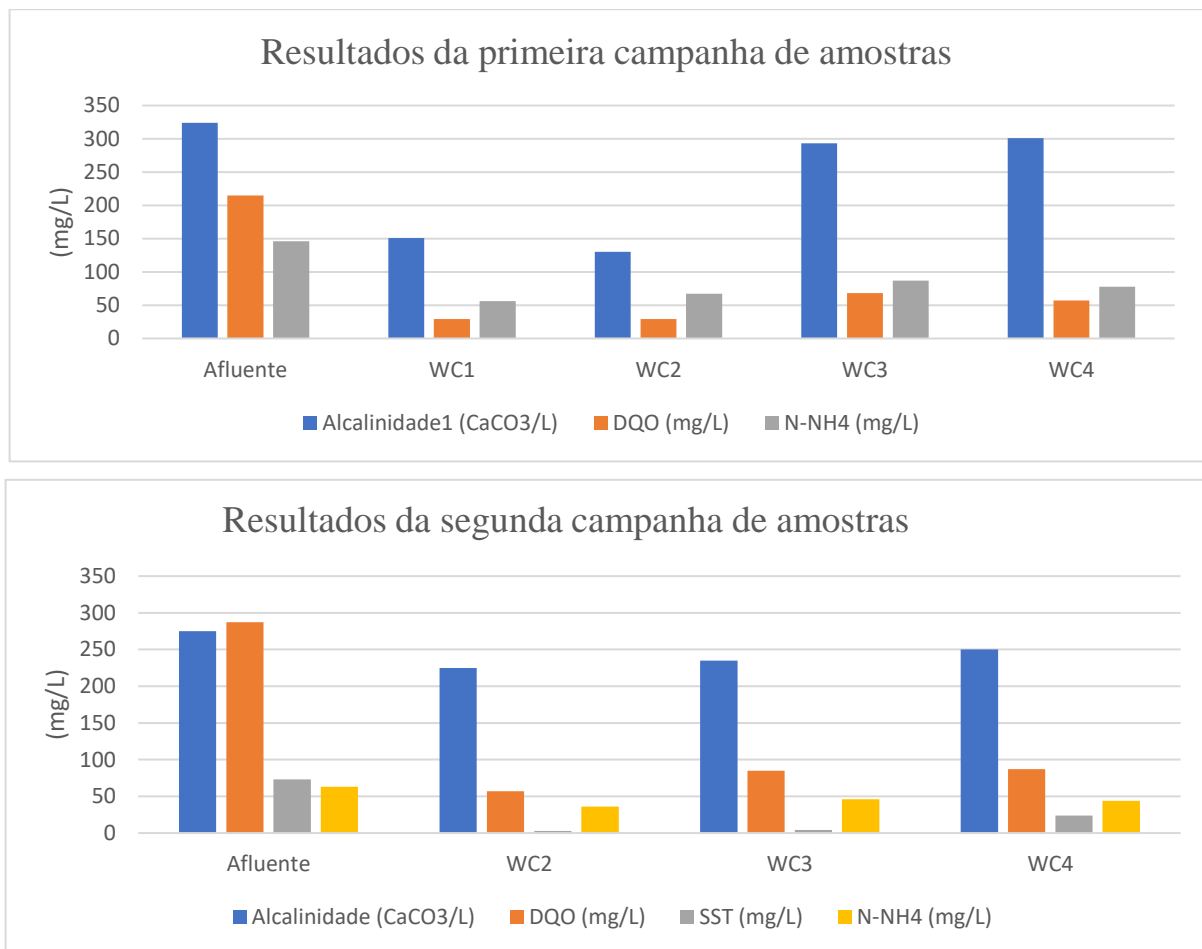
Os valores de pH não apresentaram grande diferença entre si. A alcalinidade também apresentou menor diferença de redução, comparada à primeira campanha, sendo o WC2, o que apresentou maior redução.

Para DQO, o WC2 apresentou melhor resultado, com redução de 80%, enquanto os WC3 e WC4 apresentaram índices de redução de 70%.

Na redução de SST, o WC2 apresentou uma redução muito satisfatória, de 96%, enquanto o WC3 apresentou redução de 94% e o WC4, 67%. Para N-NH₄, as reduções foram de 43%, 27% e 30%, para os WC2, WC3 e WC4, respectivamente.

A figura 21 apresenta os gráficos, com os resultados das duas campanhas de amostragem.

Figura 21: Resultados das duas campanhas de amostragem.



Fonte: Autor (2023)

É possível observar que em todos os parâmetros analisados, a areia apresentou índices de remoção mais satisfatórios que a brita. Entretanto, outros fatores precisam ser considerados, como o custo, risco de colmatção, demanda de área, pois as unidades de areia estão operando de forma alternada, logo, demandam o dobro de área, quando comparadas à brita.

Com base nas duas campanhas amostrais, não foi possível definir se a altura de saturação teve grande influência nos índices de remoção, porém espera-se que ao realizar mais análises, seja possível determinar a influência da altura de saturação na remoção dos

contaminantes. Também se espera uma eficiência maior com o passar do tempo, devido à formação do biofilme.

Na literatura, diversos estudos apontam eficiências muito satisfatórias de WCFV.

No estudo conduzido por Ucker, Almeida e Kemerich (2012), foi registrada uma eficiência média percentual de remoção do nitrogênio amoniacal de 93,9% para esgoto dentro dos WCFV, uma remoção consideravelmente maior que a obtida na ETE em estudo. Para pH, encontraram valores próximos à neutralidade, com variação de 6,64 a 7,49, sendo mais instáveis que os valores afluentes. Os valores de pH efluente foram muito próximos aos considerados ideais na faixa de 6,8 a 7,2, de acordo com Valentim (2003).

Esse índice de remoção foi alcançado nos WCFV com saturação de 0,05 m abaixo da superfície do substrato, com TDH de 3,4 dias. Nos WCFV com altura mantida a 0,25 m da superfície e TDH de 1,9 dias, o índice de remoção foi de 73,7%. O volume de esgoto aplicado em cada tanque foi de 74 litros, divididos em 3 bateladas diárias.

Para a DQO, os resultados foram semelhantes aos encontrados por Avelar, Matos e Matos (2019) onde obtiveram eficiências médias de remoção de matéria orgânica, no que se refere à DQO, variando de 71,3 a 91,4%, onde a carga do afluente era de 416,1 mg L⁻¹, em WCFHS, com diferentes tipos de detenção hidráulica. Na primeira fase avaliaram-se TDH de 6,0 e 4,5 dias, aplicando-se vazão de 0,39 m³ d⁻¹ nos WCFHS cultivados com *Mentha aquatica* e não cultivados e 0,52 m³ d⁻¹ nos WCFHS cultivado e não cultivado. Na segunda, avaliaram-se TDH de 3,0 e 1,5 dias, aplicando-se vazão de 0,77 m³ d⁻¹ e 1,55 m³.d⁻¹.

Santos et al (2016) estudou diferentes tempos de tratamento, encontrando porcentagens de remoção de DQO na ordem de 22%, 82,2%, 89,6% e 98,4% para os tempos de 24h, 48h, 72h e 96h, respectivamente. Para o estudo foi implantado um módulo experimental preenchido com uma camada de solo, seguido de pedra brita e areia como material filtrante e na camada superior foi plantado a macrófita *Juncus effusus* (junco)

Para a alcalinidade, Silveira (2018) realizou três análises, na primeira análise, obteve-se a redução de 28,6%, 21,2% e 10,9% de alcalinidade do afluente para os efluentes dos leitos com plantas, entretanto, os efluentes dos filtros de brita e solo não complementaram na eficiência. Na segunda análise, a alcalinidade do afluente bruto foi diminuída a 15,4%, 13,3% e 13,8% nos leitos. Nos filtros de brita, areia e solo obteve-se uma redução complementar progressiva de 11,1%, 14,1% e 1,2% na alcalinidade. Já, na terceira análise reduziram-se em 5,8%, 18,5% e 16,3%. Acrescentando-se uma remoção de 1,8% do filtro de brita e 11,7% do filtro de solo, sem redução no filtro de areia.

No estudo conduzido por Bassani (2022), em WCFV com altura útil de 0,6m, sendo 0,5m de brita 1 e 0,1m de areia grossa. O estudo contemplou três fases, cada uma com características distintas. Na primeira fase, com 3 a 4 pulsos por dia e volume de 190,1 L/pulso, foram alcançadas eficiências de remoção de DQO de 94,1% e remoção de nitrogênio amoniacal de 76,42%. Na segunda fase, com volume por pulso de 140,4 L/pulso e 3 a 4 pulsos por dia, foi alcançada remoção de DQO de 94,6 % e nitrogênio amoniacal de 78,44%. Na terceira fase, com volume de pulso de 92,2 L, com 5 a 8 pulsos por dia, foi alcançada remoção de DQO de 94,2% e remoção de nitrogênio amoniacal de 78,69%.

Baggiotto (2022) registrou eficiência de remoção de 61% para nitrogênio amoniacal, 91% para SST e 88% para DQO, em um sistema WCFV, preenchidos com brita, sendo alimentadas 5 vezes ao dia, por 3,5 dias na semana, com o mesmo tempo destinado a repouso.

Nos estudos realizados com WCFV em sistema francês, Trein, Zumalacarregui e von Sperling (2018) o sistema foi dimensionado para tratar vazão média de $13 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, o primeiro estágio possui 3 leitos filtrantes, cada um com área superficial de $29,4 \text{ m}^2$, totalizando $88,2 \text{ m}^2$. As unidades foram preenchidas com 15 cm de brita 3 na zona de drenagem, 15 cm de brita 1 na camada intermediária e 40 cm de brita 0 na camada superior.

Todas as unidades foram plantadas com capim – Tifton 85 (*Cynodon dactylon Pers.*). A alimentação ocorreu de forma intermitente a cada hora, totalizando 24 pulsos por dia, com vazão de $0,53 \text{ m}^3$ cada com alternância a cada 7 dias. Foi verificada remoção média de 69% de DQO e do total de 58% de N-NH_4^+ removida no sistema, 66% foi nitrificada, sendo observada maior produção de N-NO_3^- nos primeiros 3 dias de operação.

A tabela 5 apresenta um comparativo entre a eficiência de remoção dos diferentes estudo, de acordo com os parâmetros analisados em cada um deles. Nos estudos com diferentes características, foram selecionados os parâmetros com melhor desempenho.

Tabela 05: Comparativo entre os estudos e os diferentes parâmetros analisados.

Autores	Modalidade	Meio filtrante	DQO (%)	SST (%)	N-NH₄ (%)
Ucker, Almeida e Kemerich (2012)	WCFV	Brita			93,9%
Avelar, Matos e Matos (2019)	WCFV	Brita	91,4%		
Santos et al (2016)	WCFV	Areia	98,4%		
Silveira (2018)	WCFV	Brita		87,2%	
Bassani (2022)	WCFV-FS	Areia	94,2%		78,69%
Baggiotto (2022)	WCFV-FS	Brita	88%	91%	61%

Fonte: Autor (2023)

Com base nos diferentes estudos citados, é possível observar que a eficiência obtida na ETE foi menor que a faixa de eficiências encontrada na literatura, o que é esperado, considerando que a mesma está em início de operação e a comunidade microbiana não está completamente formada e as plantas ainda não estão com desenvolvimento completo.

Com relação às exigências legais para o lançamento de efluentes no corpo receptor, a Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011 e a Resolução CONSEMA nº 355 de 19 de julho de 2017, estabelecem os valores limites, em âmbito federal e estadual, respectivamente.

A Resolução CONAMA 430/2011 estabelece os valores de pH entre 5,0 e 9,0 e temperatura inferior a 40°C; na ETE em estudo, ambos os parâmetros foram alcançados. Para nitrogênio amoniacal, a resolução estabelece valor de 20,0 mg/L, esse parâmetro não foi alcançado nas primeiras duas campanhas amostrais. A resolução não estabelece valores de referência para alcalinidade, SST e DQO.

Em âmbito estadual, a Resolução CONSEMA 355/2017 estabelece os padrões para lançamento de efluentes em águas superficiais. A resolução estabelece o valor de pH entre 6,0 e 9,0, temperatura de 40°C, DQO até 330 mg/L, SST até 140 mg/L, nitrogênio amoniacal até 20 mg/L, para alcalinidade, a resolução não estabelece limites. Somente para nitrogênio amoniacal, o desempenho não foi alcançado pela ETE, os demais parâmetros, todos foram alcançados.

De acordo com ambas as legislações, é possível observar que somente para nitrogênio amoniacal, o desempenho da ETE não alcançou os valores estabelecidos, o que é explicado pelo fato de a mesma estar em início de operação; porém, espera-se que esse valor seja alcançado nas próximas campanhas amostrais, devido à estabilização da comunidade microbiana.

4.8 ESTABELECIMENTO DE ROTINA OPERACIONAL

A rotina operacional da estação se refere aos procedimentos que devem ser realizados para garantir o bom funcionamento e o tratamento de forma mais satisfatória possível.

Os procedimentos incluem diferentes periodicidades, sejam eles diários, semanais, mensais e semestrais. Como a ETE não dispõe de operador, os procedimentos serão realizados pelos estudantes da graduação e pós-graduação do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFSM-FW, como forma de atividade prática das disciplinas, bem como pelos funcionários terceirizados, quando necessário.

O quadro 3 apresenta a periodicidade e os procedimentos a serem realizados na ETE.

Quadro 03: Periodicidade e procedimentos a serem realizados na ETE.

Periodicidade	Procedimento
Diário	Visita à estação para verificar o correto funcionamento, bem como possíveis inconformidades com a bomba, possíveis obstruções na tubulação de entrada e saída.
A cada 3 dias	Alternância dos tanques de areia, sendo definida a alternância de alimentação a cada 3 dias, sempre às 18:00 horas.
Mensal	Corte de grama ao redor da estação, a fim de garantir harmonia paisagística do local. Limpeza da unidade de tratamento preliminar (crivo).
Semestral	Poda das plantas, a fim de garantir a harmonia paisagística e a manutenção da capacidade de assimilação de nutrientes.
Pontual	Troca de tubulação/conexão/registro, desentupimento de tubulação, manutenção do conjunto motor-bomba.

Fonte: Autor (2023)

A limpeza do crivo (unidade de tratamento preliminar) deverá ser realizada sempre que for percebida obstrução da passagem do afluente, devido ao acúmulo de sólidos, possivelmente sendo realizada mensalmente (dependendo da quantidade de sólidos grosseiros presentes no mesmo).

Foi verificada a efetividade do tratamento preliminar, visto que na limpeza da caixa de acúmulo de sólidos foi retirada grande quantidade de lenços umedecidos, folhas, preservativos, cabelos e demais sólidos; foram retirados cerca de 1,5 kg de resíduos da caixa na primeira limpeza, que foram destinados à coleta de resíduos.

A primeira limpeza ocorreu 45 dias após o início de operação da estação (Figura 22).

Figura 22: Limpeza da caixa de gradeamento após 45 dias de operação.



Fonte: Autor (2023)

4.9 RECOMENDAÇÕES

A escolha do material filtrante deve considerar a disponibilidade financeira para o projeto, bem como a disponibilidade de área; na ETE estudada, os WCFV preenchidos com areia apresentaram índices mais satisfatórios de remoção, porém, é necessário analisar que os WCFV de areia estão operando de forma intercalada, enquanto os WCFV preenchidos de brita, operam de forma simultânea.

Diante disso, para a mesma vazão a ser tratada, a areia necessita o dobro de área, comparada à brita; devem ainda ser analisados os custos de cada um dos materiais e a colmatação do sistema, não abordada neste estudo.

A rotina operacional deve ser seguida, para garantir o bom funcionamento da ETE, bem como o tratamento do efluente, de forma mais satisfatória possível.

A escolha das plantas utilizadas deve considerar as condições locais, devendo ser uma espécie que tenha boa adaptabilidade e resistência, sendo preferível, espécies que floresçam, afim de garantir maior embelezamento e harmonia paisagística.

Considerando a grande quantidade de resíduos sólidos retiradas da unidade de tratamento preliminar, um projeto de educação e conscientização para os moradores da CEU, sobre a destinação correta dos resíduos seria de grande relevância, garantindo um desempenho melhor da ETE.

5 CONCLUSÃO

A execução da obra de implantação da ETE seguiu o projeto inicial (Bueno, 2021), bem como as demais normas e recomendações presentes na ABNT, de acordo com as NBRs 7229/1993 e NBR 13969/1997, assim como as diretrizes nacionais para dimensionamento de wetlands construídos (VON SPERLING e SEZERINO, 2018).

Foram adicionadas estruturas que não estavam previstas no projeto original, a fim de possibilitar análises complementares, por se tratar de uma ETE experimental e com foco em pesquisas, tanto relacionadas ao meio filtrante, plantas, microrganismos, aspectos hidráulicos, características do esgoto afluente e efluente.

Foram realizadas mudanças após o início de operação da ETE, devido à percepção de problemas relacionados à distribuição superficial do afluente, o que levou a melhorias na distribuição, apesar de a mesma ainda não estar ocorrendo da forma como esperado, devido à baixa vazão recalçada pelo conjunto motor-bomba.

Foi estabelecida uma rotina operacional para a ETE, com atividades diárias, a cada 3 dias, semanais, mensais e pontuais. Tal procedimento se justifica pela necessidade de manutenção da ETE, que, apesar de apresentar baixa necessidade de operação, algumas atividades são necessárias para o correto funcionamento da mesma e para que o tratamento ocorra da forma mais satisfatória possível.

Também foram realizadas análises quantitativas e qualitativas, do esgoto afluente e efluente dos wetlands, onde foi percebida a efetividade do tratamento, alcançando reduções de 86% para DQO, 96% para SST e 62% para N-NH₄. As análises permitiram ainda, observar a influência do material filtrante, no tratamento, de forma que a areia apresentou melhor desempenho, quando comparado com a brita. Porém, destaca-se que as unidades de areia operaram em ciclos de alimentação e repouso, o que não aconteceu para as unidades de brita.

Com base nas duas campanhas, realizadas no início de operação, ainda não foi possível determinar a influência das alturas de saturação de 0,15 m e 0,25 m no desempenho hidráulico e de tratamento, de forma que são necessárias mais análises para estabelecer a relação entre as diferentes alturas de saturação e a eficiência de remoção dos contaminantes.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS EUA. **Manual Tratamento De Zonas Úmidas Construídas De Águas Residuais Municipais**. Cincinnati: 2000.

APHA – American Public Health Association, AWWA, WEF (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

ARIAS, C. A; BRIX, H. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. **Ciência e Ingeniería Neogranadina**, Bogotá, Colombia. v.13, p. 17-24, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

AVELAR, Fabiana Ferreira, MATOS, Antonio Teixeira de. MATOS, Mateus Pimentel. Remoção de contaminantes do esgoto sanitário em sistemas alagados construídos. cultivados com *Mentha aquática*. **Eng Sanit Ambient**, v. 24, n. 6, p. 1259-1266, 2019.

BAGGIOTTO, Carine. **Tratamento de efluentes domésticos em um wetland construído de fluxo vertical com fundo saturado**. 2022. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

BARSZCZ. Leonardo Beltrão *et al.* Avaliação ecotoxicológica de efluentes tratados por alagados construídos. **Eng Sanit Ambient**, v. 24, n. 6, p. 1147-1156, 2019.

BASSANI, Leandro. **Influência do modo de alimentação sobre o desempenho de wetland construído vertical de fundo saturado no tratamento de esgoto sanitário**. 2022. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

BITTENCOURT, Claudia; PAULA, Maria Aparecida S. de. **Tratamento de Água e Efluentes: Fundamentos de Saneamento Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos**. 1. ed. São Paulo: Érica. 2014.

BOTELHO, Fernando Aracati. **Estudo da influência da adição de óxido de cálcio e óxido de magnésio na neutralização e estabilização da alcalinidade do resíduo de bauxita através da reação com dióxido de carbono**. 2017. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

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

BUENO, Paola Bertoncetto. **Projeto executivo de uma estação de tratamento de esgoto doméstico gerado por uma casa de estudantes universitários**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2021.

CONTERATO, Eliane. *et al.* **Saneamento**. 1 ed. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

DECEZARO, Samara Terezinha. **Nitrificação e remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos de efluente doméstico em wetland construído de fluxo vertical**. 2016. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

DECEZARO, Samara Terezinha *et al.* Potencial de nitrificação/desnitrificação de tanque séptico e wetland construído com recirculação no tratamento descentralizado de esgoto de empreendimento habitacional. **Eng Sanit Ambient**. v.26, n. 4, p. 721-730, 2021.

DOTRO, Gabriela *et al.* **Tratamento Zonas Úmidas**. Londres: IWA Publishing, 2017.

FEPAM. **Diretriz Técnica Nº. 04/2019**. Diretriz técnica para o licenciamento ambiental de sistemas de esgotamento sanitário e sistemas de tratamento de resíduos de esgotamento sanitário. Porto Alegre, 2019.

FERREIRA, Marcela Moretti; SARON, Alexandre. Estudo da eficiência do tratamento de esgoto doméstico por sistema de Wetlands de fluxo vertical descendente para ser aplicado em comunidades isoladas estação de tratamento em escala de laboratório. **Interface EHS: Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**. v. 8, n. 1, 2013.

GOMES, Fábio Luiz. **Saneamento básico: aspectos jurídicos**. 1. ed. São Paulo: Almedina, 2021.

IBRAHIN, Francine Imene Dias; IBRAHIN, Fábio José; CANTUÁRIA, Eliane Ramos. **Análise Ambiental: gerenciamento de resíduos e tratamento de efluentes**. 1. ed. São Paulo : Érica, 2015.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Abes, 2014.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott. **Treatment Wetlands**. 2. ed. Estados Unidos da America: Taylor & Francis, 2009.

LANGE, Catia Rosana. **Sistemas de tratamento de efluentes líquidos**. Indaial : Uniasselvi, 2012.

LANGERGRABER, Guenter. *et al.* **Tecnología de humedales para tratamiento: Información práctica para el diseño y aplicación de humedales para tratamiento**. Espanha: Iwa Publishing, 2019.

MATHEUS, Dacio Roberto *et al.* **Manual de sistemas de wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitários: implantação, operação e manutenção**. Santo André - SP : UFABC, 2018.

MAZUCATO, Valéria Sun Hwa *et al.* Comportamento de wetland construído de fluxo vertical com fundo parcialmente saturado na remoção de matéria orgânica nitrogenada e fósforo. **Braz. J. of Develop**. Curitiba, v. 6, n. 8, p. 56506-56520, 2020.

METCALF & EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre : AMGH, 2016.

NUVOLARI, Ariovaldo. (coord.). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Acesso em 24/09/23. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

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

PELLISSARI, Catiane *et al.* Incorporação de nitrogênio e fósforo no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. durante o tratamento de efluente da bovinocultura leiteira em *wetlands* construídos. **Eng Sanit Ambient**, v. 24 n. 3, p. 585-590, 2019.

PERONDI, T. *et al.* Wetlands construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do custo do ciclo de vida. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 175-189, 2020.

REIS, T. C.; RODELLA, A. A. Cinética de degradação da matéria orgânica e variação do ph do solo sob diferentes temperaturas. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:619-626, 2002.

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

RIO GRANDE DO SUL. Diretriz Técnica N°04, de 19 de setembro de 2019. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler: FEPAM. Porto Alegre.

ROCHA, Aristides Almeida. **Histórias do saneamento**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

ROCHA, Julio Cesar. ROSA, André Henrique. CARDOSO, Arnaldo Alves. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre : Bookman, 2009.

SANCHEZ, Aline Alves. **Desempenho de sistema piloto de alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal no tratamento secundário de efluente sanitário**. 2017. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental)- Universidade Federal do ABC, Santo André, 2017.

SANTOS, Bruna Souza Dos *et al.* Avaliação da eficiência de um sistema de tratamento por wetland construído aplicado ao efluente de um frigorífico de suínos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 37, n. 2, p. 13-22, 2016.

SATER, Almir; TEIXEIRA, Renato. Tocando em frente. *In:* BETHÂNIA, Maria. **25 anos**. Rio de Janeiro: Philips, 1990.

SEZERINO, Pablo Heleno *et al.* **Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implementação e boas práticas de operação e manutenção**. 1 ed. Tubarão: Copiart, 2018.

SEZERINO, Pablo Heleno *et al.* Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Eng Sanit Ambient**, v.20, n.1, p. 151-158, 2015.

SILVA, Valdemir Fonseca. **Avaliação da eficiência de tanque séptico no tratamento de esgoto sanitário e proposição de tecnologia complementar por meio de modelo de apoio multicritério à decisão**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2016.

SILVEIRA, Jéssica Rodrigues. **Potencial de reuso do efluente tratado por sistema wetland construído**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2018.

SNIS-Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Brasília, 2023.

SOUZA, Cezarina Maria Nobre Souza. *et al.* **Saneamento: promoção da saúde, qualidade de vida e sustentabilidade ambiental**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2015.

TEDESCO, Marino José. *et al.* **Análises do solo, plantas e outros materiais**, 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

TEIXEIRA, Roberta Miranda. **Remoção de nitrogênio de efluentes da indústria frigorífica através da aplicação dos processos de nitrificação e desnitrificação em biorreatores utilizados em um sistema de lagoas de tratamento**. 2006. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Química)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

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

TREIN, Camila Maria. ZUMALACARREGUI, Jorge Alejandro García. Von SPERLING, Marcos. Comportamento diário ao longo do período de alimentação do primeiro estágio do sistema francês de wetland vertical, em termos de remoção de matéria orgânica e amônia. **Tecno-Lógica**, v. 22, n. 1, p. 06-11, 2018.

UCKER, Fernando Ernesto; ALMEIDA, Rogério de Araújo; KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. **Revista Ambiente & Água**. Taubaté, v. 7, n. 3, p. 87-98, 2012.

VALENTIM, Marcelus Alexander Acorinte. **Desempenho de leitos cultivados (“construted wetland”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação**. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

VASCONCELOS, Raylan Caminha de. **Tratamento de efluentes líquidos: uma perspectiva para o desenvolvimento sustentável**. Campina Grande : Amplla, 2020.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

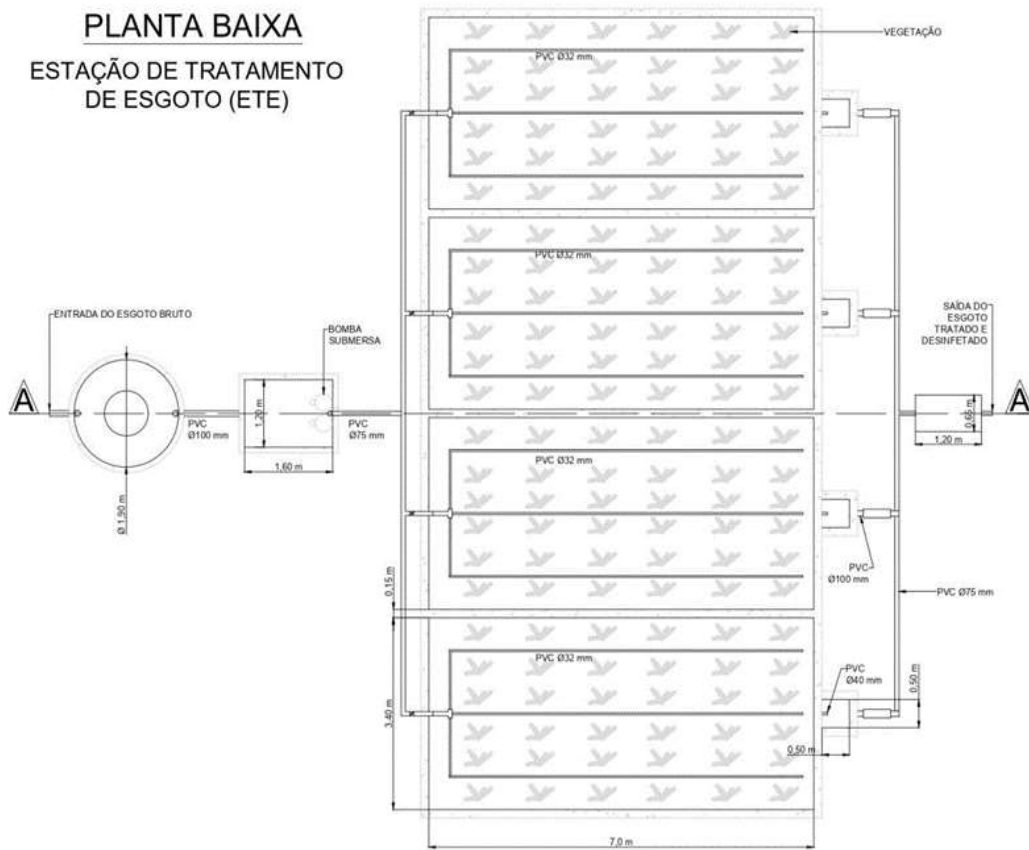
VON SPERLING, Marcos. **Humedales Construidos: Diseño y Operación**. Concepción: Okey, 2018.

VON SPERLING, Marcos. SEZERINO, Pablo Heleno. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil: documento de consenso entre pesquisadores e praticantes. Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial, novembro/2018.

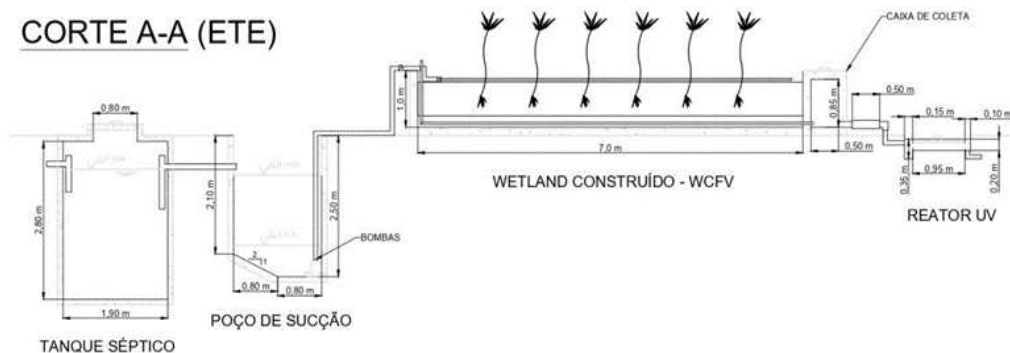
XAVIER, Juliana de Oliveira *et al* .**Macrófitas Aquáticas: caracterização e importância em reservatórios hidrelétricos**. 1. ed. Belo Horizonte: Cemig, 2021.

ANEXO A - PLANTA ORIGINAL DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

PLANTA BAIXA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE)



CORTE A-A (ETE)



Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen
Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária

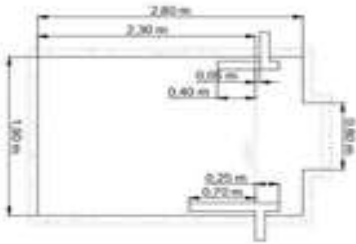
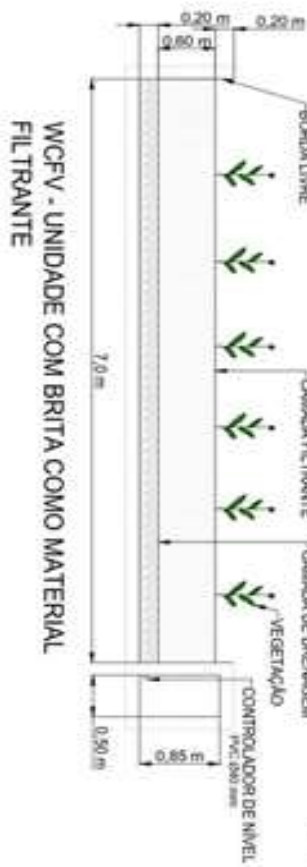
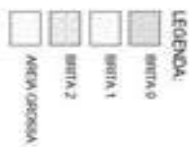
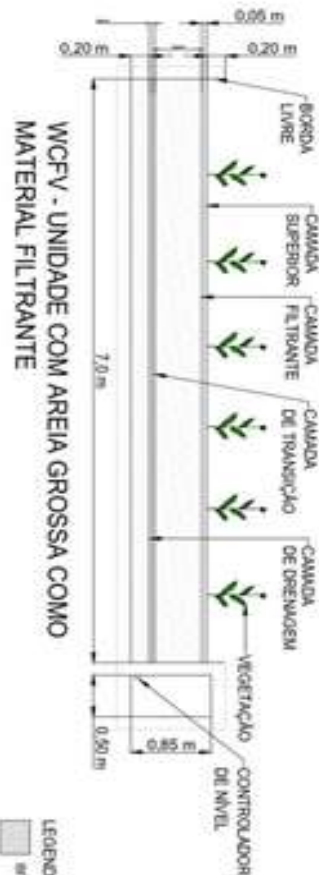
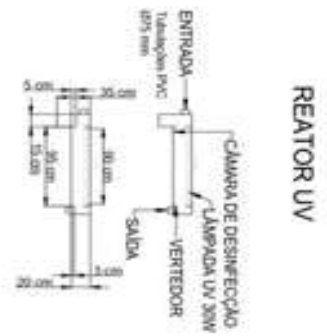
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Autora: Paola Bertonecello Bueno
Orientador: Prof^oDr. Raphael C. Medeiros

Disciplina:
Trabalho de Conclusão de Curso

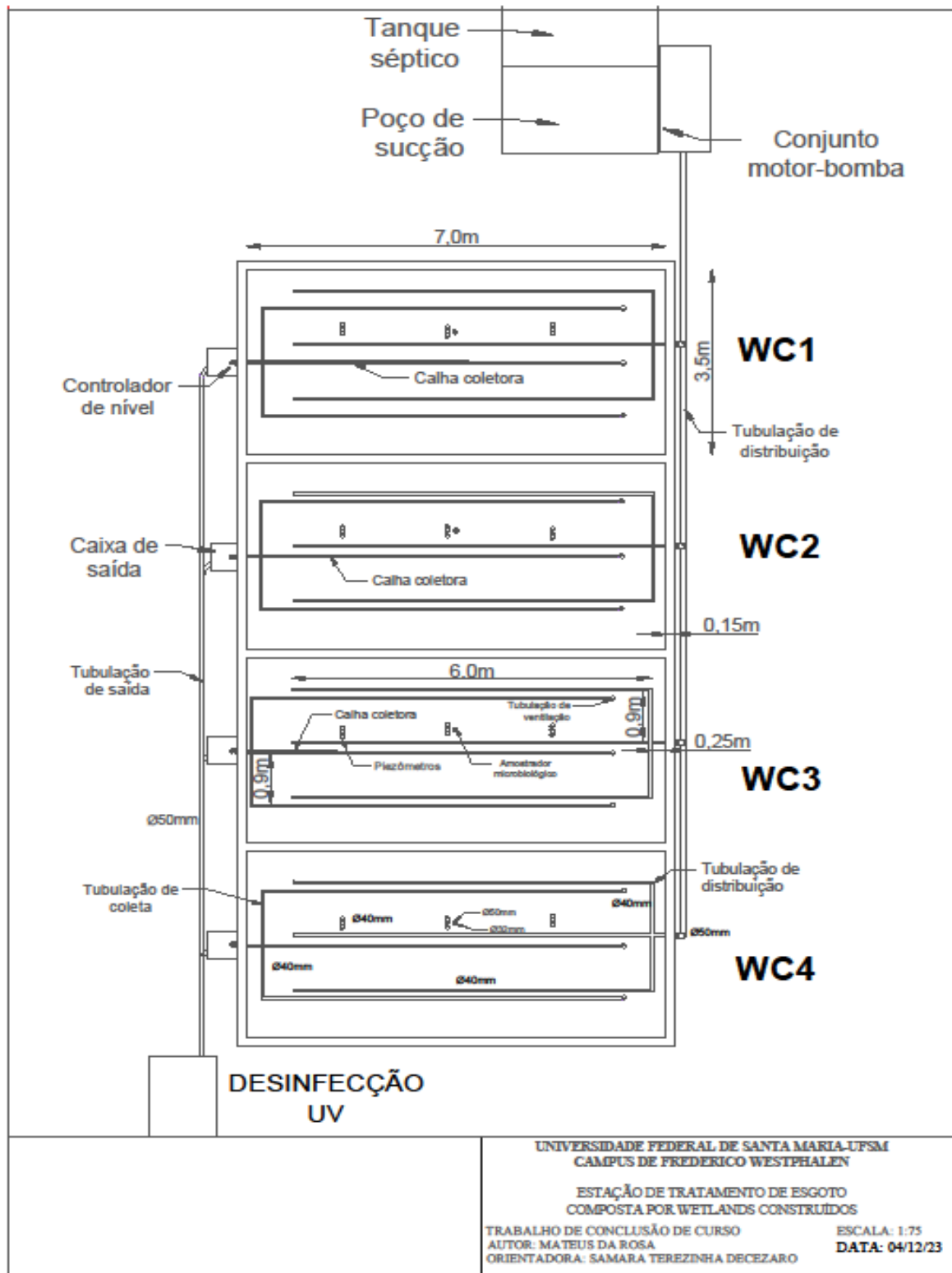
Folha: A3 Data: Janeiro
Escala: 1:75 de 2021

ANEXO B - DETALHAMENTO DAS PRINCIPAIS UNIDADES DE TRATAMENTO



Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária			
DETALHAMENTO DAS PRINCIPAIS UNIDADES DE TRATAMENTO DA ETE		Disciplina:	Trabalho de Conclusão de Curso
Autor: Paula Barbozelo Basso		Tutor: AS	Data: Janeiro de 2021
Orientador: Prof ^{Dr.} Rogério C. Meurers		Equipe: T159	

APÊNDICE A - PLANTA FINAL DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO



APÊNDICE B - DETALHAMENTO DAS UNIDADES

