



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

ALANA BONAMIGO

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE WETLANDS EM PRÉDIOS PÚBLICOS DE PEQUENO E GRANDE PORTE

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 8.5, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): *Heloise G. Knapik*
Prof. Dr. Heloise Knapik
Departamento de Hidráulica e Saneamento / UFPR

Membro(a) 1: *Ana Flavia Locatelli Godoi*
Prof. Dr. Ana Flávia Locatelli Godoi
Departamento de Engenharia Ambiental / UFPR

Membro(a) 2: *Tobias Bleninger*
Prof. Dr. Tobias Bleninger
Departamento de Engenharia Ambiental/ UFPR

Curitiba, 22 de fevereiro de 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Alana Bonamigo

**Análise da Viabilidade da Utilização de Wetlands em Prédios
Públicos de Pequeno e Grande Porte**

**CURITIBA
2022**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Alana Bonamigo

Análise da Viabilidade da Utilização de Wetlands em Prédios Públicos de Pequeno e Grande Porte

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Heloise Knapik

**CURITIBA
2023**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Alana Bonamigo

Análise da Viabilidade da Utilização de Wetlands em Prédios Públicos de Pequeno e Grande Porte

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Curitiba, 17 de Fevereiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^a. Heloise Knapik

Prof. Dr^o. Tobias Bleninger

Prof. Dr^a. Ana Flávia Godoi

AGRADECIMENTOS

Ao Jon Snow, meu felino de estimação, pela companhia permanente, diálogos profundos, opiniões sinceras e consideraçõezinhas relevantes. Obrigada por apreciar todas as canções que dediquei a você.

À Vitória “2000” Lima Pfaffenzeller, pela eterna parceria na faculdade, sem você não teria chegado aqui (em menos de 7 anos).

Ao Gustavo “Koka” Gonçalves, o melhor meio campista já escalado no time do EAD. Me contate sempre que achar necessário.

À Juliana Kassen Balestrin, minha companheira de apartamento com a qual já passei por muitas e sempre terá um lugar especial em meu coração. E Gabrielle Lima, que posteriormente se juntou a comunidade e me ensinou como manter um lar.

À Rafaela Costa Mirabile, a melhor prima que a UFPR me deu. Te amo de todo coração.

A todos os outros componentes da QuintaTrava, vocês mudaram minha vida!

E aos grandes amigos da graduação, vocês são joia.

À Mariê Mazer, apenas por existir em minha vida.

À minha orientadora Heloise Knapik, por toda paciência, carinho e orientação.

Aos meus professores e chefes, obrigada por todo conhecimento transferido.

À UFPR por oferecer ensino público e de qualidade mesmo em meio a tantas turbulências.

Ao meu gatinho, Leandro Humaita Kraemer da Silva, por me dar o apoio quando eu mais precisei e me dar a certeza de que sempre estará do meu lado.

Aos meus pais, que me deram tudo e que estão comigo não importa a distância, não importa o lugar. Mesmo que seja o céu.

RESUMO

A descentralização do tratamento de esgoto é uma das maneiras de atingir a universalização do acesso e o desafogamento dos sistemas centralizados. O sistema de *wetlands* construídos é uma dessas maneiras, devido a sua versatilidade e facilidade de operação, além do baixo custo. A criação de um ecossistema artificial irá tratar os efluentes ali despejados, deixando-os seguros para despejo no ambiente. Considerando as características usuais de efluentes de prédios públicos, de concentrações fracas relativas à matéria orgânica, sem metais, com origem de sanitários e produtos de limpeza, além de que esses lugares apresentam grandes áreas disponíveis em seu entorno, esta pesquisa explorou os procedimentos para elaboração de um projeto para implantação de *wetlands*, bem como suas dificuldades e possíveis soluções para melhor eficiência. Através da análise de casos de *wetlands* em ambientes públicos, averiguou-se que as principais dificuldades para utilização desse sistema são as grandes variações e as altas de temperatura, elevadas taxas de fósforo e nitrogênio, necessidade de monitoramento e equipe de operação constante, desgastes causados pela evolução do ecossistema e a grande variação do abastecimento do sistema. Numa abordagem final, foi simulada a implantação de um sistema de *wetlands* com enfoque no ambiente universitário, para o restaurante universitário do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, sendo o projeto pensado nas seguintes etapas: n° de pessoas, escolha e caracterização da área de implantação, análise do clima, análise da fluabilidade da vazão, caracterização do efluente, escolha do tratamento prévio/primário e seleção dos materiais. Todos os tópicos foram abordados de forma instrutiva e solucionadora, para que seja possível realizar as etapas do planejamento, sejam reconhecidos os obstáculos e oferecidas as formas de adaptação. Como produto final, é apresentado um fluxograma orientador para aplicação de sistema de *wetlands* em prédios públicos de pequeno e grande porte, servindo como apoio para gestores que se interessem em implementar a solução baseada na natureza.

ABSTRACT

The decentralization of sewage treatment is one of the ways to achieve universal access and unburden centralized systems. The constructed wetlands system is one of these ways, due to its versatility and easy operation, in addition to its low cost. The creation of an artificial ecosystem will treat the effluents dumped there, leaving them safe for disposal in the environment. Considering the usual characteristics of effluents from public buildings that are weak concentrations of organic matter, without metals, originating from toilets and cleaning products, in addition to the fact that these places have large areas available in their surroundings, this research explored the procedures for the elaboration of a project to the implantation of wetlands, as well as their difficulties and possible solutions for better efficiency. Through the analysis of cases of wetlands in public buildings, it was found that the main difficulties for using this system are the large variations in temperature and high temperature, the high levels of phosphorus and nitrogen, a need for monitoring and constant operation team, wear and tear caused by the evolution of the ecosystem and the great variation in the flow supply of the system. In a final approach, the implementation of a wetlands system with focus on the university environment was simulated, for the university restaurant of the Centro Politécnico of the Universidade Federal do Paraná, with the project designed of in the following stages: number of people, choice and characterization of the area of implantation, analysis of the climate, analysis of the buoyancy of the flow, characterization of the effluent, choice of the previous/primary treatment and selection of the materials. All topics were addressed in an instructive and problem-solving manner, so that it is possible to carry out the planning stages, to recognize the obstacles and ways of adapting to them. As a final product, a guiding flowchart is presented for the application of a wetland system in small and large public buildings, serving as support for managers who are interested in implementing a nature-based solution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos sistemas de <i>wetlands</i> construídos	16
Figura 2 - Esquema de funcionamento de uma <i>wetland</i> construída com escoamento vertical	17
Figura 3 - Representação de uma WCFH	18
Figura 4 - Variações dos elementos escolhidos para WCFH no Brasil	19
Figura 5 - Valores de K20 obtidos em WCFH no Brasil	21
Figura 6 - Faixa de valores para dimensionamento de WCFH através do método da relação área per capita	22
Figura 7 - Esquema do sistema piloto usado nos estudos da UNISC compostos por caixa com microalgas e WCs	31
Figura 8 - Fluxograma de opções de tratamento descentralizado de efluentes	40
Figura 9 - Pré-fluxograma orientador de planejamento de <i>wetland</i> em prédios públicos de grande e pequeno porte	41
Figura 10 - Vista aérea do Centro Politécnico	42
Figura 11 – N° de pessoas que frequentaram o RU em fevereiro de 2023	43
Figura 12 – Mapa estrutural do Centro Politécnico	45
Figura 13 – Sistema de esgoto do Centro Politécnico	46
Figura 14 – Sistema de esgoto do Centro Politécnico e campus Jardim Botânico	47
Figura 15 – Identificação de áreas com potencial de instalação de SWC	48
Figura 16 – Área escolhida para implantação do SWC	48
Figura 17 – Mapa de climas do Brasil	50
Figura 18 – Macrófitas sugeridas para o plantio na <i>wetland</i>	58
Figura 19 – Fluxograma orientador para aplicação do sistema de <i>wetlands</i> construídos	60

LISTA DE SIGLAS

CCV – Custo de Ciclo de Vida

COT – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

OD – Oxigênio Dissolvido

RU – Restaurante Universitário

SBN – Soluções Baseadas na Natureza

SEPT - Setor de Educação Profissional e Tecnológica da UFPR

SS – Sólidos Suspensos

SWC – Sistema de *Wetlands* Construídos

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

UFPR – Universidade Federal do Paraná

VPL – Valor Presente Líquido

WC – *Wetlands* Construídos

WCFH – *Wetland* Construído de escoamento subsuperficial de Fluxo Horizontal

WCFV – *Wetland* Construído de Fluxo Vertical

WCFVSF – *Wetland* Construído de Fluxo Vertical no Sistema Francês

WCH – *Wetland* Construído Horizontal

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações sobre WCs em operação em prédios públicos	25
Tabela 2 – Dados referentes ao clima de Curitiba com médias de 1991 a 2021	52
Tabela 3 – Dados referentes aos valores máximos mensais de pluviosidade no período de 2000 a 2021	52

SUMÁRIO

1. A ATRATIVIDADE DAS WETLANDS	11
1.1 Objetivos	12
1.2 Exemplificações dos possíveis ganhos com a utilização dos sistemas em espaços públicos	12
2. CRITÉRIOS CONSTRUTIVOS E APLICABILIDADE DOS SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO	14
2.1 Esquema de funcionamento do sistema de wetlands construído	15
2.2 Esquema de implantação de um sistema de wetlands construídos	19
2.3 Estudos de caso: aplicabilidade do sistema de wetlands construídos em diferentes escalas .	24
2.4 Análise crítica operacional das WCs: avaliando prós e contras relatados nos sistemas	34
3. ABORDAGEM METODOLÓGICA NA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SWC – CRITÉRIOS DE CÁLCULO E PROCESSO DECISÓRIO	39
3.1 Características da área escolhida para simular a aplicação do fluxograma	41
3.2 Investigação sobre o número de pessoas que utilizarão o sistema.....	42
3.3 Escolhendo a área para instalação do sistema e analisando suas características	44
3.4 Impactos relevantes sobre o clima da região	49
3.5 Considerações sobre a vazão atendida	53
3.6 Critérios para a caracterização do efluente a ser tratado.....	54
3.7 Escolha do tratamento primário	55
3.8 Escolha dos materiais a serem utilizados	56
3.9 Fluxograma para avaliação da viabilidade da instalação do sistema de wetlands em prédios públicos de grande e pequeno porte.....	59
4. ANÁLISE DA VIABILIDADE DAS WETLANDS EM PRÉDIOS PÚBLICOS..	62
5. REFERÊNCIAS.....	63

1. INTRODUÇÃO: A ATRATIVIDADE DAS WETLANDS

Um dos meios para se atingir tanto a universalização do acesso aos sistemas de esgotamento sanitário quanto o desafogamento da rede já instalada é a descentralização do saneamento. Dentre as diferentes técnicas utilizadas para promover essa descentralização do tratamento de efluentes, encontra-se o emprego de *wetlands* construídos. Essa alternativa trata-se de uma solução baseada na natureza, visto que imita os ambientes de terras alagadas já existentes, que promovem a contenção de alagamentos, processos erosivos, melhoras na qualidade d'água e são um ambiente que promove a biodiversidade. As *wetlands* construídas proporcionam uma redução na utilização de água potável como meio de transporte dos efluentes, é flexível quanto aos processos, divididos em etapas que são adaptáveis ao investimento financeiro e possuem uma gama diversa de possibilidades e tecnologias para solucionar diferentes casos (Sezerino et al., 2015). É uma iniciativa muito interessante devido ao seu baixo custo de instalação e operacional, sendo exigido baixo gasto energético e pouca manutenção para seu funcionamento (Davis, 1995).

Sua construção é capaz de tratar os efluentes, diminuindo os níveis de contaminação para a saúde humana, meio ambiente e vetores, realizar a ciclagem de nutrientes e outros materiais, controlar e reduzir o escoamento superficial ocasionado por chuvas, além de contribuir com o aspecto do ambiente, deixando-o com melhor visual e viabilizando atividades de recreação passiva e ativa (Crispim et al., 2012; Davis, 1995).

Os sistemas de *wetlands* construídos podem ser empregados em diversas situações, como: tratamento de águas de chuva, esgoto doméstico, drenagem de minas de carvão, efluentes de refinarias de petróleo, chorume e lixiviados de aterro, cargas geradas em tanques de piscicultura, efluentes industriais pré-tratados, etc. sendo empregados como solução única ou uma etapa no processo de tratamento (Davis, 1995).

O tratamento a partir de *wetlands* construídos baseia-se na criação de um ecossistema artificial: é projetado um ambiente que permaneça constantemente alagado, com substrato que favoreça esse cenário e que possua boa condutividade hidráulica para que facilite o fluxo do efluente e também o crescimento das raízes. Além do substrato, há a inserção de plantas, que serão responsáveis por realizar parte do processo de tratamento desse efluente. No ambiente criado a partir das plantas e do substrato, se desenvolverá uma comunidade de micro-organismos que será responsável por etapas do tratamento, em conjunto com os outros elementos.

Para projetar um sistema artificial de *wetlands*, segundo Davis (1995) é necessário selecionar o local de implantação, o tipo e a configuração da *wetland* (pois existem vários, a serem explorados adiante) e as configurações de design – formatos, espécies, substratos – e especificar os objetivos que deverão ser alcançados com o tratamento. Para isso, devem ser feitos estudos de caracterização e quantificação do efluente a ser tratado e conhecidas as variações tanto em seu volume quanto composição ao longo do tempo. Além disso, é necessário fazer estudos referentes ao terreno onde se deseja implantar o sistema, buscando as condições adequadas à instalação.

Estas características e funcionalidades serão exploradas no presente trabalho, que pretende analisar a viabilidade da utilização do sistema de *wetlands* construídos para tratar efluentes em prédios públicos de grande e pequeno porte, em especial em ambientes universitários.

1.1 Objetivos

O presente trabalho objetiva analisar e reconhecer as demandas exigidas por um projeto que deseje instalar um sistema de WC (*wetlands* construídos) para tratar efluentes oriundos de prédios públicos.

Especificamente, objetiva-se:

- a. Identificar os critérios para saber se a área do estabelecimento suporta o sistema de *wetlands* construídos (SWC);
- b. Avaliar as características do efluente a ser tratado, através da literatura, e adaptar o sistema às necessidades verificadas;
- c. Estabelecer critérios para avaliação da viabilidade operacional e estrutural.

1.2 Exemplificações dos possíveis ganhos com a utilização dos sistemas em espaços públicos

O tema escolhido vem, primeiramente, de uma justificativa particular da autora: o interesse na utilização de *wetlands* para tratamento de efluentes, e a possibilidade de instalação das mesmas em prédios públicos, que podem apresentar grandes áreas verdes e disponíveis em seu entorno, e não tem grande geração de efluente de complexo tratamento como os industriais, consistindo muitas vezes em efluentes sanitários e de limpeza, apresentando como maior obstáculo ao tratamento a grande variabilidade sazonal. Esta é a

hipótese levantada por esse trabalho: os efluentes gerados em prédios públicos podem ser tratados por *wetlands*, promovendo um desafogamento das redes de coleta de esgoto.

O que nos leva a outra justificativa do tema escolhido: o sistema de saneamento urbano está sempre defasado. O crescimento populacional exige que tais sistemas sempre passem por expansões e reformas, sendo fato notório que por diversas vezes esse “não dá conta” de tratar todo efluente para destinado. Assim, aproveita-se uma área verde para construção de um WC que trate localmente os efluentes destes grandes usuários, promova o desafogamento da rede coletiva e coma a possibilidade de criação de uma área de lazer e educação para a população.

As *wetlands* construídas podem servir como área de lazer, em forma de bosques e parques, e também como área de educação ambiental, com placas informativas sobre o processo de tratamento que ali ocorre, inclusive como forma de incentivo ao tratamento de efluentes domésticos por parte da população, que pode instalar o sistema de *wetlands*, ou outros tipos de sistemas compactos de tratamento e pré-tratamento de efluente em suas residências.

Uma das justificativas que se dá no âmbito universitário, é a oportunidade de estudo do sistema. Diversos cursos podem beneficiar-se do sistema para elaboração de pesquisas e também para fins didáticos. Estudar um modelo real de tratamento de efluentes é de grande contribuição para a formação dos alunos de universidades e centros de treinamento, além de possibilitar análises laboratoriais que podem tanto produzir material de pesquisa a ser levado ao público externo, quanto analisar o funcionamento do sistema de tratamento, ficando incumbida aos alunos e professores, o monitoramento do sistema.

2. REVISÃO DE LITERATURA: CRITÉRIOS CONSTRUTIVOS E APLICABILIDADE DOS SISTEMAS DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO

Wetlands, em tradução livre, significa terras alagadas, e trata-se de elementos naturais, ou seja, existentes na natureza. São áreas de transição entre terra e água, não tendo seus limites claramente estabelecidos. Ajudam a conter inundações, protegem margens de ações erosivas, promovem um melhoramento da qualidade d'água e um habitat para a vida selvagem. A característica em comum das *wetlands* é a presença periódica de uma camada superficial (ou próximo a superfície) de água, criando um ambiente pobre em oxigênio para as raízes das plantas, que são adequadas à isso; esses ambientes também apresentam fluxos baixos e águas rasas ou substratos saturados, que permitem a decantação dos sedimentos e maior tempo de contato do efluente com o ecossistema da *wetland*, que será responsável por degradar, transformar ou absorver as substâncias que se deseja tratar (Davis, 1995).

O sistema de *wetlands* construídos (SWC) – que será o tipo abordado nesse trabalho a partir daqui – surgiu pela primeira vez na Alemanha em meados de 1950 (Sezerino et al., 2015). No Brasil as primeiras pesquisas começaram em 1980, porém foi nos anos 2000 que os sistemas ganharam maior relevância, sendo usados para tratar diversos tipos de águas residuárias e com diversas configurações – diferentes materiais filtrantes, macrófitas, arranjos e formas (Sezerino et al., 2015). Tal tipo de tratamento, é uma linha de pesquisa chamada de Soluções Baseadas na Natureza (SBN), que como o nome diz, busca na natureza – e em comunidades ancestrais cuja existência se dá em harmonia com o ambiente – formas de solucionar problemas da humanidade, como neste caso: o tratamento de efluentes.

Esses WC são capazes de tratar águas residuárias de forma simples e atrativa economicamente. O efluente será tratado por diversos processos, que podem ser adaptados na escolha dos materiais (substratos, espécies de organismos e plantas), para torná-los mais viáveis financeiramente e/ou esteticamente. Os processos envolvem sedimentação, precipitação, filtração e adsorção no material filtrante, transformações químicas, degradação e transformação dos poluentes e nutrientes pelos microrganismos e plantas, assimilação pelas macrófitas, predação e ciclagem natural de patógenos e transformações microbiológicas (Davis, 1995; Sezerino et al., 2015).

Algumas das limitações nesse tipo de tratamento são a grande área que exigem para funcionamento, as variações de performance a depender de condições ambientais e do ecossistema, a sensibilidade a contaminantes e necessidade de sempre estar com uma quantidade mínima de água presente (Davis, 1995)

Ao olharmos para vida útil de uma *wetland*, vemos que esse se mantém (ou é estendido) através do emprego de sistemas de tratamento primário, que retirem material grosseiro, gorduras e sólidos em suspensão do efluente (Sezerino; Santos; et al., 2015). Para o tratamento em residência familiar é recomendado por Crispim et al. (2012) a instalação de caixa de gordura para as águas cinzas provenientes de cozinha, e outra fossa séptica para as águas provenientes de lavanderia, com o emprego de carvão vegetal que absorve parte do potássio proveniente de sabão e detergente, que poderá afetar as macrófitas empregadas. O autor sugere o uso de bombonas plásticas de 60 litros para reduzir o custo.

Numa visão geral, as *wetlands* são compostas por 3 principais elementos: água, substrato e plantas. Tais elementos são colocados para viabilizar a existência de uma comunidade de microrganismos, que serão os principais responsáveis por regular o ambiente, degradar substâncias para suas formas inertes, promover a ciclagem de nutrientes e alterar o potencial redox. Além disso, as *wetlands* podem atrair animais. Insetos, minhocas, larvas, libélulas, etc. que contribuem também para o funcionamento do ambiente, consumindo nutrientes ou ajudando no controle de vetores; com o funcionamento equilibrado da *wetland*, podem surgir outros animais como anfíbios, tartarugas, aves, mamíferos, ou seja, proporcionando o surgimento e aumento de seres vivos de diferentes níveis tróficos (Davis, 1995).

2.1 Esquema de funcionamento do sistema de wetlands construído

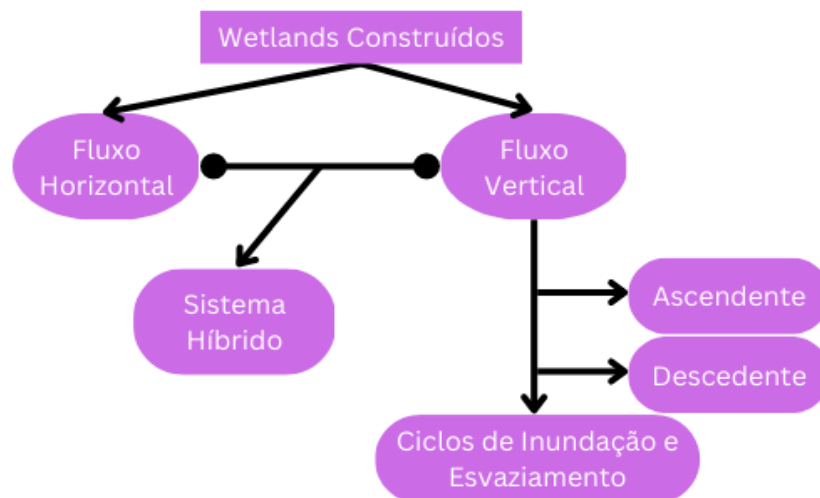
Com relação ao funcionamento de um sistema de *wetland* construído, é importante primeiramente diferenciar os dois grandes grupos de escoamento adotados:

- Escoamento superficial: consiste em uma camada de substrato, com uma rasa camada d'água sobre ela; as raízes das plantas ficam no substrato, com essas emergindo até a atmosfera; comumente utilizada para tratar efluentes provenientes de drenagem de minas e lixiviados de agricultura (Davis, 1995).

- Escoamento subsuperficial: substrato poroso e com nível d'água planejado para ficar abaixo da superfície desse; usados para tratar efluentes com baixas concentrações de sólidos e fluxos uniformes, reduzir a DBO (Davis, 1995).

Neste contexto, as *wetlands* de escoamento subsuperficial se dividem ainda em sistema horizontal, vertical e híbrido. O sistema vertical pode ainda ser: descendente, ascendente e com ciclos de inundação e esvaziamento. As de escoamento superficial podem ser divididas quanto ao tipo de plantas utilizadas: emergentes, submersas, flutuantes ou com folhas flutuantes. Na Figura 1 é apresentado quadro adaptado de Sezerino et al. (2015), que traz tal divisão.

Figura 1 - Classificação dos sistemas de wetlands construídos de fluxo subsuperficial



Fonte: Adaptado de Sezerino *et al.*, 2015.

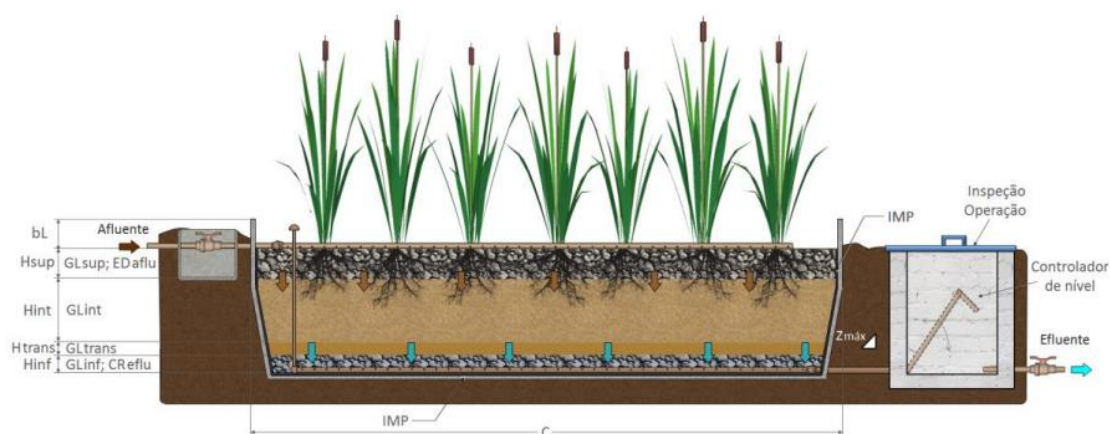
a) *Wetland* Construído de Fluxo Vertical (WCFV)

Nesta modalidade, o efluente é disposto uniformemente por toda superfície da WC, de forma intermitente. O fluxo é descendente, passando pelo substrato e as raízes das

plantas, e é coletado no fundo por um sistema de drenagem; o substrato não permanece saturado, deixando o ambiente com condições aeróbias (Von Sperling; Sezerino, 2018). O efluente recebido nesse sistema precisa receber tratamento primário, através de fossa séptica, filtros ou gradeamento. É eficiente para remoção da matéria orgânica e nitrificação.

É apresentado esquema de funcionamento de uma WCFV na Figura 2:

Figura 2 - Esquema de funcionamento de uma wetland construída com escoamento vertical



Legenda:

Hsup - altura da camada superior do meio suporte (camada opcional);	GLsup - granulometria do leito na camada superior do meio filtrante;
Hint - altura da camada intermediária, principal, de filtração;	GLint - granulometria do leito na camada intermediária, principal, de filtração;
Htrans - altura da camada de transição;	GLtrans - granulometria do leito na camada de transição
Hinf - altura da camada inferior, de drenagem;	GLinf - granulometria do leito na camada inferior, de drenagem;
bL - borda livre; distância vertical entre o nível superior do meio suporte e o topo do talude ou parede	ED aflu - zona de entrada e distribuição do afluente, na camada superior do meio filtrante;
C - comprimento;	CR eflu - zona de coleta e retirada do efluente na camada de drenagem, no fundo.
Zmáx - declividade máxima do talude (quando necessário);	
IMP - impermeabilização (fundo e laterais);	

Fonte: Von Sperling; Sezerino (2018)

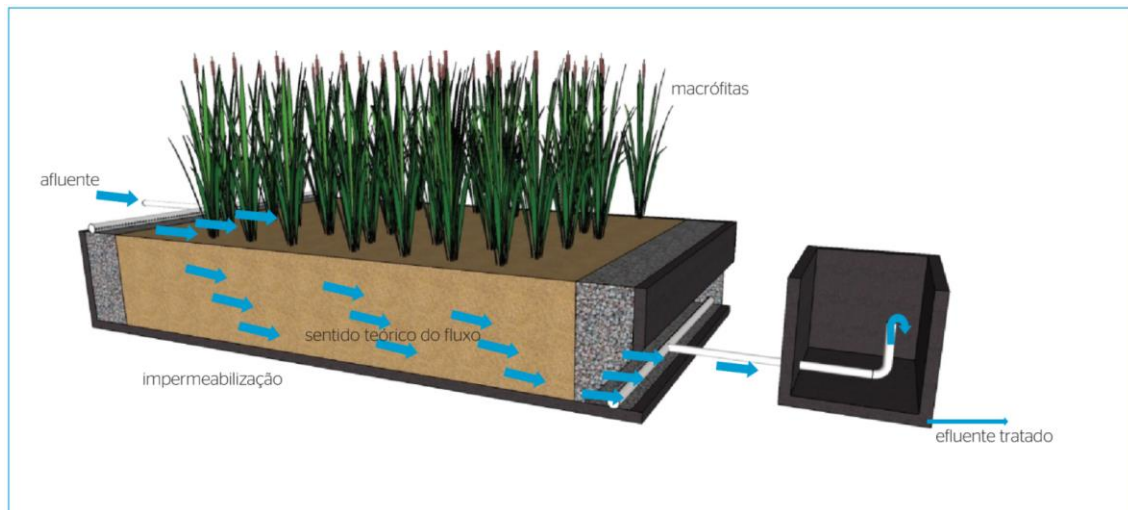
b) *Wetlands* de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal (WCFH)

O efluente é recebido na porção inicial do leito (zona de entrada), passa pelo material filtrante e chega à zona de saída, o fluxo ocorre lentamente e horizontalmente, gerado por uma declividade no fundo; o efluente irá passar por regiões aeróbias, anóxicas

e anaeróbias; as zonas de entrada e saída, são normalmente constituídas de brita (Sezerino *et al.*, 2015).

Na Figura 3 abaixo é apresentado esquema de funcionamento de uma WCFH

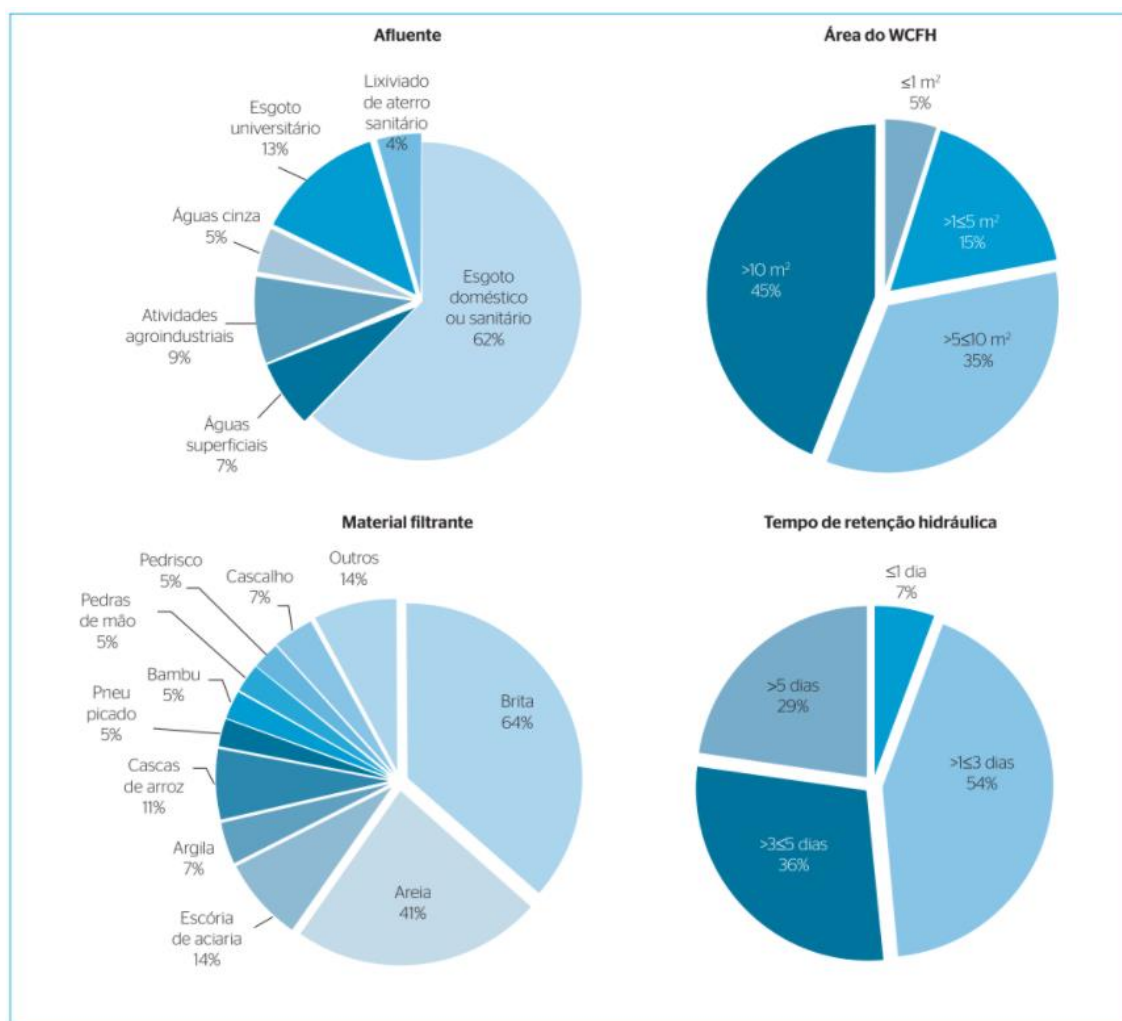
Figura 3 - Representação de uma WCFH



Fonte: Sezerino *et al.*, 2015

Os elementos que compõem as WCFH são: a área superficial, material filtrante, macrófitas utilizadas, tempo de retenção hidráulica e o período de avaliação do desempenho de tratamento; a profundidade e geometria desse tipo de *wetland* normalmente são de até 1,5 m e retangular (Sezerino *et al.*, 2015). As variações dessas estruturas foram estudadas no Brasil por Sezerino *et al.* (2015) e grupos de pesquisa correlatos e estão apresentadas na Figura 4, onde foram mostradas as variações percentuais do tipo de efluente tratado, da área do WCFH, do tipo de material filtrante utilizado e do tempo de detenção hidráulica (TDH) adotado.

Figura 4 - Variações dos elementos escolhidos para WCFH no Brasil



Fonte: Sezerino *et al.*, 2015.

Quanto ao tratamento oferecido, são projetadas pensando-se na remoção da matéria orgânica carbonácea, que é visualizada através dos valores de DBO, porém existe também remoção de nitrogênio e fósforo, embora desse último tenha sido relatada por Souza, Van Haandel e Lima (2004) uma queda na redução durante os anos de operação (Sezerino *et al.*, 2015).

2.2 Esquema de implantação de um sistema de wetlands construídos

Os dimensionamentos de *wetlands* são muito variáveis devido aos fatores individuais dos locais que serão estruturadas, sendo difícil apresentar um padrão de dimensionamento (Sezerino *et al.*, 2015). Por se tratar de um ambiente comumente de águas rasas e grande área superficial, é muito impactado pelo volume de chuvas e

evapotranspiração (perda de água por evaporação e pela respiração das plantas) (Davis, 1995).

Mitsch (1992) nos dá as seguintes orientações para o planejamento de *wetlands*:

- Design simples, que exija mínima manutenção, mínimo gasto energético – que aproveite a energia natural;
- Pensar nas condições extremas de clima e tempo;
- Design que se adapte ao ambiente, imitando as características do ecossistema, sem grandes estruturas;
- Deixar o sistema amadurecer com o tempo – *wetlands* não estão em pleno funcionamento desde sua instalação;
- Priorizar o atendimento das funções no design, e não as formas.

A seguir serão apresentadas equações e diretrizes de dimensionamento aceitas atualmente e encontradas na literatura.

a) Estrutura

- WCFH

Três principais formas de estruturação: (i). Modelo oriundo da cinética de primeira ordem aplicada a reatores pistão; (ii). Relação área *per capita*; (iii). Carregamento orgânico superficial e taxa hidráulica. Para este trabalho, são interessantes os tipos i e ii, que serão detalhados na sequência.

(i). Modelo oriundo da cinética de primeira ordem aplicada a reatores pistão, adaptados à *wetlands*

Utilizados usualmente para prever a área superficial necessária para tratamento secundário Sezerino et al. (2015) baseado em Conley; Dick; Liow (1991); Water Pollution Control Federation (1990) utiliza as seguintes equações:

$$\frac{C_e}{C_0} = e^{-K_T t} \quad (1)$$

Sendo C_e e C_0 a concentração de DBO_5 em mg/L do efluente e afluente, respectivamente; K_T a constante de reação da cinética de primeira ordem expressa em 1/dia e dependente da temperatura; t sendo o tempo de retenção em dias.

$$t = n \frac{V}{Q} \quad (2)$$

Sendo n a porosidade do material filtrante em $\text{m}^3\text{vazios}/\text{m}^3\text{material}$; V o volume do filtro em m^3 ; Q é a vazão a tratar em m^3/dia .

$$K_T = K_{20}(1,06)^{T-20} \quad (3)$$

Sendo K_{20} a constante de reação da cinética de primeira ordem à 20°C expressa em $1/\text{dia}$; T é a temperatura crítica em $^\circ\text{C}$.

$$A = \frac{Q \times (\ln \ln C_0 - \ln \ln C_e)}{K_T \times p \times n} \quad (4)$$

Sendo A a área superficial requerida em m^2 ; Q a vazão afluyente em m^3/dia ; p a profundidade média do filtro em m .

Ainda não há consenso para os valores de K_T sendo avaliados empiricamente os valores. Sezerino et al. (2015) relata estudos que apresentam K_{20} variando de 0,8 a 1,1 [1/dia] e de $0,70 \pm 0,23$ [1/dia], apresenta tabela com resultados obtidos em trabalhos brasileiros.

Figura 5 - Valores de K_{20} obtidos em WCFH no Brasil

Autor	Contribuição afluyente (L.d ⁻¹)	Dimensões (C x L x p)*	m ² .pessoa ^{1*}	Constantes de degradação	Eficiências
Sezerino (2006), dados referentes a 17 meses de monitoramento	830	5,0 x 2,0 x 0,60 m	2,00	K_{20} (d ⁻¹): 0,36 t (d): 3,9	DBO: 61% DQO: 69%
Olijnyk et al. (2007), dados referentes a 12 meses de monitoramento	8.500 (doméstico) + 600 (industrial)	26,0 x 13,0 x 0,70 m	5,57	K_{20} (d ⁻¹): 1,08 t (d): 10,4	DBO: 97% DQO: 98%
	8.500	10,0 x 5,0 x 0,70 m	0,88	K_{20} (d ⁻¹): 1,69 t (d): 1,6	DBO: 79% DQO: 78%
	3120	4,0 x 2,0 x 0,7 m (2 unidades avaliadas em paralelo)	0,77	K_{20} (d ⁻¹): 0,87 t (d): 1,4	DBO: 61% DQO: 57%
	6.600	12,0 x 6,0 x 0,70 m	1,64	K_{20} (d ⁻¹): 0,92 t (d): 3,1	DBO: 92% DQO: 89%
	7.000	9,5 x 4,5 x 0,7 m	0,92	K_{20} (d ⁻¹): 1,53 t (d): 1,7	DBO: 75% DQO: 85%
Dias et al. (2011), dados referentes a 19 meses de monitoramento	1.000 - 2.500	Foram avaliados 4 sistemas - 2 com 24 m ² e 2 com 14,6 m ² de área superficial	0,88 - 3,6	K_{20} (d ⁻¹): 0,45 t (d): 1,3 - 5,3	DBO: 73 - 89%

C: comprimento (m); L: largura (m); p: profundidade (m); *foi considerada a vazão *per capita* de 150 L.d⁻¹; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio.

Fonte: Sezerino et al., 2015.

(ii). Relação área *per capita*

Essa forma de dimensionamento baseia-se unicamente na relação m^2/pessoa , e é usada no dimensionamento expedito e para unidades residenciais familiares (Sezerino et

al., 2015). Apresenta grande diversidade de valores adotados, levando em conta o tipo de efluente tratado. Abaixo são apresentados alguns dos valores adotados:

Figura 6 - Faixa de valores para dimensionamento de WCFH através do método da relação área per capita

Afluente	Relação área per capita (m ² .pessoa ⁻¹)*	Vazão (L.d ⁻¹)	Área WCFH (m ²)	Autores
Esgoto doméstico ou sanitário	Mínimo: 0,14	6480,00	6,00	Avelar <i>et al.</i> (2009a,b)
	Máximo: 8,00	450,00	24,00	Borges <i>et al.</i> (2008)
Águas superficiais	Mínimo: 3,92	780	0,41	Meira <i>et al.</i> (2001)
	Máximo: 7,88	15,70	0,41	Meira <i>et al.</i> (2001)
Águas residuárias (laticínios)	Mínimo: 5,48	60,00	2,14	Matos <i>et al.</i> (2010a)
	Máximo: 5,62	60,00	2,25	Matos <i>et al.</i> (2010b)
Águas residuárias (suinocultura)	Mínimo: 1,10	576,00	4,24	Hussar (2001)
	Máximo: 4,95	800,00	26,4	Matos <i>et al.</i> (2010c,d)
Águas cinzas	Mínimo: 2,66	450,00	8,00	Magri <i>et al.</i> (2011)
	Máximo: 3,60	300,00	7,20	Monteiro <i>et al.</i> (2009)
Esgoto universitário**	Mínimo: 0,50	1200,00	4,00	Valentim (2003)
	Máximo: 3,00	200,00	4,00	Valentim (2003)
Lixiviado de aterro sanitário	Mínimo: 15,00	50000,00	5000,00	Bidone (2007)
	Máximo: 42,00	18000,00	5000,00	Bidone (2007)

*Os cálculos foram realizados tomando-se como base o valor de contribuição *per capita* de 150 L.d⁻¹; WCFH: *wetlands* construídos de fluxo horizontal; **corresponde ao efluente gerado em instituição de ensino.

Fonte: Sezerino *et al.*, 2015.

b) Impermeabilização

É necessário impermeabilizar o solo para evitar infiltração e possível contaminação do solo e lençol freático, bem como o contrário, evitar que a água do lençol freático chegue ao ambiente da *wetland* e modifique seu regime operacional. Para isso, deve-se saber qual o solo da área; argilas são facilmente compactáveis e servem como bom impermeabilizante, porém solos compostos por *karst*, rochas fraturadas, cascalho e areia demandam além de compactação implementação de outro método de impermeabilização (Davis, 1995). Como método auxiliar, pode ser implementado asfalto, borracha butílica sintética e membranas plásticas, devendo ser duráveis, finos e maleáveis, com uma camada de solo por cima, para prevenir perfurações por raízes (Davis, 1995).

c) Material Filtrante/Substrato

Os materiais mais empregados como substrato são: areia, britas, material orgânico, argila, cascalho (Davis, 1995). Esse material será responsável por suportar alguns dos organismos presentes na *wetland*, regular o fluxo de água no ambiente, ser o local de algumas reações químicas e biológicas além de reter/filtrar alguns dos contaminantes (Davis, 1995).

Davis (1995) no livro *A Handbook of Constructed Wetlands* apresenta os critérios que devem ser observados ao escolhermos o substrato, sendo esses:

- pH: afeta a retenção e a disponibilidade de nutrientes e metais pesados, e a capacidade das plantas e organismo de processá-los. Deve ser entre 6,5 e 8,5;
- capacidade de troca de cátions: influenciado pela área superficial das partículas do solo e sua carga elétrica. Será responsável por reter íons presentes no efluente, deve ser maior que 15 meq/100g de substrato;
- o potencial redox, que deve ser redutor, para promover a remoção de fósforo, nitrogênio, ferro e manganês;
- Porosidade e textura que irão influenciar no crescimento das raízes e velocidade de fluxo, sendo solos com textura média boas escolhas, visto que apresentam retenção alta de poluentes e pouca restrição ao crescimento das raízes;
- Presença de matéria orgânica, que seja suficiente para atender a demanda de nutrientes necessários ao crescimento das plantas e organismos na fase inicial de implantação do sistema.

d) Tubulações

Primeiramente deve-se ajustar os fluxos de entrada e saída. Na entrada do sistema, deve-se ter tubulação que seja protegida contra vandalismo, animais e algas, podendo ser empregados simples canos de deságue, sendo interessante que haja mecanismo que permita controlar o fluxo. A configuração pode ser acima da lâmina d'água, ou subsuperficial, sendo que a primeira de mais fácil manutenção e possíveis adequações futuras, sendo recomendado seu uso (Davis, 1995).

As configurações usuais adotadas são entre 30 – 60 cm acima da superfície da lâmina d'água, com emprego de brita ao redor da área de deságue (8 – 16 cm) para prevenir crescimento de algas e garantir uma rápida infiltração na *wetland*, evitando o empoçamento (Davis, 1995).

e) Plantas

O ambiente se compõe principalmente de plantas vasculares, as maiores e mais notáveis, e também as algas; além de diminuir a velocidade do fluxo limitando o escoamento canalizado, as plantas presentes são responsáveis por incorporar nutrientes, carbono e demais elementos em seus tecidos, promover trocas gasosas na interface atmosfera-substrato, criar ambientes de oxigenação próximos às suas raízes favorecendo as comunidades de microrganismos e viabilizando seu estabelecimento, além de produzir matéria orgânica ao morrer no fim de seu ciclo de vida (Davis, 1995).

2.3 Estudos de caso: aplicabilidade do sistema de wetlands construídos em diferentes escalas

Aqui serão mostrados alguns estudos realizados com *wetlands* em operação. Foram pesquisados casos em que houve a utilização de WC para tratamento de efluentes oriundos de prédios públicos, especificamente universidades e centros de treinamento, e debatiu sobre seus resultados, vantagens e dificuldades.

Primeiramente será detalhado na Tabela 1 o compilado de informações sobre esses estudos. São identificadas a cidade de realização, o local de operação da *wetland*, o clima da área, o tipo de efluente, os tratamentos prévios a que o efluente foi submetido, a configuração do sistema de *wetlands*, o nº de pessoas que o sistema ou ETE atende, as espécies de macrófitas utilizadas, as vantagens e desvantagens averiguadas na pesquisa e por fim, a autoria dos projetos.

Tabela 1 - Informações sobre WCs em operação em prédios públicos

Cidade	Local	Clima Zonal*	Efluente	Tratamentos prévios	Configuração do sistema	Nº de pessoas	Macrófitas	Vantagens	Desvantagens	Autor
Agrônômica/SC	CETRAG (Centro de Treinamento de Agrônômica)	Temperado	Sanitários e cozinhas	Caixa de gordura, tanque séptico	WCFH	200	<i>Poaceae</i> (<i>Gramineae</i>) <i>Zizaniopsis</i>	Superdimensionamento, resiliência a eventos contrários à sua operação.	Grande intermitência de vazões, falta de dados antigos	Rouso (2014)
Videira/SC	CETREVI (Centro de Treinamento de Videira)	Temperado	Sanitários, cozinhas, refeitórios, lavanderias, lavatórios e chuveiros	Tanque séptico e reservatório de equalização	WCFV seguido de WCFH	-	<i>Typha</i> spp. e <i>Juncos</i> spp.	Mesmo com atuação do processo de colmatção, as porcentagens de eficiência continuaram elevadas, com apenas os parâmetros nitrato e nitrito ficando abaixo do exigido legalmente	Grande oscilação no número de pessoas que frequenta o centro, impactando na variação da vazão; colmatção devido ao acúmulo de matéria orgânica, obstruindo o material filtrante.	Favretto et al. (2017)
Belo Horizonte/MG	ETE Arrudas	Tropical Brasil Central	Esgoto bruto	Peneira 6mm	WCFVSF	100	<i>Tifton 85</i> (<i>Cynodon dactylon Pers.</i>)	Capacidade de aguentar sobrecargas pontuais.	Diminuição nas concentrações de oxigênio dissolvido para grandes períodos de funcionamento, sem pausas e quando há formação de lodo superficial.	Trein et al. (2018)

Santa Cruz do Sul/RS	ETE da UNISC	Temperado	Efluentes sanitários do campus	Tanque de sedimentação e reatores anaeróbios	WCFH seguido de WCFHA seguido de WCFV	-	<i>H. grumosa</i> e, nos espaços vazios, <i>Lemna sp.</i> e <i>Pistia stratiotes</i>	Utilização de macrófitas flutuantes para remediar a proliferação de pernilongos e algas; concentrações de N amoniacal iguais a 0 mg/L na 3ª etapa do sistema, já as de fósforo ficaram sempre abaixo de 0,5 mg/L; a remoção da turbidez foi eficiente.	Não houve adaptação da <i>Lemna sp.</i> ; a remoção de COT foi insatisfatória.	Colares et al. (2018)
Santa Cruz do Sul/RS	ETE da UNISC	Temperado	Efluentes sanitários do campus	Gradeamento, desarenador e tanque equalizador	Sistema integrado de microalgas seguido de WCFV	Até 18 mil, em média 12 mil (ETE)	<i>H. grumosa</i>	Elevada eficiência na retirada de nitrogênio; bons resultados para retirada de fósforo; tempo de detenção hidráulica reduzido em comparação com sistemas de WCs em série.	Efluente produzido apresenta grandes teores de P e N, devido as características de origem; altas variações na temperatura e na pluviosidade, influenciando positiva e negativamente na eficiência do sistema.	Silveira et al. (2019)
Santa Cruz do Sul/RS	ETE da UNISC	Temperado	Efluentes sanitários do campus	Gradeamento, desarenador, tanque equalizador e reator anaeróbio	Sistema integrado de microalgas seguido de tanque de areia de biofilme seguido de WC	-	<i>Chrysopogon zizanioides</i> .	Ótima remoção de nutrientes; uma opção para países em desenvolvimento devido ao baixo custo em comparação às ETEs.	Baixa eficiência quanto a remoção da DBO e DQO em comparação aos sistemas tradicionais de WCs.	Ferreira et al. (2021)

Santa Cruz do Sul/RS	ETE da UNISC	Temperado	Efluentes sanitários do campus	Gradeamento, desarenador e tanque equalizador	Sistema de microalgas seguido de WCFV	-	<i>H. grumosa</i>	Ótima remoção de N.	Grande variação de enchimento do tanque de equalização da ETE, culminando na dificuldade em manter uniforme a alimentação.	Wink et al. (2016)
----------------------	--------------	-----------	--------------------------------	---	---------------------------------------	---	-------------------	---------------------	--	--------------------

*Segundo IBGE

Fonte: a autora.

Rouso (2014) trata do caso da WCFH da CETRAG, em Santa Catarina. O estudo é realizado a fim de analisar resultados de 20 anos de operação da *wetland*, de 1994 a 2014. A temperatura média anual na região é de 25 °C e o centro serve para eventos de capacitação, reuniões e visitas para demonstração de tecnologias. Os parâmetros de construção do WCFH, além dos descritos na Tabela 1, são os listados abaixo:

- Velocidade de infiltração de água no solo: $k_f = 1,7 \times 10^{-5}$ m/s;
- Largura: 13 m;
- Altura média: 0,6 m;
- Seção transversal: 7,8m² ;
- Comprimento: 26m;
- Gradiente hidráulico: $J = 0,01$ m/m;
- Área superficial: 340m² (1,7m²/pessoa);
- Meio filtrante: saibro, areia e casca de arroz.

O estudo conta com dados de 3 campanhas: Julho/94 a Julho/95, Outubro/2005 a Outubro/2006 e Setembro à Novembro/2014. A estimativa da vazão afluente foi feita utilizando parâmetros de MetCalf e Eddy (1991), para hotéis, diária e pernoite, sendo feita essa distinção entre os visitantes e funcionários. A vazão do centro apresenta alta intermitência, pois a ocorrência de eventos é intercalada de períodos sem visitantes; para o ano de 2014 a vazão máxima foi de 14,55 m³/d, com média mensal de 7,45 m³/d.

Os estudos comparativos demonstraram que o WCFH do centro está superdimensionado e com taxas de remoção superiores aos trabalhos análogos. Porém esse superdimensionamento foi positivo na questão que ocorreu em 2014, onde houve deslocamento de grande quantidade de argila para o sistema, que fez com que houvesse fluxo superficial e alagamentos no sistema, porém todos os parâmetros mantiveram-se com alta taxa de remoção, com exceção aos sólidos totais. A topografia do local em que o sistema está instalado é favorável, sendo plana e não empregando bombas para a alimentação da *wetland*. Ainda, é interessante destacar o uso da casca de arroz como substrato, material largamente produzido na região por ser produtora desse grão.

Ainda considerando a aplicação em espaços de órgão públicos com vazão intermitente, pode-se citar o estudo de Favretto et al. (2017), que aborda o conjunto de WCFV seguido por WCFH construído no CETREVI de Videira, Santa Catarina. Este estudo objetivou analisar a colmatação na WCFH e propor medidas de aumento da sua

eficiência, através da comparação com dados de 2013. Os parâmetros de construção citados pelo autor empregados nas *wetlands* de fluxo vertical e horizontal, são, respectivamente:

- Comprimento: 9,6 e 10 m;
- Largura: 6,6 e 5 m;
- Altura: 1,05 e 0,7 m;
- Altura do leito: 0,6 e 0,7 m;
- Área superficial: 63 e 50 m².

Para calcular a estimativa da vazão foram usados dados da literatura para um hotel com pernoite e sem pernoite, resultando em 264,5 e 54,5 L/dia hóspede, respectivamente, e adotou-se coeficiente de retorno de 0,8 (Favretto et al., 2017).

Algumas das dificuldades relatadas pelos autores são devido à grande oscilação no número de visitantes que faz com que a vazão também sofra grandes variações. E claro, o processo de colmatção, que resulta no entupimento dos poros do substrato por meio dos sólidos principalmente derivados da matéria orgânica. Embora as comparações do estudo mostrem que a eficiência do sistema se manteve boa mesmo com o desenvolvimento de tal processo, os parâmetros nitrito e nitrato ficaram um pouco acima do permitido legalmente. Ao fim do estudo, os pesquisadores sugerem o replantio das espécies para melhorar a eficiência do processo de nitrificação.

Nesse sentido, outros estudos também relataram dificuldades quanto à eficiência na nitrificação nas *wetlands*, seja por plantas com avançado tempo de plantio, como Favretto et al. (2017), e também na fase inicial do cultivo, ou seja, nos meses iniciais, quando as raízes ainda não estão completamente desenvolvidas nem as bactérias que atuam no processo encontram-se totalmente fixadas, assim as taxas de remoção são abaixo do esperado. Outra taxa de remoção que aumenta com o desenvolvimento das raízes é a de COT (carbono orgânico total) (Colares et al., 2017).

Outra aplicação que foi apurada para o sistema de *wetlands* construídos são como estruturas complementares a estações de tratamento de efluentes, de modo a melhorar a eficiência da remoção da carga orgânica e de nutrientes. Trein et al. (2017) aborda o sistema de WCFV no modelo francês (WCFVSF) construído anexo à ETE Arrudas, e objetiva analisar um período maior de tempo de operação comparado ao recomendado para o clima na França. Os parâmetros do sistema são:

- Comprimento: 9,4 m;

- Largura: 3,1 m;
- Meio filtrante: brita 0, 1 e 3;
- Área superficial: 29,4 m² (0,9 m²/pessoa).

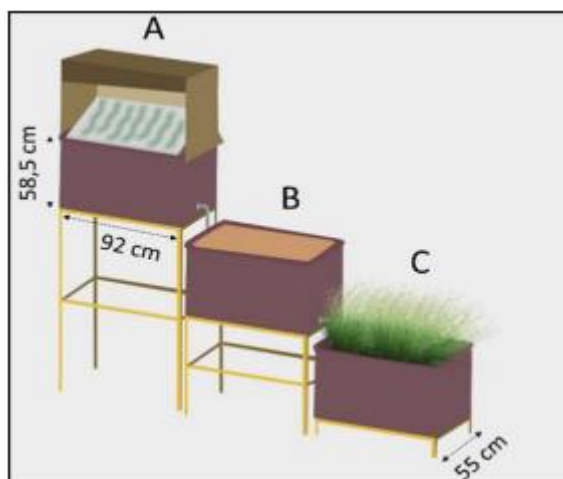
Os estudos observaram a capacidade do sistema de receber cargas maiores do que o recomendado pontualmente, e por um maior período de tempo não afetaram a eficiência do sistema em atender os requisitos legais. Porém, as taxas de eficiência foram menores que as registradas nos estudos franceses. Além disso, houve acúmulo de líquido nos dias finais em que houve despejo de efluente.

Por fim, serão apresentados 4 estudos realizados na UNISC, em Santa Cruz do Sul/RS, que tiveram a mesma área de estudo, porém objetivos de pesquisa diferentes. Assim como o de Trein et al. (2017), os sistemas da UNISC são complementares à ETE, e focaram principalmente em uma solução para redução dos nutrientes eutrofizantes. Dentro disso, 3 pesquisas empregaram um sistema integrado de microalgas seguidos de *wetlands*, e o outro apenas o sistema de *wetlands*, conforme Tabela 1. Nos 4 estudos, foi investigada a possibilidade de redução no número de células de tratamento por WC e também do tempo de detenção em cada etapa.

Primeiramente o estudo realizado por Colares et al., (2017) que objetivou analisar a remoção de nitrogênio total e fósforo solúvel dos efluentes universitários. As *wetlands* construídas para o estudo eram constituídas de flutuadores de polietileno expandido, cano PVC, tubetes cônicos de plástico e material filtrante de brita 1 e 2. Quanto aos resultados, apresentou ótimos valores para a remoção de N-NH₃, fósforo solúvel e turbidez, porém o COT foi insatisfatório. Os autores ressaltaram o aumento na carga de nutrientes e matéria orgânica presente no efluente bruto devido ao início do semestre letivo no ambiente universitário.

Já nos demais estudos foram avaliados sistemas integrados de microalgas seguidos de *wetlands*. Ferreira *et al.*, (2021) dá ênfase nas microalgas, objetivando analisar as diferentes taxas de remoção de nutrientes para diferentes fotoperíodos de exposição. O sistema projetado para o estudo foi em escala piloto e está representado na Figura 7. Sua configuração é conforme descrito na Tabela 1.

Figura 7 – Esquema do sistema piloto usados nos estudos da UNISC compostos por caixa com microalgas e WCs.



Fonte: Ferreira *et al.* (2021)

No trabalho de Silveira *et al.* (2019) o esquema das *wetlands* é o mesmo da Figura 7, porém o meio filtrante é composto por brita 4 e 1, de origem basáltica, e areia média e grossa. Cabe destacar, que nesse estudo foram adotadas configurações diferentes da pesquisa de Ferreira *et al.* (2021), no sentido de que não há filtro de areia, conforme descrito na Tabela 1. Nesse trabalho é apresentado que a disposição dos sistemas de tratamento é feita de maneira que o escoamento por eles não necessite de energia para que aconteça, ou melhor, utiliza-se da força gravitacional, sendo assim uma alternativa mais barata e menos poluente.

Os autores relatam que a ETE opera com a vazão variando de 57,6 a 129,6 m³/d, tendo o pico de vazão entre 12 e 17h. Além disso, as análises feitas para o efluente bruto caracterizam-no como altamente eutrofizante, o que os pesquisadores atribuíram ao tipo do estabelecimento, que é o universitário, onde há geração de efluentes compostos quase que exclusivamente por urina e resíduos de limpeza, que têm alto teor de fósforo e nitrogênio amoniacal. Outro fator que pode influenciar no funcionamento das *wetlands* e dos sistemas de microalgas é a grande variação de temperatura do ambiente, 37,2 a 2,8 °C, e da precipitação local que, segundo os autores, influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas e das algas, bem como nas taxas de evaporação e evapotranspiração.

Silveira *et al.* (2019) relatam que o sistema foi muito eficaz na remoção de nitrogênio amoniacal, coisa que alegam não acontecer nos sistemas de *wetlands* tradicionais com TDH tão baixo quanto o utilizado, que foi de 6 dias, e apenas com as configurações descritas na Tabela 1. Já para melhorar a remoção de fósforo, os autores sugerem que seja instalada mais uma unidade de *wetland* em série, com TDH de 2 dias, voltada especificamente para a degradação desse nutriente.

Finalmente, tem-se o estudo realizado por Wink *et al.*, (2016) que possui a mesma estrutura de WC apresentada na Figura 1, com as dimensões piloto e o fluxo impulsionado pela força gravitacional. As configurações de operação do sistema são apresentadas na Tabela 1. Uma das dificuldades operacionais do sistema, que foi relatada pelos autores, é manter a continuidade e uniformidade da alimentação devido às variações no preenchimento do tanque de equalização, que é de onde vêm o efluente segundo a Tabela 1. A avaliação final do sistema, apresentada pelos pesquisadores, foi positiva para sua alta capacidade de aplicação no tratamento do controle da eutrofização, quanto à redução do nitrogênio. Já para o fósforo, que é o agente limitante mais crítico, alegam que devem ser feitas melhorias de controle operacional e analítico.

Outro fator importante, que é apresentado nos trabalhos que tem como área de estudo a ETE da UNISC, é quanto à localização da *wetland* em relação à topografia do local, que deve ser favorável, ou seja, dispor de área plana suficiente e que seja capaz de desaguar os efluentes na *wetland* por meio da ação gravitacional, ou que seja possível seu deslocamento através de bombeamento, sendo necessária ser feita a análise da viabilidade econômica. Tal informação raramente é colocada nos artigos que relatam casos de *wetlands*, sendo necessárias serem feitas observações *in loco*. Nos estudos aqui apresentados, apenas o de Rouso (2014) e os casos da UNISC, elaborados por Colares *et al.* (2018), Silveira *et al.* (2019), Ferreira *et al.* (2021) e Wink *et al.* (2016), apresentaram informações sobre a área. Em ambos os casos os SWC não utilizaram bombeamento, sendo utilizada apenas a força gravitacional para que o escoamento ocorra de uma etapa à outra. E foram instaladas em áreas com topografia favorável, ou seja, plana.

A disposição de espaço também é fundamental para a instalação dos SWC, nos estudos realizados na UNISC tal fator não foi de grande relevância devido à escala piloto do sistema. Já nos estudos de Rouso (2014) temos o dado de que a área superficial da WC é de 340 m²; no de Favretto *et al.* (2017) temos áreas superficiais de 63 e 50 m²; Trein *et al.* (2017) relata 29,4 m². Podemos relacionar esse dado com o número de pessoas que frequentam o prédio, e então conseguir a relação da área/pessoa, fazendo uma comparação com os dados obtidos por Sezerino *et al.* (2015) apresentados na Figura 6. Sendo assim a área/pessoa de cada estudo fica:

- Rouso (2014): 1,7 m²/pessoa
- Trein *et al.* (2018): 0,9 m²/pessoa
- Sezerino *et al.* (2015):
 - Esgoto doméstico: 0,14 a 8 m²/pessoa

- Efluente universitário: 0,5 a 3 m²/pessoa

Vê-se que os números encontrados nos casos reais se enquadram dentro dos que foram encontrados por Sezerino et al. (2015) para esgoto doméstico, e mais ainda, para efluente universitário. Outra fonte utilizada para calcular a área dos SWC que são relatados nos casos, é a através da vazão diária estimada pelo número de frequentadores. Tanto Favretto et al. (2017) quanto Rouso (2014) citam o método, e utilizam valores de vazão apontados na literatura para hotéis, separados por diária ou pernoite. Sabendo a vazão a ser tratada pode calcular através do método apresentado no item 2.2.

Sezerino et al (2015) mostrou resultados referentes às taxas de remoção para 4 *wetlands* construídos horizontais (WCH), construídas no estado de Santa Catarina, com dimensionamento de 4 a 150 pessoas, utilizando como material filtrante brita, areia, areia grossa, saibro, argila e cascas de arroz e utilizando as macrófitas *Cyperus papyrus* e *Zizaniopsis bonariensis*.

Foram analisados segundo os métodos de APHA (1998) os seguintes parâmetros: pH, DQO, sólidos suspensos (SS), amônia (N-NH₄⁺), ortofosfato reativo e coliformes termotolerantes. Cada sistema teve diferentes períodos de operação, desde 1 a 8 anos. Foram registradas ótimas taxas de remoção para DQO e SS, 73-89% e 80-90% respectivamente; porém para os parâmetros N-NH₄ e P-PO₄ as taxas foram menores, 17-55% e 53-63% respectivamente.

Os resultados para DQO e SS indicaram níveis altos de remoção de material carbonáceo e sólidos em suspensão. Para nitrogênio e fósforo, o autor afirma que tal “modalidade de *wetland* não é aplicada para a nitrificação, é provável que a remoção de N-NH₄⁺ possa estar associada à adsorção ao material filtrante, assimilação pelas macrófitas, bem como, assimilação microbiana” (Sezerino et al., 2015). O mesmo seria válido para o fósforo, tendo sido relatada inclusive necessidade de troca do material filtrante, que com o passar do tempo de operação apresentou redução da condutividade hidráulica e empocamento.

Alvarez et al. (2017) listou os custos gerados na implantação do sistema de WC para condomínios residenciais, que são apresentados abaixo.

- Levantamento topográfico, planialtimétrico e sondagem do solo
- Projetos hidrossanitário, de terraplanagem e paisagístico

- Construção da rede de esgoto e encaminhamento do efluente ao WC, tanque de aeração, terraplanagem, impermeabilização, tubulações do sistema, substrato, vegetação, reservatório final e sistema de bombeamento, rede de abastecimento de água de reuso
- Consumo de energia elétrica
- Podas, renovação do substrato e replantio de vegetação

O autor classifica esses investimentos como substituídos/revertidos – investimentos que já seriam aplicados com a implantação de um modelo convencional de tratamento; extras – não considerados convencionalmente, necessários apenas para o sistema de WC; e eliminados/reduzidos – anulação ou diminuição e custos característicos de sistemas convencionais. Tais critérios irão depender das características de projeto de cada empreendimento.

2.4 Análise crítica operacional das WCs: avaliando prós e contras relatados nos sistemas

Como apresentado na Tabela 1 e discutido no item 2.3, o tratamento de efluentes com sistema de esgotos tem diversos pormenores que devem ser analisados tanto para implantação quanto durante a operação do SWC.

Um dos cuidados a serem observados é quanto às variações sazonais na temperatura; no inverno precauções devem ser tomadas quanto ao congelamento, e embora o clima no estado do Paraná seja o Temperado e o Tropical Brasil Central, capaz de atingir temperaturas negativas em certas condições e regiões, o congelamento não é algo que aconteça com relevância. A grande variação de temperatura foi um fator que influenciou negativamente no trabalho de Silveira et al. (2019), conforme relatado pelos autores, a variação de 37,2 a 2,8 °C interferiu no crescimento e no desenvolvimento das plantas e algas, colaborando para reduzir as taxas de remoção de nutrientes e material orgânico.

Os mesmos autores relatam que o aumento na temperatura também influenciou nos tanques fazendo-os secarem devido à alta evaporação e transpiração, e conseqüentemente afetando taxas de remoção principalmente de sólidos. Davis (1995) adverte sobre isso, indicando que no período do verão, o volume de água perdido por evaporação é muito mais significativo, exigindo alterações e adequações no fluxo do sistema para manter o nível d'água, para evitar o secamento e endurecimento dos leitos, seja completo ou parcial, como também descrito por Silveira et al. (2019).

Outro cuidado é com a concentração de nutrientes e de metais persistentes, que podem transformar a *wetland* numa fonte desse material se sua construção e manejo não forem adequados (Davis, 1995). Para evitar tal situação, deve ser dada atenção aos processos de dimensionamento, operação e monitoramento periódico. Foi relatado por Favretto et al. (2017) que em certos momentos as taxas de nitrito e nitrato estavam acima do permitido legalmente; já Colares et al. (2018) relata a remoção insatisfatória de carbono orgânico total (COT) enquanto Ferreira et al. (2021) registraram em seus estudos a baixa eficiência quanto a redução da DBO e DQO. Deve-se atentar-se também ao tipo de efluente tratado e qual sua composição, como por exemplo os efluentes universitários que segundo Silveira *et al.* (2019) são compostos quase que exclusivamente por urina e resíduos de limpeza, quimicamente correspondente a altos níveis de fósforo e amônia. Tais fatores, se não forem corretamente administrados, viram uma fonte de contaminantes ao invés de serem removidos no sistema de tratamento. O monitoramento serve também para observar variações no ecossistema do ambiente.

Exemplos dessas variações são relatadas por Rousso (2014) que observou o transporte de acidental de argila para o meio, resultando em alterações no sistema e por Favretto et al. (2017) que observaram o processo de colmatção, que entope os poros do substrato e requer que seja feito o replantio das macrófitas e revolvimento do substrato, sendo esse um exemplos de fase final de uso da *wetland* e já Colares et al. (2017) que enfrenta a fase inicial de operação, que apresenta eficiências menores devido ao período de crescimento das plantas, que irão atingir as maiores taxas quando ficarem adultas. Naturalmente, o SWC irá passar por mudanças e processos de sucessão, sendo esperado o aumento da diversidade e alterações na composição do ecossistema – o que ocorre mais rapidamente nas *wetlands* construídas e é natural, porém deve-se monitorar se tais alterações fazem parte do processo de evolução do sistema, ou serão prejudiciais ao tratamento e resultados esperados (Davis, 1995). A manutenção do sistema já é algo esperado como gasto futuro, abrangendo atividades como podas e replantio de macrófitas, substituições de substrato, etc. conforme já demonstrado por Alvarez et al. (2017).

Voltando-se para ambientes públicos e universitários, temos alguns outros obstáculos à operação, que apareceram em diversos dos casos apreciados na Tabela 1. O de maior relevância foi a grande variação da vazão de abastecimento dos sistemas. As principais razões para a variação foram:

- Períodos de ocorrência de eventos com alta circulação de pessoas, intercalando com períodos sem visitantes (Rousso, 2014);

- Grande oscilação no número de visitantes (Favretto et al., 2017)
- Início do semestre letivo universitário (Colares et al., 2017)
- Dificuldade em manter a continuidade e uniformidade no preenchimento do tanque equalizador (Wink et al., 2016).

Para controlar tais dificuldades é necessário estabelecer um planejamento de operação, manutenção e monitoramento, ou seja, um plano de gerenciamento da WC. Davis (1995) nos apresenta critérios para um gerenciamento eficiente:

- Cuidar para que o ambiente: tenha grande contato entre o efluente e a comunidade de micro-organismos; que o fluxo percorra toda a WC; ambiente favorável para manutenção da comunidade de microrganismos e plantas
- Controlar o nível d'água, com cronograma de limpeza e manutenção para os sistemas de abastecimento/saída de água, monitoramento de empoçamentos e condições da tubulação e equipamentos utilizados, bem como das plantas
- Cronograma de reabastecimento pelo efluente, priorizando fluxos com velocidade baixa e contínuo despejo
- Monitorar parâmetros de qualidade d'água na entrada e saída do sistema, para averiguar a eficiência do tratamento. Para tratar efluente doméstico recomenda-se análise dos parâmetros: DBO, nitrogênio, fósforo, sólidos suspensos totais, metais pesados e coliformes totais e termotolerantes

A frequência dos monitoramentos varia de acordo com o tamanho e complexidade do processo, sendo indicado minimamente análises mensais e após eventos de intensa precipitação (Davis, 1995).

Como já discutido no item 2.3, a escolha do terreno também é de grande importância. São 3 as principais preocupações acerca do assunto: primeiramente se há área disponível para o tamanho da *wetland* demandada, tema que muito se relaciona com o número de pessoas que frequentam o espaço, ou ainda a vazão que será destinada para tratamento; segundo, se a área escolhida é de maior altitude ou se será possível destinar o efluente apenas por ação da gravidade, pois se exigir a operação por bombeamento tal custo e projeto devem ser considerados; e por fim, o uso da área. Afinal, se for uma área isolada, não existirão grandes preocupações com a estética do sistema, bem como a existência de

insetos ou encanações aparentes. Já se for área de circulação de pessoas, como parques, é interessante que sejam escolhidas plantas ornamentais e já com capacidade de controle de insetos, materiais de acabamento de maior qualidade e uma rotina de manutenção maior para manter harmonia paisagística do sistema.

Por outro lado, os autores averiguaram no uso de SWC as vantagens e facilidades do processo, como a ótima resiliência a eventos que são desfavoráveis ao seu bom funcionamento, como alagamentos e inundações, sendo resistente a própria colmatção averiguada por Favretto et al. (2017) onde o SWC manteve os níveis de remoção ótimos; e a resistência a sobrecargas pontuais, quando o sistema pôde lidar e responder bem com isso. O superdimensionamento relatado por Rouso (2014) embora tenha produzido taxas de eficiência um pouco menores que as registradas na literatura, trouxe em troca grande resiliência ao SWC.

Outro fator atrativo no sistema, que já diz sobre seu design e integração com o ambiente, e a possibilidade levantada por Colares et al. (2018) de utilizar as próprias macrófitas como opção de controle de vetores, pernilongos e algas no ecossistema, o que é muito atrativo quando falamos de espaços que serão frequentados por pessoas, como é o caso dos espaços públicos.

E quanto aos resultados referentes ao monitoramento de qualidade d'água, a grande maioria dos sistemas revelou grande capacidade de remoção dos nutrientes eutrofizantes, com destaque para as altas taxas de remoção de nitrogênio, sendo até levadas a zero como experimentado por Colares et al. (2018). Embora os níveis de remoção de fósforo também sejam bons, é sugerido por Silveira et al. (2019) a adição de mais um módulo de WC ao tratamento, com tempo de detenção reduzido para que sejam elevadas ainda mais essas taxas. Como o efluente universitário e de órgãos públicos é caracterizado pela presença quase que exclusivamente de efluentes sanitários e produtos de limpeza, um sistema que priorize a remoção deles é muito interessante. Eventualmente, elevadas cargas de gordura e materiais orgânicos poderão ser observados em efluentes de restaurantes e refeitórios destas edificações.

Apresentados os principais pontos positivos e negativos, a seguir será apresentada uma listagem capaz de sintetizar os principais temas que foram observados nos trabalhos avaliados, capazes de definir os prós e contras dos SWC. É importante frisar que aqui estamos fazendo um recorte adequado ao presente trabalho, ou seja, definindo que os SWC

serão aplicados aos prédios públicos do estado do Paraná, em especial ambientes de caráter universitário:

Pró:

- Resiliência a eventos desfavoráveis;
- Resistência a sobrecargas pontuais;
- Atuação do superdimensionamento como reforço a resiliência;
- Utilização das macrófitas como controle de vetores, pragas e algas;
- Excelente remoção de nitrogênio;
- Ótima remoção de fósforo, com perspectiva de melhora.

Contra:

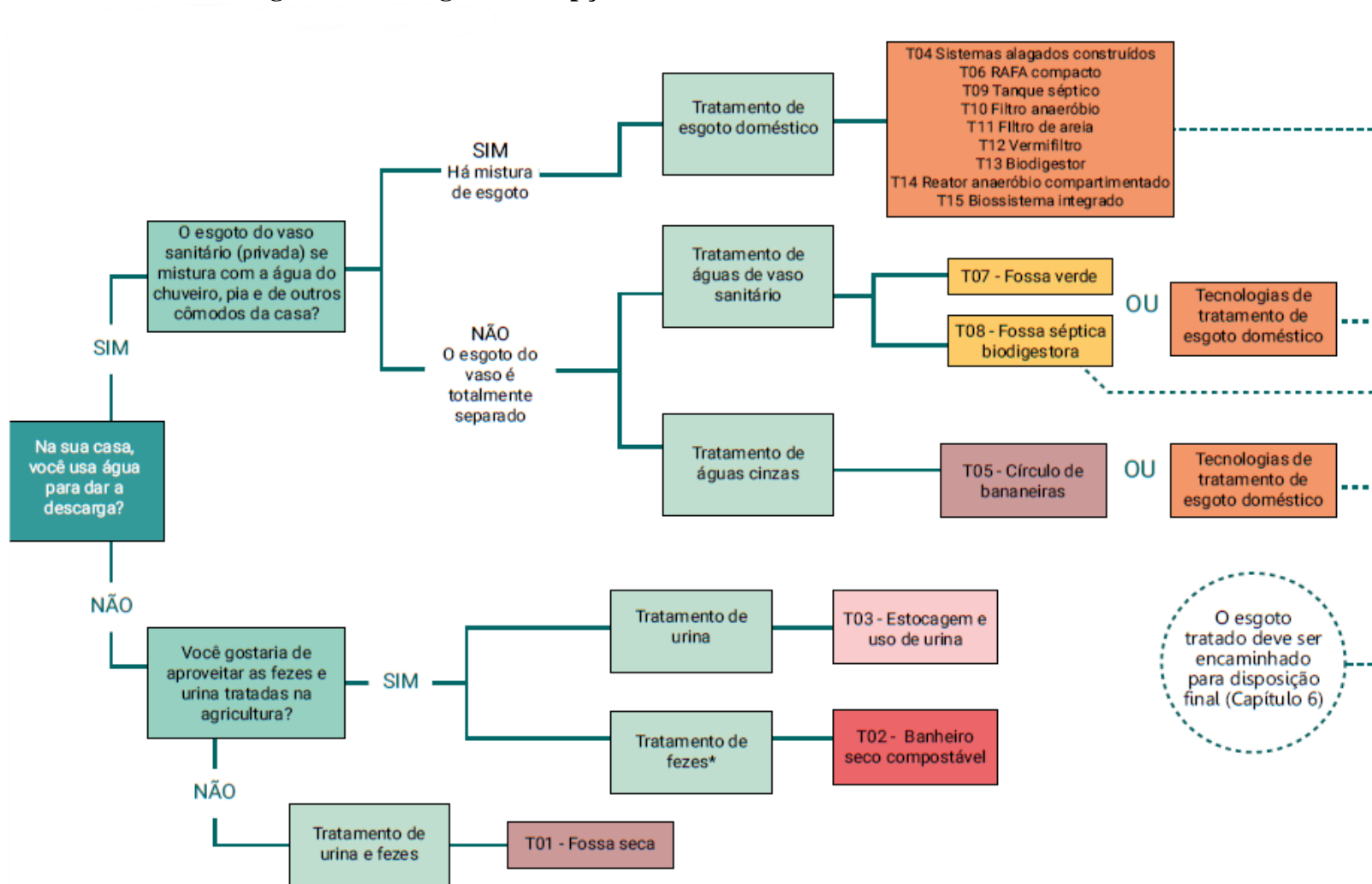
- Grandes variações de temperatura, impactando no desenvolvimento das macrófitas;
- Altas temperaturas no verão, intensificando processos de evapotranspiração;
- Altas taxas de fósforo e nitrogênio no efluente tratado;
- Necessidade de monitoramento e equipe de operação constante;
- Evolução dos ecossistemas, gerando colmatação e a necessidade do replantio das plantas, exigindo manutenção;
- Grande variação de vazão de abastecimento do sistema.

3. METODOLOGIA: ABORDAGEM METODOLÓGICA NA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SWC – CRITÉRIOS DE CÁLCULO E PROCESSO DECISÓRIO

Neste capítulo será apresentado de forma construtiva as principais informações analisadas e reunidas dos SWC, de modo a elaborar um fluxograma que facilite a tomada de decisão da instalação de *wetlands* em ambientes públicos, bem como permitir que gestores tenham ciência prévia dos desafios que o projeto pode enfrentar.

Com base neste objetivo, tem-se o exemplo de Tonetti et al. (2018), que apresenta em seu livro um fluxograma de opções de escolha de tratamento descentralizado, apresentado no Figura 8. São elencados critérios sobre a forma de despejo do esgoto, se há interesse na utilização do resíduo na agricultura e se há mistura do efluente sanitário com os demais da residência. São fluxogramas organizados e voltados ao público que deseje destinar efluentes de domicílios ou micro comunidades, em especial as zonas rurais ou desprovidas de rede coletora.

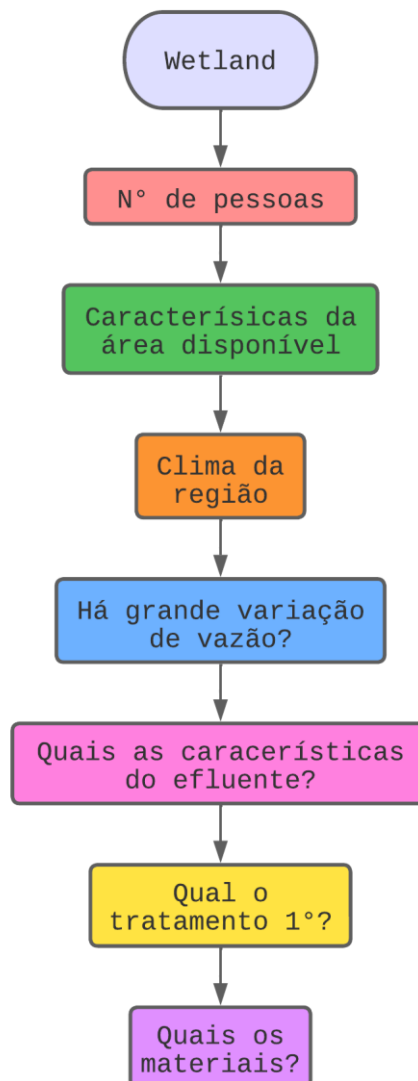
Figura 8 – Fluxograma de opções de tratamento descentralizado de efluentes



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

Baseado na Tabela 1, no que foi verificado no tópico 2.4 Análise crítica operacional das WCs: avaliando prós e contras relatados nos sistemas, como o fluxograma apresentado na Figura 8, será apresentado inicialmente o primeiro modelo de fluxograma orientador para a construção de *wetlands* em ambientes públicos na Figura 9. A seguir, serão explorados cada passo do fluxograma, aplicando-os ao Centro Politécnico da UFPR. Ao fim, será apresentado o modelo final do fluxograma orientador, onde será possível replicar o processo de tomada de decisão e planejamento para prédios públicos de grande e pequeno porte.

Figura 9 – Pré-fluxograma orientador de planejamento de wetland em prédios públicos de grande e pequeno porte



Fonte: a autora.

3.1 Características da área escolhida para simular a aplicação do fluxograma

A área escolhida para o estudo é o campus do Centro Politécnico da UFPR, localizado no endereço Avenida Coronel Francisco H. dos Santos, 100 – Jardim das

Américas, com elevação de aproximadamente 910 metros acima do mar, sendo esses dados obtidos do aplicativo Google Earth Pro. Abaixo, na Figura 10 é apresentada a área do Centro Politécnico, demarcada pela autora.

Figura 10 - Vista aérea do Centro Politécnico



Fonte: produzido pela autora através do Google Earth Pro.

As demais características da área serão esclarecidas conforme sejam trabalhados os passos colocados no fluxograma da Figura 8.

3.2 Investigação sobre o número de pessoas que utilizarão o sistema

Adotando como guia para o cálculo do tamanho da *wetland* a relação de área *per capita*, conforme apresentado no item 2.2, a primeira coisa a ser investigada é a quantidade de pessoas que irão utilizar a edificação e, conseqüentemente, contribuir para a geração do efluente a ser tratado. Na Figura 6 foram apresentados por Sezerino et al. (2015) os valores de 0,5 a 3 m²/pessoa para efluentes universitários. Para os estudos apresentados na Tabela 1, os valores encontrados foram de 0,9 e 1,7 m²/pessoa, relatados por Trein et al. (2018) e Rousso (2014), respectivamente. Portanto, embasando-se nos dados apresentados por Sezerino et al. (2015) deve-se estipular uma área mínima de 0,5 m² para cada frequentador do estabelecimento.

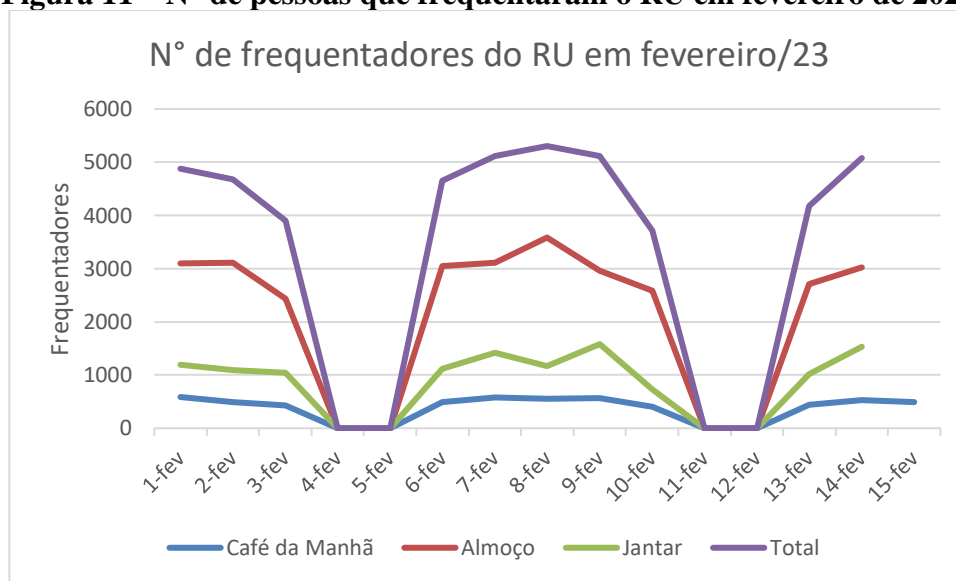
Existem diversos métodos para estimar a população que frequenta uma determinada edificação, como uma investigação *in loco* contando efetivamente o número de pessoas que por lá passam, fazendo os registros em diversos períodos temporais que constituam uma amostra significativa; pode-se buscar informações junto ao responsável pelo estabelecimento, solicitando tais informações; pode ser feita uma estimativa máxima pela lotação de cada ambiente.

Também deve-se levar em conta o período de uso dessas pessoas, pois supondo que o ambiente seja utilizado meio período por um ocupante, este equivalerá a apenas 0,5 de alguém que o frequente o dia todo. E assim consequentemente para outros períodos de frequência diferentes.

No Centro Politécnico a rotatividade de pessoas é muito elevada, além de apresentar os mais variados turnos -matutino, vespertino, noturno e integral – portanto sendo de grande dificuldade estipular o número de frequentadores da faculdade como um todo. Uma alternativa viável é escolher um setor/prédio e fazer a investigação de forma individualizada.

Assim, para este estudo foi escolhido o prédio do RU (restaurante universitário). Os dados sobre o nº de frequentadores foram fornecidos pela PRA da UFPR, responsável pela coordenação do RU. Os dados da Figura 11 representam a variação do nº de refeições servidas para o mês de fevereiro de 2023, sendo essas divididas em café da manhã, almoço e jantar, considerando também a soma dos 3 períodos, mostrando o total de pessoas que passam pelo estabelecimento em um dia, que é o valor de interesse para um projeto de WC. Pela característica do prédio e a distribuição dos cursos no campus do Centro Politécnico da UFPR, o período de maior movimento é na hora do almoço. Complementarmente, foram também disponibilizados os dados referentes ao nº de pessoas que frequentou o restaurante no período de março de 2022 a fevereiro de 2023, somando um total de 892.157 indivíduos. Levando em conta que o RU não funciona nos finais de semana, sábado e domingo, e nem em período não-letivos (férias, feriados e recessos), pode-se calcular uma média diária a partir dos dados fornecidos.

Figura 11 – Nº de pessoas que frequentaram o RU em fevereiro de 2023



Fonte: adaptado de PRA/UFPR.

Para o período letivo escolhido, foram contados 228 dias de duração, o que resultou na média de 3.913 pessoas atendidas diariamente no RU. Na Figura 11 é possível observar que os totais das 3 refeições servidas atingem máximos de mais de 5000 frequentadores/dia, demonstrando mais uma vez o tamanho da variação que pode ocorrer no fluxo da *wetland*. Outro ponto relevante é que durante o final de semana e feriados o restaurante não é aberto, tendo, portanto, geração de efluente zero. Por tal situação é interessante ter um sistema de tanques de armazenamento que possa manter a continuidade

do fluxo. Também se recomenda a investigação aprofundada dos valores máximos de frequentadores, para que possa melhor dimensionar a *wetland*. Porém, com base nos dados obtido, e na média calculada para um ano, adotamos o n° de pessoas como 4000. Usando o critério de 0,5m²/pessoa, precisaremos de uma área de 2000m² para construir a *wetland*.

3.3 Escolhendo a área para instalação do sistema e analisando suas características

Para poder ser escolhida a área, o primeiro passo foi cumprido, que é a descoberta de qual o tamanho em m² que é demandado. A partir disso deve-se fazer investigação para encontrar espaço disponível que atenda o solicitado, observando a sua localização em relação ao sistema de esgoto, para que esta possibilite a destinação do efluente para o sistema de tratamento da maneira menos onerosa possível, tanto no sentido financeiro quanto estrutural. Outro fator a ser observado é a diferença de altitude entre o ponto de origem do efluente e a área de instalação da *wetland*, para que assim seja possível determinar a necessidade da utilização de bombas ou não.

As limitações estruturais da *wetland* se baseiam nas características do terreno, como localização dos elementos – prédios, vegetação, pavimentação, lagos, valas, etc. – e também da topografia e geologia, é importante realizar o planejamento e utilizar desses elementos também para tirar o máximo de vantagem possível que as configurações possam fornecer, diminuindo gastos energéticos e promovendo melhoras visuais no ambiente (Davis, 1995). Em complemento aos critérios já apresentados, Davis (1995) apresenta dicas sobre a escolha do terreno:

- Localização conveniente quanto à fonte de despejo do efluente e de fácil acesso;
- Conter espaço adequado para a implantação da *wetland*;
- Apresentar declividade que possibilite um fluxo movido pela força da gravidade;
- Solo que possa ser compactado, minimizando ao máximo a infiltração;
- Acima do nível do lençol freático;
- Não seja área de inundação;
- Não contenha espécies ameaçadas/em risco de extinção;
- Não contenha sítios arqueológicos ou de valor histórico.

Serão avaliados locais com espaço suficiente e sem grandes declividades. Portanto os mapas da área são apresentados, sendo o mapa estrutural (apresentado na Figura 12) e os mapas do sistema de esgotos (Figura 13 e Figura 14).

Figura 12 - Mapa estrutural do Centro Politécnico

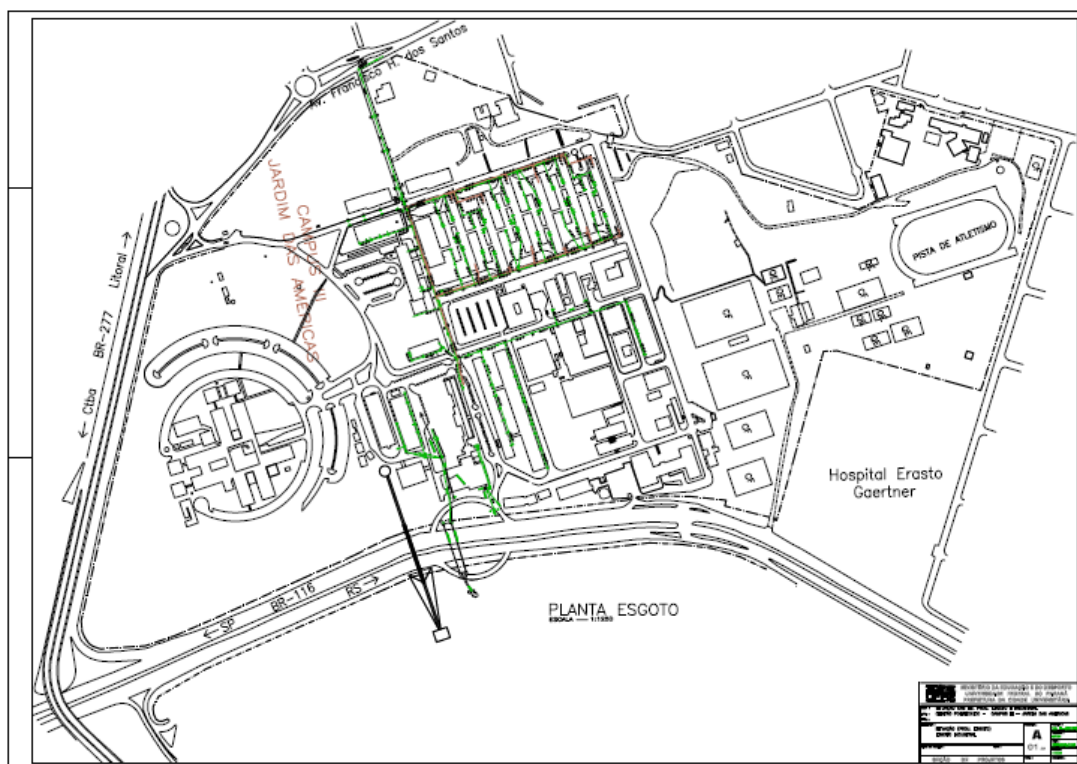


Figura 14 - Sistema de esgoto do Centro Politécnico e campus Jardim Botânico



Fonte: SUINFRA-UFPR

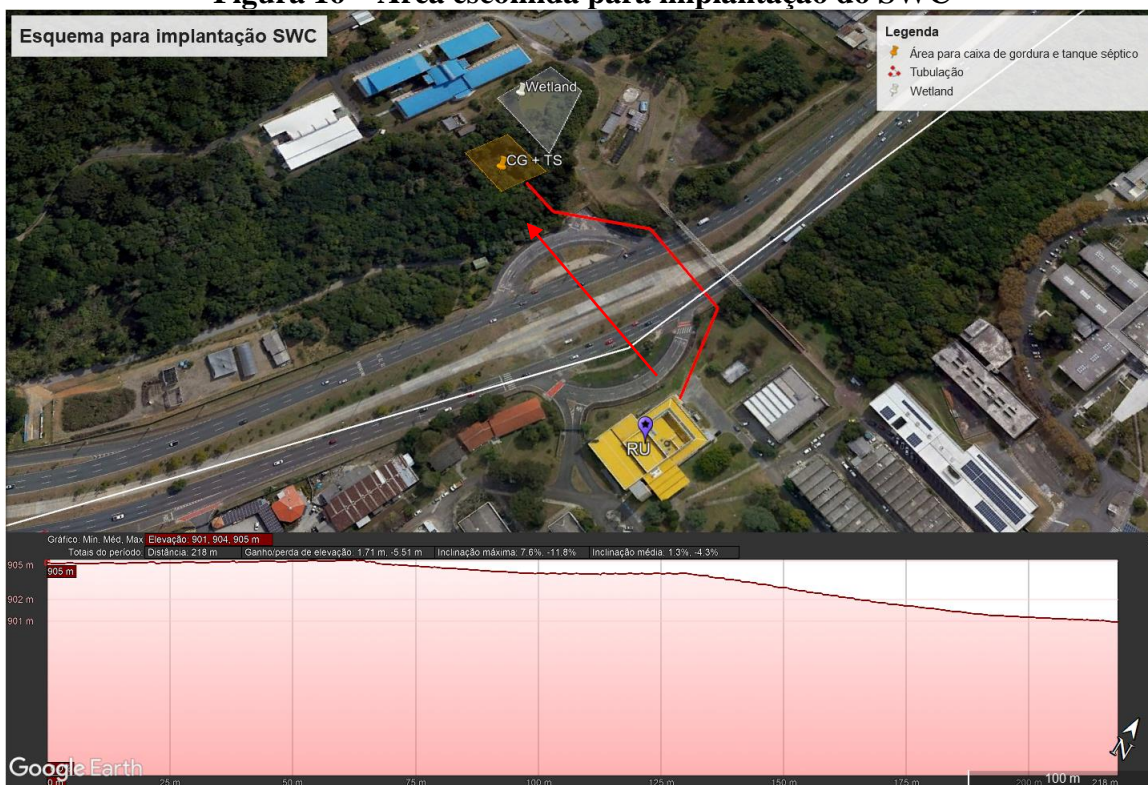
Analisando as Figuras 12, 13 e 14 pode-se identificar três áreas de maior interesse para instalação do sistema, que são mostrados na Figura 15. A área 1 é a mais distante do ponto de origem do efluente, porém ela encontra-se do mesmo lado da rodovia BR 476, que é justamente o ponto de desvantagem das áreas 2 e 3, pois as obras de instalação do encanamento gerariam grande transtorno, visto que é via com muito movimento; tal problema pode ser contornado fazendo-se a utilização de encanamento já existente que cruza a rodovia e é utilizado no sistema de esgoto do centro politécnico, como pode ser visto na Figura 14. Também, a área 3 já apresenta um lago instalado, podendo esse ser adaptado para a operação de uma *wetland*. Uma desvantagem apresentada pela área 1 é que ela não possui vegetação de proteção ao redor, que cumpriria papel importante para impedir enxurradas causadas por grande volume de chuvas, a disposição limitada de espaço e a proximidade com a rodovia. As maiores atratividades na área 3, é a já existência de lago de tamanho próximo ao demandado, bem como disposição de área livre e a possibilidade da utilização da área como lazer. A identificação da área escolhida para o SWC, bem como para os tratamentos primários – que serão explorados no item 3.7, os encanamentos e declividades, são mostrados na Figura 16.

Figura 15 – Identificação de áreas com potencial de instalação de SWC



Fonte: produzido pela autora através do Google Earth Pro.

Figura 16 – Área escolhida para implantação do SWC



Fonte: produzido pela autora através do Google Earth Pro.

Agora passaremos a análise das características da área, assim como citado anteriormente, serão analisados os seguintes pontos:

- Como será feita a ligação do sistema de esgoto até a área escolhida?
- A altitude do local escolhido em referência ao local de origem do efluente exigirá a utilização de bomba?
- O tipo do solo da área permite compactação?
- Está acima do nível do lençol freático?
- É área de inundação ou contém espécies ameaçadas de extinção ou sítios arqueológicos/de valor histórico?
- É área isolada ou de passagem de pessoas?

A ligação de esgoto sugerida é a linha vermelha na Figura 16 e é apresentado o mapa de altitude na porção inferior da figura, indicando que o ponto de origem do efluente é mais alto que a área do SWC, não sendo necessária a instalação de bomba. Quanto ao tipo de solo, devem ser feitas investigações *in loco* para averiguar, Tonetti et al. (2018) apresenta de forma didática um teste rápido e de fácil execução para descobrir isso, consistindo em pegar uma amostra de solo, umedecê-la com água e analisar seu comportamento quanto à tentativa de modelá-la. O mesmo pode ser dito quanto o nível do lençol freático, identificação de espécies e área de inundação, embora por tratar-se de área dentro de ambiente urbano e com árvores e bosques cercando o local, provavelmente não ocorram alagamentos e enxurradas, nem mesmo seja área de preservação. Por fim, é interessante fazer o projeto de forma que estimule a utilização do local pela comunidade, visto a proximidade com prédios pedagógicos e também com o caminho que sai da passarela utilizada para integrar os campi Politécnico e Botânico, área de grande circulação de alunos.

3.4 Impactos relevantes sobre o clima da região

Neste ponto deve-se analisar 4 principais pontos, primeiramente o risco quanto a ocorrência de congelamento da *wetland*, ou seja, ocorrência de temperaturas abaixo de 0°C na região; segundo, qual a variação das temperaturas na área, ou seja, a amplitude térmica, pois quando essa é muito alta, as macrófitas podem sofrer atraso em seu desenvolvimento, colaborando para a redução das taxas de eficiência até que estas atinjam o tamanho adulto, conforme relatado por Silveira et al. (2019). Em sequência deve-se analisar as temperaturas máximas e médias na época de calor, uma vez que a transpiração e a evaporação são acentuadas sob a ação de elevadas temperaturas, podendo causar o secamento e endurecimento dos leitos (Silveira et al., 2019). Por fim, os índices pluviométricos devem ser averiguados, pois grandes quantidades de chuvas podem causar alagamentos ou até, como no caso apresentado por Rousso (2014), o transporte acidental de sedimentos para o sistema, culminando em entupimentos.

Para evitar os problemas com as variações de temperatura afetando o crescimento das plantas e conseqüentemente a eficiência do sistema, sugere-se o plantio das macrófitas já adultas, o que pode encarecer a implantação da *wetland*, ou o monitoramento nos meses iniciais para saber quando o sistema estará apto ao uso. Alguns dos cuidados apontados por Davis (1995) para sanar os problemas gerados pela elevada transpiração e evaporação são alterações e adequações no fluxo do sistema para manter o nível d'água constantemente na altura ideal, para evitar o ressecamento. A solução quanto aos problemas das chuvas é de maior complexidade, pois elas irão também influenciar na variação da vazão que chega ao sistema, visto que os sistema de esgoto, embora não devam, comumente recebem águas

pluviais de infiltrações ou ligações irregulares. Uma sugestão feita para resolver o problema, é a checagem do sistema de esgoto dos prédios, a fim de eliminar as fontes de infiltração.

Na Figura 17 podemos ver o mapa de climas zonais do Brasil de acordo com o IBGE, e olhando para o estado do Paraná vemos que este se enquadra em dois climas: o temperado e o tropical Brasil central. A cidade de Curitiba, onde está localizado o Centro Politécnico encontra-se na região com clima temperado. Dentre as características deste clima estão a levada amplitude térmica anual, chuvas bem distribuídas e invernos intensos com geada.

Figura 17 – Mapa de climas do Brasil



Fonte: IBGE

Em consulta ao *site* ClimateData foram encontrados os dados sobre a temperatura média, máxima e mínima, bem como a média da chuva em mm listados mensalmente com média elaborada a partir de dados de 1991 a 2021. Os dados são apresentados na Tabela 2. Além desses, eles apresentam a variação da temperatura média em $7,2^{\circ}\text{C}$ e foi calculada pela autora deste trabalho a diferença entre a maior máxima e a menor mínima aferidas, resultando em $14,8^{\circ}\text{C}$.

Já na Tabela 3 são apresentados os valores máximos e mínimos obtidos mensalmente para a pluviosidade, considerando os dados obtidos junto ao site do IAT (Instituto Água e Terra) para o intervalo de tempo de 2000 a 2021. Através dessa tabela podemos analisar a ocorrência de eventos extremos de chuvas nos últimos 20 anos, verificando a necessidade de medidas para conter carreamentos externos ou não.

Tabela 2 – Dados referentes ao clima de Curitiba com médias de 1991 a 2021

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura máxima (°C)	24,6	24,7	23,8	22,3	18,9	18,2	18	19,7	20,9	22,2	22,6	24,2
Temperatura mínima (°C)	17,6	17,8	17,1	15,2	12	10,7	9,9	10,6	12,2	14	15	16,6
Temperatura média (°C)	20,4	20,6	19,8	18,1	15	13,9	13,4	14,5	15,8	17,4	18,1	19,8
Chuva (mm)	233	199	137	84	100	101	104	84	144	142	134	168

Fonte: Adaptado de ClimateData

Tabela 3 – Dados referentes ao valores máximos mensais de pluviosidade no período de 2000 a 2021

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Altura máxima (mm)	371,9	346,9	327,6	183,6	205,8	319	222,2	286	307,4	246,7	241,2	336,2
Altura mínima (mm)	74,4	59,6	13,8	2,7	18,3	2	4,2	8,6	30,8	39,8	33	42,6

Fonte: Adaptada de IAT

Desta maneira, podemos concluir que o congelamento não será uma preocupação nesse projeto, nem as temperaturas máximas registradas são suficientes para gerar preocupação quanto a endurecimentos e secamentos. Os dois pontos que deverão ser atentados nesse projeto são soluções quanto a amplitude térmica elevada e os índices pluviométricos, devido à grande ocorrência de chuvas e também a possível alta intensidade nos meses chuvosos.

3.5 Considerações sobre a vazão atendida

Assim como relatado nos estudos da Tabela 1, um dos problemas experienciados com a utilização em prédios públicos de *wetlands* é a grande variação de vazão de abastecimento do sistema. Os fatores citados pelos autores que foram responsáveis por essa variação foram a intercalação de períodos com e sem eventos, a oscilação no n° de visitantes, início do semestre letivo e a dificuldade em manter a continuidade e uniformidade do preenchimento do tanque equalizador (Rouso, 2014; Favretto et al., 2017; Colares et al., 2017; Wink et al., 2016). Portanto, na fase de planejamento do sistema, deve ser investigado se existem ocorrências que possam gerar essas variações na vazão de efluente destinada ao SWC.

As sugestões feitas por Davis (1995) para conseguir controlar tais flutuações consistem em monitoramento da WC tanto sobre os parâmetros de qualidade d'água na entrada e saída do sistema quanto sobre o fluxo dentro desta, garantindo que ele percorra e preencha todo leito da *wetland*, que seja feita a limpeza e manutenção do sistema, para impedir empoçamentos e entupimentos. O autor também sugere que haja priorização de abastecimento do SWC através de um fluxo com velocidade baixa e despejo contínuo. Já Rouso (2014) relatou a alta resiliência do sistema, inclusive ao recebimento de grandes cargas pontuais como relatado por Trein et al. (2018), devido ao seu superdimensionamento.

A seguir, serão analisadas as variações na caracterização do efluente do Centro Politécnico durante o ano: observam-se as mudanças que ocorrem no campus quanto ao número de pessoas que frequentam a área. Durante o período de férias há grande diminuição no efluente gerado, visto que o fluxo de pessoas no prédio diminui significativamente. Assim como no caso de Colares et al. (2017) nós temos aqui uma variação causada pelo início e fim do período letivo. Sendo a UFPR uma universidade que utiliza a forma semestral de calendário, é conveniente afirmar que os meses de janeiro, julho e dezembro sofrem uma queda brusca na quantidade de efluente gerado. Ainda, há a variação de fluxo diária; no trabalho de Silveira et al. (2019) foi registrado o pico de vazão entre 12-17h. No caso do politécnico, existem diversos cursos integrais, matutinos, vespertinos e noturnos, porém das 23 às 6h o local é esvaziado.

Como o sistema analisado apresenta grande variação de fluxo ao longo da operação, sugere-se que sejam formulados calendários de monitoramento com maior frequência, bem como seja instituído um fluxo de alimentação com velocidade baixa e despejo contínuo. Quanto ao dimensionamento, recomenda-se levar em conta os maiores valores esperados de frequentadores/volume de vazão, e dimensionar para uma média desses.

Para calcular a vazão do RU, não apenas são levadas em conta os efluentes sanitários, em restaurantes há um maior consumo de água e conseqüente geração de efluente pelo preparo das refeições. É possível achar na literatura a média de água gasta por refeição, sendo que essa possui um coeficiente de retorno de 0,8. Porém tais valores

são muito variáveis por diversas razões, como a sazonalidade, o uso de políticas de economia d'água ou dispositivos redutores de gasto, hábitos ou até o cardápio de preparo, ressaltando como a estimação da vazão destinada é suscetível a variações.

3.6 Critérios para a caracterização do efluente a ser tratado

Complementarmente é importante realizar uma caracterização do esgoto da área escolhida. Tal processo poderá dar-se de duas formas: uma, é através da literatura, a partir de referências de ambientes similares. Será quantificado o volume de efluente gerado e as cargas de poluentes que serão tratados a partir dos dados conhecidos da área abordada, como o número de pessoas que utilizam o espaço, de locais que geram efluente, tipos de efluentes gerados, etc. A outra maneira é a empírica, através da coleta de amostras diretamente da rede de esgoto que passará por análise laboratorial de parâmetros de qualidade de água que necessitem e possam ser tratados em sistemas de *wetlands*. Uma vez caracterizado o que deve ser tratado, dar-se-á o próximo passo: projetar um sistema que trate o efluente. Para isso será necessário escolher o tipo e configuração da *wetland*, especificações de design e estabelecer os objetivos que deverão ser alcançados com o tratamento (Davis, 1995)].

Como apontado por Tonetti et al. (2018), as *wetlands* são muito eficazes na remoção da matéria orgânica, conseqüentemente na redução da DBO e DQO. A turbidez e sólidos também têm alta taxa de remoção, como relatado por Colares et al. (2018). Já quanto aos nutrientes, o nitrogênio apresentou elevada remoção em diversos sistemas da Tabela 1, inclusive quando integrado ao sistema o tratamento com microalgas e com as plantas já no tamanho adulto. Quando há altos índices de fósforo, é recomendada a utilização de uma segunda WC com menor tempo de detenção para funcionar como polimento e melhorar o tratamento em relação a esse nutriente. Outro problema é presença de metais no efluente, conforme apontado por Davis (1995), que podem ser resolvidos também através da fito remediação, porém terão que ser escolhidas macrófitas capazes de realizá-lo e ter destinação específica quando retiradas do SWC.

Discutindo agora a caracterização do ambiente escolhido, o RU, como primeiro ponto relevante temos de analisar que os efluentes gerados são originários das cozinhas, sanitários e limpezas. Sobre os efluentes sanitários e de limpeza, esses apresentam elevadas concentrações de nutrientes (Silveira et al., 2019). Já os efluentes oriundos de restaurantes também apresentam óleos, graxas e gorduras, além de alimentos, fator que irá exigir um tratamento primário diferenciado para evitar entupimentos, o que será discutido no item 3.7. Nesse sentido, Bertolino, Carvalho e Aquino (2008) fizeram a caracterização físico-química dos esgotos produzidos na UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto), com ênfase nos laboratórios de ensino e pesquisa, centro médico, centro desportivo, maternidade de cães, biotério, canil, escola de minas e laboratórios da escola de minas e alojamentos estudantis. Os efluente foram caracterizados como domésticos de carga orgânica média, e os metais encontrados não ficaram acima dos limites estabelecidos pela legislação mineira para despejo em rios Classe II. Os autores concluíram que em termos de carga orgânica e macronutrientes os efluentes gerados no campus se assemelham às características de esgotos sanitários. Já Versiani (2005) ao estudar o efluente gerado na UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) averiguou que este apresenta uma carga fraca, quando analisada em relação a matéria orgânica presente. Como discutido no tópico 2.5, os efluentes de refeitórios apresentam peculiaridades relacionadas ao efluente gerado pelo fornecimento de alto número de refeições, sendo esse efluente fraco comparado ao de origem sanitária, quanto à carga de matéria orgânica.

Diante do exposto, o efluente que será tratado será caracterizado como fraco a médio, referindo-se à sua concentração de matéria orgânica, e sem grande incidência de metais e nutrientes, sendo assim recomendada apenas uma unidade de *wetland* para tratamento, sem a necessidade de fito remediação, tratamento por algas ou polimento para remoção de nutrientes.

3.7 Escolha do tratamento primário

Como visto na Tabela 1, os SWC exigem um tratamento primário antes que o efluente seja destinado para a *wetland*. Nessa mesma tabela são utilizados os tratamentos através de caixa de gordura, tanque séptico, reservatório de equalização, peneira, tanque de sedimentação, reatores anaeróbios, gradeamento e desarenador. A escolha desses tratamentos depende da caracterização dos componentes do efluente, feita no item 3.6. Trein et al. (2018) utilizou a peneira de 6mm para o esgoto bruto; já Rousso (2014) fez a utilização da caixa de gordura seguida por TS (tanque séptico) para efluentes oriundos de cozinhas e sanitários. Os reatores aeróbios foram utilizados por trabalhos realizados na ETE da UNISC, onde já existe tal estrutura para o tratamento, ficando o *wetland* sendo empregado na forma de um tratamento de polimento (Colares et al., 2018; Ferreira et al., 2021).

Aqui serão apresentados 2 métodos de tratamento primário, o por tanque séptico e por caixa de gordura. O primeiro sendo usado quando o efluente for de origem de sanitários em sua maioria. A exigência da caixa de gordura surge quando existem grandes quantidades de óleos e graxas no efluente, como por exemplo o derivado de cozinhas e refeitórios.

As caixas de gordura são regulamentada através da NBR 8160/1999, onde são listadas especificidades de dimensionamento para as caixas separado pelo nº de cozinhas que essa irá atender, sendo de: 1, 2, 3 a 12 e mais de 12 cozinhas ou as de grande porte. As modalidades de caixa são pequena, simples, dupla e especial. No caso do RU do Centro Politécnico, a caixa teria de ser a de tamanho especial, que é o recomendado pela norma para cozinhas de grande porte. As diretrizes para seu dimensionamento são as seguintes:

“d) especial (CGE), prismática de base retangular, com as seguintes características:

- 1) distância mínima entre o septo e a saída: 0,20 m;
- 2) volume da câmara de retenção de gordura obtido pela fórmula: $V = 2 N + 20$
Onde: N é o número de pessoas servidas pelas cozinhas que contribuem para a caixa de gordura no turno em que existe maior afluxo; V é o volume, em litros;
- 3) altura molhada: 0,60 m;
- 4) parte submersa do septo: 0,40 m;
- 5) diâmetro nominal mínimo da tubulação de saída: DN 100” (NBR 8160/1999).

Já para os tanques sépticos é a NBR 7229/1993 que passa os procedimentos para dimensionamento.

“O volume útil total do tanque séptico deve ser calculado pela fórmula: $V = 1000 + N (CT + K Lf)$

Onde: V = volume útil, em litros

N = número de pessoas ou unidades de contribuição

C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia (ver Tabela 1)

T = período de detenção, em dias (ver Tabela 2)

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco (ver Tabela 3)

Lf = contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia (ver Tabela 1)

(...)

As medidas internas dos tanques devem observar o que segue:

a) profundidade útil: varia entre os valores mínimos e máximos recomendados na Tabela 4, de acordo com o volume útil obtido mediante a fórmula de 5.7;

b) diâmetro interno mínimo: 1,10 m;

c) largura interna mínima: 0,80 m;

d) relação comprimento/largura (para tanques prismáticos retangulares): mínimo 2:1; máximo 4:1” (NBR 7229/1993).

As tabelas citadas estão todas presentes na norma, possibilitando o cálculo através da escolha dos valores adequados para as variáveis. Como o local escolhido foi o RU, precisaremos tanto de uma caixa de gordura quanto um tanque séptico. Primeiramente os cálculos para a caixa de gordura: $V = 2N + 20$, sendo $N = 2500$, que é a média de pessoas que frequentam o estabelecimento no horário de pico, o almoço. Assim, $V = 2.520$ L.

Já para o tanque séptico a fórmula utilizada é $V = 1000 + N (C T + K Lf)$, com $N = 4000$, $C = 25$ (contribuição de esgotos para restaurantes e similares), $T = 0,5$ (tempo de detenção em dias para uma contribuição diária maior que 9000 L), $K = 65$ (assumindo um intervalo de 1 ano, e temperatura média do mês mais frio entra 10 e 20 °C) e $Lf = 0,1$ (contribuição de lodo fresco para restaurantes e similares). O volume total do tanque séptico seria de $V = 77.000$ L. Contudo, este valor acaba sendo elevado, uma vez que o princípio de uso de um sistema de fossa séptica é justamente para pequenos usuários que necessitem de um tratamento descentralizado, tal como uma residência, um pequeno empreendimento, etc. Neste caso, uma opção seria, após uma avaliação inicial do efluente, avaliar a necessidade de um tratamento primário ou apenas a remoção grosseira, através de peneira e caixa de gordura, sendo destinado diretamente para tratamento na *wetland*. Eventualmente, poderia ser avaliado o uso de um decantador primário, que demandaria uma operação mais específica, mas poderia atender às necessidades de tratamento. Por fim, uma última opção seria o uso de um tanque séptico com menores dimensões, de $V = 10.000$ L, com uma frequência de limpeza mais elevada, que implica numa redução do volume e proporciona uma maior eficiência. A proposta escolhida pela autora para o RU da UFPR seria esta última, com a utilização de tanque séptico com limpeza frequente.

3.8 Escolha dos materiais a serem utilizados

Finalmente, para encerrar o projeto, devem ser escolhidos os materiais a serem utilizados. Para isso, devemos fazer uma retomada das características avaliadas nos itens anteriores. A seguir serão listadas as características que nortearão o processo.

1. Área superficial da *wetland*: mínimo 2000m², utilizando-se da relação área *per capita*, com profundidade de 0,5 a 1 m;

2. Encanamento para ligação do sistema de esgoto à *wetland* com funcionamento através da força da gravidade;
3. A área será destinada ao lazer, portanto exigirá paisagismo e macrófitas ornamentais;
4. Fazer o plantio de plantas já adultas para evitar a menor eficiência no período de desenvolvimento prolongado pela grande amplitude térmica;
5. Verificar as tubulações de esgoto do prédio a fim de eliminar a infiltração de águas pluviais;
6. Realizar estudo de solo e efetuar a impermeabilização da área;
7. Monitorar a eficiência do sistema periodicamente;
8. Destinar o efluente para um tanque/bombona/reservatório prévio que permita o controle de fluxo de abastecimento do SWC;
9. Construção de caixa de gordura de acordo com o dimensionamento calculado e tanque séptico de 10.000L, com limpeza a cada 3 meses.

A área para implantação do sistema está delimitada na Figura 16, já com a linha de esgoto apontada, permitindo o cálculo da quantidade de canos requerida, sendo recomendado os modelos de PVC, de materiais para realizar a construção da caixa de gordura e do tanque séptico e eliminando o item 1, 2 e 9. Quanto ao item 3, pode-se ser utilizado 3 tipos de macrófitas diferentes: a *Typha spp* que é uma das espécies mais utilizadas em wetlands; a *Pistia stratiotes* que, como relatado por Colares et al. (2018), ajuda na remediação da proliferação de pernilongos e algas e por fim, a *Nymphaea spp.* ou lírio d'água, que por apresentar flores possui a função também ornamental. Na Figura 18 são apresentadas as macrófitas sugeridas. Para cumprir com o item 4, as macrófitas devem ser plantadas já adultas, o que aumenta o valor do projeto.

Figura 18 – Macrófitas sugeridas para plantio na *wetland*



Fonte: Google imagens

A colocação de bancos e decks de madeira, bem como a utilização de materiais de acabamento de padrão mais elevado são incentivadores ao uso do espaço, sendo recomendados para compor o espaço. Também para a construção da wetland, é necessária a escolha do material filtrante. Na Figura 4 são apresentadas diversas possibilidades de materiais, ficando a critério do projetista escolher qual o melhor para o ambiente em questão. Por exemplo, na CETRAG é utilizada a casca do grão de arroz, pois a área é grande produtora do grão; já na UFSC são usadas cascas de ostras, por ser uma região litorânea com abundância do fruto do mar. A brita é o material mais usado (Sezerino et al., 2015), sendo recomendada a utilização de brita nº 3 e 4 na zona de entrada e saída do leito, contribuindo para evitar entupimentos, e no restante a brita nº 1 e 2. É interessante o relato do uso de restos de pneus, como sendo uma utilização para esse resíduo especial.

Para a concretização dos objetivos 5 e 6 são necessárias investigações e estudos, além da realização da impermeabilização e dos possíveis consertos do encanamento, tudo isso encarecendo o projeto. O item 8 demanda a instalação de reservatório na área delimitada na Figura 16, talvez exigindo a expansão dessa. Como continuidade do item, é necessário realizar o planejamento para manter o fluxo contínuo e lento, que também é necessário para cumprir o item 7.

Diante do exposto, pode-se ter uma ideia da totalidade do projeto, bem como dos elementos que irão afetar o custo de sua realização. Nesse sentido, os itens que entraram no cálculo dos custos elaborados por Perondi *et al.* (2020) são:

- Aquisição de bombas: cotação com empresas especializadas
- Operação: gastos energéticos com as bombas – a variar de acordo com a potência das bombas e tarifa da companhia de energia elétrica
- Manutenção: substituição do conjunto motobomba (a cada 5 anos), podas e remoção de espécies invasoras (3h de serviço de jardinagem, 1 vez ao ano)

- Desativação: coleta, transporte e disposição final do resíduo (consulta às empresas que recolhem resíduo Classe II-B).

3.9 Fluxograma para avaliação da viabilidade da instalação do sistema de wetlands em prédios públicos de grande e pequeno porte

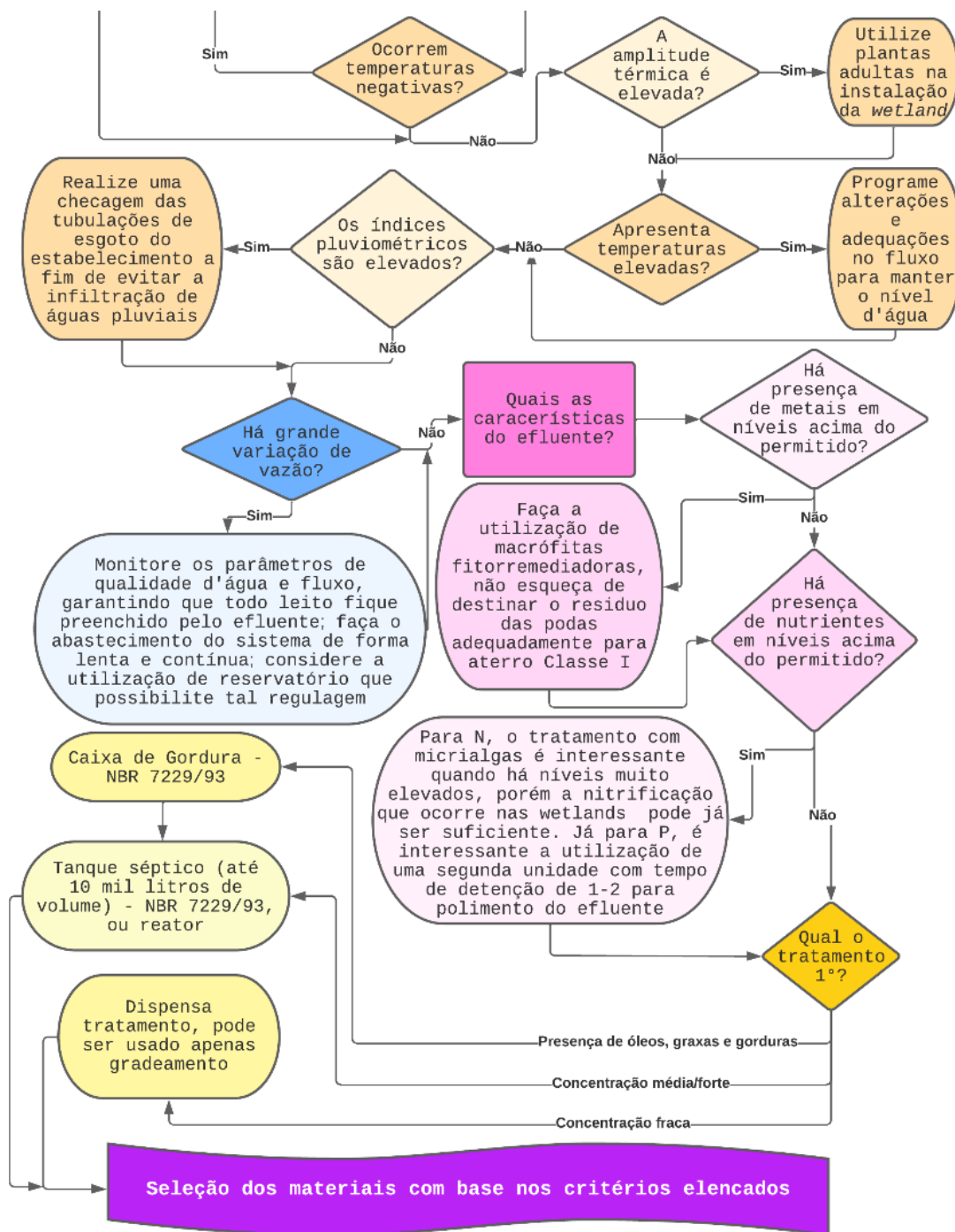
Na Figura 19 é apresentado o fluxograma que foi obtido como resultado final das informações destrinchadas nesse trabalho. Através dele é possível projetar e avaliar o uso de wetlands em prédios públicos. A sequência lógica apresentada na Figura 9 foi mantida na organização do fluxograma final, sendo agora apresentadas possibilidades de obstáculos enfrentados em cada etapa e suas possíveis adaptações.

O fluxograma foi colorido de forma que os tópicos orientadores fiquem em destaque, os impactos relacionados estão na mesma tonalidade para serem vinculados a um mesmo grupo e as cores mais escuras apresentam pontos finais, ou seja, eventos que encerram o deslocamento pelo fluxograma.

A tarefa de planejamento do SWC é facilitada ao se utilizar o fluxograma, pois são elencados os processos a serem executados, sendo dados direcionamentos tanto às opções de realizá-los, quanto aos obstáculos que podem surgir e seus possíveis encaminhamentos.

Figura 19 – Fluxograma orientador para aplicação do sistema de *wetlands* construídos





Fonte: a autora.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS: ANÁLISE DA VIABILIDADE DAS WETLANDS EM PRÉDIOS PÚBLICOS

O presente trabalho buscou compreender o funcionamento das *wetlands* e sua aplicabilidade ao tratamento de efluentes de prédios públicos. Especificamente, identificar como escolher a área para implementar o sistema, caracterizar o efluente e quantificar a vazão e identificar os possíveis obstáculos que possam surgir no processo, inclusive sugerindo alternativas para contorná-los.

Principalmente, foi avaliada a utilização do sistema de *wetlands* em prédios públicos, especialmente no ambiente universitário, onde o sistema pode ser, além de tratar os efluentes, utilizado para fins didáticos e de lazer ou área de convivência. Foram selecionados estudos de casos em que *wetlands* foram usadas em ambientes similares ao de interesse, tanto quanto as condições climáticas quanto de efluente e fluxo. A partir desses relatos, foi possível identificar as principais vantagens e os desafios encontrados ao escolher tal solução como forma de tratamento de esgoto.

A utilização do sistema se mostrou resiliente a eventos desfavoráveis e eficiente no tratamento de efluentes, tanto em relação à matéria orgânica quanto a nutrientes. Já as principais dificuldades são relacionadas a fatores climáticos, grandes cargas de nutrientes no efluente, relacionados à operação e a manutenção do sistema e a grande fluatibilidade das vazões do efluente gerado.

Como já citado anteriormente, as *wetlands* apresentam grande resiliência a eventos adversos, sendo possível planejar adequações a maioria dos problemas expostos. Para facilitar e incentivar a utilização do sistema, foi criado um fluxograma reunindo todas as informações obtidas nesse trabalho, que concretizaram os objetivos iniciais ao tornar a análise da viabilidade do uso de *wetlands* em prédios públicos em tarefa mais simples.

Ao aplicar o fluxograma ao caso do restaurante universitário do Centro Politécnico, foi exemplificada a metodologia de uso da ferramenta proposta e realçadas algumas das principais dificuldades na condução dos estudos para o projeto. A alta variação no n° de usuários do restaurante, devido ao enorme fluxo no período de aulas em contrapartida aos períodos não-letivos sem nenhum usuário, trazem grandes impactos na vazão que é esperada no sistema, sendo essa um dos critérios de dimensionamento. A vazão do efluente gerado pela alimentação também é de difícil estimação e alta fluatibilidade, por razões como sazonalidade, cardápio, etc. Demais dificuldades inerentes à instalação do sistema também surgiram, como a necessidade de elaboração de estudos de impermeabilidade, altura do lençol freático e conservação do encanamento e a realização de obras em áreas de grande movimento, porém tais fatores fazem parte de qualquer obra sanitária.

Por fim, cabe salientar que as *wetlands* foram consideradas viáveis e interessantes para implantação nas áreas debatidas, seja por serem alternativa de descentralização, pela sua resiliência, sua versatilidade, por serem uma solução sustentável ou ainda, por sua alta capacidade de exploração, no sentido de que podem acumular funcionalidades, seja como instrumento educativo, de lazer ou de tratamento sanitário.

5. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 74 p.

ALVAREZ, C. E. DE; CASER, K. DO C.; LEAL, L. R. Parâmetros de cálculo da viabilidade econômica na implantação de *Wetlands* Construídos para condomínios residenciais. **II Encontro Nacional Sobre Reabilitação Urbana e Construção Sustentável**, 2017.

BRASIL; FUNASA, F. N. DE S. **Manual Prático de Análise de Água**. 2a ed. Brasília, 2006.

BERTOLINO, S. M.; CARVALHO, C. F.; AQUINO, S. F. Characterization and biodegradability of wastewater produced in university campus. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 271–277, 2008.

CLIMATEDATA. **Clima Curitiba** (Brasil). 2021. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/curitiba-2010/>> .

COLARES, G. S.; DA SILVA, F. P.; CELENTE, G. D. S.; RADTKE, J. F.; MACHADO, Ê. L. Sistema integrado de tratamento de efluentes sanitários com reatores anaeróbios sequenciais em batelada e *wetlands* construídos de fluxos alternados. **Tecno-Lógica**, v. 22, n. 1, p. 18, 2018.

CRISPIM, J. DE Q.; PAROLIM, M.; MALYSZ, S. T.; VAN KAICK, T. S. **Estações de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes (ETE)**. Campo Mourão, 2012.

DAVIS, L. **A Handbook of Constructed Wetlands: General Considerations**. v. 1. United States: EPA, 54 p. 1995.

FERREIRA, J. S.; MACHADO, Ê. L.; LOBO, E. A. Nutrient removal efficiency using microalgae in different photoperiod cycles, combined with constructed *wetland* in a wastewater treatment plant. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 16, n. 5, p. 1–14, 2021.

IAT. INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Conheça o Brasil – Território. Clima**. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/20644-clima.html>>.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3 ed. New York, USA: Metcalf & Eddy, Inc. 1334 p. 1991.

MITSCH, W. J. 1992. Landscape design and the role of created, restored and natural riparian *wetlands* in controlling nonpoint source pollution. **Ecological Engineering** I(1992): 27-47 *apud* Davis, 1995.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. DE F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo, 2011.

PERONDI, T.; WOLFF, D. B.; DECEZARO, S. T.; ARAÚJO, R. K. DE. *Wetlands* construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do custo do ciclo de vida. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 2, p. 175–189, 2020.

ROUSSO, B. Z. **Desempenho de um wetland construído horizontal empregado no tratamento de esgoto doméstico ao longo de 20 anos de operação**, 2014. Centro Tecnológico (Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal de Santa Catarina.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. Experiências brasileiras com *wetlands* construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 151–158, 2015.

SEZERINO, P. H.; SANTOS, M. O. DOS; PELISSARI, C.; CELIS, G. S.; PHILIPPI, L. S. **WETLANDS CONSTRUÍDOS HORIZONTAIS APLICADOS NO TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTOS**. **Revista Engenharia e Construção Civil**, v. 2, n. 2, p. 1–10, 2015.

SILVEIRA, E. O.; WINK, M.; ZAPPE, A. L.; KIST, L. T.; MACHADO, Ê. L. Sistema integrado com microalgas e *wetland* construído de fluxo vertical no tratamento de efluentes urbanos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 305–313, 2019.

SOUZA, J.T.; VAN HAANDEL, A.; LIMA, E.P.C. (2004). Use of constructed *wetland* for the post-treatment of domestic sewage anaerobic effluent from UASB reactor. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 285-290 *apud* Sezerino *et al.* (2015)

TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; PEÑA, F. J.; *et al.* **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas, SP: Biblioteca/Unicamp, 2018.

VERSIANI, B. M.; **Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ**. 2005. COPPE (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil**. Edição Esp ed. Boletim *Wetlands* Brasil, 2018.

WEBER, C. F. **Proposta de dimensionamento e implantação de wetlands construídos em sistema individual de tratamento de esgoto sanitário**. 2015. Departamento

Acadêmico de Química e Biologia (Trabalho de Conclusão de Curso, Tecnologia em Processos Ambientais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 71 p.

WINK, M.; RIBEIRO, W.; POMMEREHN, S.; *et al.* Unidade piloto em regime de batelada com sistema de reatores anaeróbios + microalgas + *wetlands* construídos em fluxo vertical. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 6, n. 2, 2016.