

USO DE *WETLANDS* PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS URBANOS

Raíssa Giovanna Almeida Vasconcelos (IC) e Roberta Nunes Attili Franzin (Orientadora)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo projetar e avaliar o custo de uma *Wetland* para o tratamento de efluentes sanitários de uma comunidade em uma cidade de grande adensamento populacional. Para a definição do sistema projetado foram analisados os diversos tipos de *Wetlands*, tipos de macrófitas e parâmetros de controle e desempenho, com o objetivo de se dimensionar um sistema com boa relação custo-benefício. Foi projetado um sistema *Wetland* Construído de Escoamento Vertical do tipo francês (WCFV) simplificado, de dois leitos, que atende uma taxa de remoção de DBO do esgoto bruto maior que 80%, para a Comunidade do Vietnã localizada às margens do córrego Águas Espraiadas, em São Paulo. O custo do sistema mostrou-se inferior ao custo de sistemas tradicionais de tratamento de esgoto, viabilizando a oferta de saneamento básico à população local. A implantação da *Wetland*, além de melhorar as condições sanitárias da comunidade pode, ainda, contribuir para a melhora da qualidade da água do córrego.

Palavras-chave: *Wetland* construídos. Saneamento. Poluição de corpos hídricos.

ABSTRACT

This study aimed to design and evaluate the cost of a *Wetland* for the treatment of sanitary effluents from a community in a city with a large population density. To define the projected system, the various types of *Wetlands*, types of macrophytes and control and performance parameters were analyzed, with the aim of sizing a system with good cost-benefit ratio. A simplified two-bed French-type Vertical Drainage (VDCW) Constructed *Wetland* system, which meets a rate of BOD removal from raw sewage greater than 80%, was designed for the Vietnam Community located on the banks of the Águas Espraiadas stream, in Sao Paulo. The cost of the system proved to be lower than the cost of traditional sewage treatment systems, enabling the provision of basic sanitation to the local population. The implementation of the *Wetland*, in addition to improving the sanitary conditions of the community, can also contribute to improving the stream's water quality.

Keywords: Constructed *Wetlands*. Sanitation. Pollution of hydrous bodies.

1. INTRODUÇÃO

A geração de efluentes sanitários urbanos tem atingido escalas excessivas em razão do constante crescimento demográfico das últimas décadas. No Brasil, notável parcela destes efluentes não se encontram passíveis de processos de saneamento apropriados, sendo direcionados a cursos hídricos. Segundo dados publicados pela Agência Nacional de Águas (ANA) (2017), apenas 55% da população tem tratamento de esgoto adequado.

Diariamente são depositados em cursos d'água enormes volumes de dejetos sanitários causando sua poluição. Este contínuo movimento gera preocupação em relação a escassez de recursos hídricos. O impacto social da falta de água potável para consumo humano ou até mesmo para finalidades agrícolas, industriais, entre outros, acometem cada vez mais a nossa realidade. Outra ressalva que deve ser citada é a ocorrência de doenças de veiculação hídrica devido a poluentes.

Com a finalidade de recuperar estes ecossistemas têm sido desenvolvidas diversas pesquisas e, dentre elas, destacam-se estudos sobre sistemas de *Wetlands*, em maiores proporções, como um novo mecanismo de tratamento de efluentes sanitários.

No entanto, algumas questões relacionadas à esses sistemas precisam ser estudadas de uma forma mais aprofundada, como a forma de implantar o sistema de *Wetland* para o tratamento de efluentes sanitários urbanos em cidades de grande adensamento populacional, ou da implantação de jardins filtrantes em parques lineares no entorno de grandes córregos, a definição dos parâmetros de controle e desempenho do sistema aplicados em grande escala e formas de associar o sistema de *Wetland* com outras tecnologias, a fim de melhorar a eficiência do processo.

Também conhecidas como jardins filtrantes ou zonas de raízes, as *Wetlands* são autossustentáveis e caracterizadas pela simplicidade e baixo custo de construção, operação e manutenção. Estão ainda associadas a uma harmonia paisagística e qualidade ambiental que proporcionam melhorias às regiões onde são implantadas, como a melhoria de seu microclima. As *Wetlands* funcionam como um ecossistema artificial descentralizado e sua concepção surgiu com a percepção dos ecossistemas formados por brejos e pântanos. Sousa *et al.* (2004, p. 286) definem as *Wetlands* como um sistema

[...] projetado para utilizar plantas aquáticas (macrófitas) em substratos (areia, solo ou cascalho), onde ocorra proliferação de biofilmes que acumulam populações variadas de microrganismos que, através de processos biológicos, químicos e físicos, realizam o tratamento de águas residuárias.

Esses sistemas são capazes de manter os níveis dos rios, prevenindo as inundações e, de acordo com Construct (2016), atuam como uma espécie de esponja filtrante quando o

nível dos rios aumenta, liberando o volume absorvido gradualmente, quando da diminuição do nível das águas dos rios.

Em alguns países como no Canadá e Estados Unidos, este modelo de tratamento já vem sendo aplicado. Segundo Osvaldo Moura Rezende, sócio e fundador da AquaFluxus – Consultoria Ambiental em Recursos Hídricos (RUBIM, 2017) a primeira *Wetland* construída foi na década de 1970 na Alemanha, sendo hoje utilizada em praticamente toda a Europa, nos Estados Unidos, Canadá, Austrália e em alguns países da Ásia, África e América do Sul. De acordo com André Baxter Barreto, gestor executivo da *Wetlands* Construídos, o maior sistema de *Wetlands* construídos implantado nos últimos tempos foi na República Moldova, atendendo mais de 21 mil habitantes (RUBIM, 2017).

No Brasil, o primeiro sistema de *Wetlands* construído foi em 1982, em um córrego de Piracicaba, município do estado de São Paulo, por Salati e Rodrigues (1982 *apud* SALATI; SALATI FILHO; SALATI, 2009). Desde então, novas pesquisas e implantações vem sendo realizadas ao longo do território brasileiro buscando maior eficiência do método.

Porém, mesmo com os eficientes e seguros resultados obtidos pelas pesquisas e projetos desenvolvidos até o momento, ainda não houve uma aplicação desses sistemas em maiores proporções, e nem seu uso com outras tecnologias que possam conjuntamente otimizar tal processo.

Considerando a *Wetland* um modelo autossustentável de baixo custo, que pode vir a ser aplicado para o tratamento de esgoto e revitalização de rios urbanos, esse trabalho busca dimensionar uma *Wetland* em uma comunidade às margens do Córrego Água Espriada, visto como um esgoto à céu aberto, em São Paulo, e avaliar o custo de sua implantação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os mecanismos de tratamento de efluentes sanitários urbanos através de *Wetlands* são reconhecidos por fenômenos físicos, químicos e biológicos da água. Neles são apresentadas técnicas de concepção embasadas em sistemas de *Wetlands* naturais, como brejos e pântanos. Segundo Brix (1987), as plantas macrófitas, os microrganismos decompositores e o solo, como meio filtrante, são os principais elementos dos sistemas *Wetlands*.

Diversos tipos de macrófitas são usadas nesses sistemas. De acordo com Trindade *et al.* (2010, p. 2), essas plantas são classificadas, conforme indicado a seguir:

- a) Macrófitas aquáticas submersas enraizadas ou fixas: são enraizadas e crescem totalmente submersas na água. Ex: *Potamogeton pectinatus* (potamogeto), *Cabomba australis* (cabomba);
- b) Macrófitas aquáticas submersas livres: permanecem flutuando submersas na água. Geralmente prendem-se a pecíolos e caules de

- outras macrófitas. Ex: *Utricularia gibba* (violeta-do-brejo, boca-de-leão do banhado);
- c) Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes ou flutuantes fixas: são enraizadas e com folhas flutuando na superfície da água. Ex: *Nymphoides indica* (estrela-branca, soldanella-d'água);
 - d) Macrófitas aquáticas flutuantes livres: permanecem flutuando com as raízes abaixo do nível da superfície da água. Ex: *Pistia stratiotes* (repolho-d'água), *Eichhornia crassipes* (aguapé).
 - e) Macrófitas aquáticas emergentes ou emersas: enraizadas, porém com folhas podendo alcançar grande altura acima do nível d'água. Ex: *Typha domingensis* (taboa, paina);
 - f) Anfíbias: encontradas na interface água-terra, tolerantes à seca. Ex: *Salix humboldtiana* (salgueiro);
 - g) Epífitas: espécies se estabelecem e se desenvolvem sobre indivíduos de espécies flutuantes livres ou fixas. Ex: *Oxycaryum cubense*.

De forma geral, as *Wetlands* são classificadas em relação ao seu fluxo hidráulico. De acordo com Sezerino *et al.* (2015) e Matheus *et al.* (2018), as principais categorias são as *Wetlands* construídas de fluxo superficial (WCFS ou WFS) e as *Wetlands* construídas de fluxo subsuperficial (WCFSS ou WFSS). Sendo que as *Wetlands* de fluxo superficial são classificadas em função da macrófita utilizada e as *Wetlands* de fluxo subsuperficial são classificadas de acordo com o fluxo d'água (horizontal, vertical ou híbrido).

As *Wetlands* construídas de fluxo superficial (WCFS) são recomendadas principalmente para o tratamento terciário de efluentes com o foco na remoção de nutrientes, onde se faz necessário efetuar uma etapa prévia de tratamento secundário para a remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. São compostas por um meio suporte (substrato) que permanece saturado com um fluxo de água escoando pela superfície que é acima do material suporte. O efluente a ser tratado é distribuído na superfície do leito homogeneamente, escoando horizontal e superficialmente, com a profundidade da água em torno de 0,50 m e com baixa velocidade de escoamento. Podem ter ou não substratos e, na sua ausência, utilizam-se macrófitas aquáticas flutuantes, onde a mais cultivada nesse tipo de sistema é o Aguapé, também conhecida como *Eichhornia crassipes*.

As *Wetlands* construídas de fluxo subsuperficial (WCFSS) são compostas por dois sistemas, onde o fluxo de água escoar vertical ou horizontalmente sob a superfície do leito plantado, entre o material filtrante (substrato). Com isso, o fluido permanece em contato com as raízes das plantas. Nesse tipo de sistema, as plantas mais utilizadas são as macrófitas aquáticas emergentes, que ficam enraizadas ao material suporte.

As *Wetlands* construídas de fluxo subsuperficial horizontal (WCFH) são recomendadas principalmente para o tratamento secundário de efluentes, com foco na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. É indicado, ainda, um tratamento prévio para remoção sólidos sedimentares e partículas grosseiras. O sistema funciona com o fluido sendo inserido na zona de entrada e após isso percola por entre os vazios do substrato até atingir a zona de saída, onde é coletado através de um dispositivo de controle de nível. As macrófitas mais utilizadas

no Brasil para esse tipo de sistema são a *Typha* sp. (Taboa) e *Eleocharis* sp. (Junco), que se adaptam a solos ricos em matéria orgânica e possuem grande capacidade de acumulação de material orgânico. Os sistemas WCFH operam em regime de fluxo contínuo, intermitente ou até mesmo em batelada (modo de operação em que o efluente é carregado em ciclos).

As *Wetlands* construídas de fluxo subsuperficial Vertical (WCFV) são recomendadas principalmente para o tratamento terciário de efluentes, com foco principal na remoção de nutrientes, em especial o nitrogênio. Recomenda-se uma etapa prévia de tratamento secundário com foco na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. Funciona com o fluido introduzido na subsuperfície que escoar homogeneamente e verticalmente entre os vazios do substrato até atingir a parte inferior do leito, onde o efluente é coletado através de tubulações. O sistema opera com alimentação intermitente. Tem uma vantagem com relação WCFH, pois transfere uma maior taxa de oxigênio para a atmosfera. Dentre as várias espécies de macrófitas utilizadas nesse tipo de sistema, destaca-se o uso de *Typha* spp. (Taboa), *Phragmites australis* (Caniço-deçágua), *Juncus* spp. (Juncos), e *Cyperus papyrus* spp. (Papiro-Brasileiro).

Existem também os sistemas híbridos, também conhecidos como combinados, que unem as vantagens dos dois sistemas de fluxo vertical e horizontal, potencializando a eficiência do tratamento do efluente. Por ser um sistema mais completo, é capaz de remover matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes, sendo recomendado principalmente para o tratamento prévio, auxiliando na remoção de partículas grosseiras e sólidos sedimentares.

Na França, as *Wetlands* de fluxo subsuperficial vertical, têm sido utilizadas para o tratamento de esgoto bruto. De acordo com Sperling e Sezerino (2018), os sistemas *Wetlands* do tipo francês clássico são compostos por uma etapa de dois estágios, não havendo a necessidade de um pré-tratamento ou um tratamento secundário. O primeiro estágio recebe o esgoto bruto após gradeamento, e o segundo recebe o efluente do primeiro estágio. Funciona com o esgoto sendo aplicado na superfície do leito onde o escoamento do efluente é vertical descendente. O primeiro estágio foca na remoção de sólidos em suspensão e matéria orgânica, como também na remoção de boa parte de nitrogênio amoniacal por nitrificação. Já o segundo estágio tem como objetivo um polimento no efluente em termos de remoção complementar de matéria orgânica e sólidos em suspensão, mas principalmente, na remoção de nitrogênio amoniacal por nitrificação, pelas condições aeróbias do meio.

Na concepção clássica desse sistema, o primeiro estágio é composto por três unidades em paralelo, sendo que uma opera enquanto duas unidades ficam em descanso. Já no segundo estágio que é composto por duas unidades em paralelo, onde uma opera e uma fica em descanso. Com estratégias diferentes para 1º e 2º estágio, suas unidades são

alimentadas de forma intermitente, com todas as unidades possuindo ciclos operacionais que incluem dias em operação e dias em descanso.

Von Sperling e Sezerino (2018) citam em seu estudo, uma concepção alternativa simplificada do sistema francês, que é composta por apenas o 1º estágio, com redução do número de unidades nesse 1º estágio, não havendo necessidade de um 2º estágio. Em regiões de clima quente, existem experiências utilizando apenas o 1º estágio composto por duas unidades em paralelo.

Os sistemas *Wetlands* são viáveis economicamente, o que faz com que se tornem atrativos, sendo adotados em vários países. Brix (1987) destaca o alto custo dos sistemas de tratamento convencionais, principalmente pela energia consumida em sua operação e mesmo pelo transporte dos esgotos para as estações de tratamento. Já os sistemas de *Wetlands*, além de não requererem energia para a sua operação, podem ser descentralizados, o que diminui os custos do transporte desses efluentes e a implantação de infraestrutura necessária. Nesse último caso, viabiliza a oferta de saneamento básico para populações em áreas desprovidas de infraestrutura e comunidades isoladas. Diversos estudos apontam o baixo custo de implantação e operação desses sistemas, além do fato de não usarem produtos químicos em seus processos de tratamento.

No Brasil, o primeiro projeto de jardins filtrantes de 1,5 mil m³, implantando em Piracicaba, no estado de São Paulo, possui uma eficiência de remoção de coliformes fecais de 99%. Tal projeto apresenta um pré-tratamento para remoção de partículas maiores através de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). O efluente segue então para as *Wetlands* onde são realizadas as demais etapas do processo (RUBIM, 2017).

O estudo de Canalli *et al.* (2018), realizado em Itapiranga, Santa Catarina, mostra que o sistema *Wetland* apresenta-se promissor para cidades pequenas. Isso, devido ao seu desempenho no tratamento do esgoto de 241 residências unifamiliares, seu baixo custo, sua sustentabilidade e serviços ecológicos advindos. Além disso, os autores ressaltam a sua importância social, considerando-se o lazer que a área pode oferecer aos habitantes locais.

Pesquisas conduzidas por Oliveira *et al.* (2018) revelaram que os sistemas híbridos, que operam por fluxo horizontal e vertical, removem maior quantidade de matéria orgânica dos esgotos sanitários, com valores maiores do que 91%. Em seu estudo, foram analisadas pesquisas realizadas no Brasil, entre 2000 e 2016, com Capim vetiver e Taboa, usadas em sistemas de fluxo vertical, e os resultados de redução de DBO, a partir de amostras incubadas em câmaras a 20°C, por 5 dias.

Estudos de Treine *et al.* (2015, p. 15) sobre o desempenho de *Wetlands* de fluxo vertical, apontaram que o desempenho do tratamento desses sistemas depende “[...] das

condições hidráulicas, taxa de carregamento, tempo de retenção hidráulica e do modo de alimentação.” A pesquisa permitiu concluir ainda que esses sistemas são uma opção viável sob o ponto de vista técnico, quando se procura a descentralização de sistemas de tratamento de esgotos. Os resultados do tratamento secundário e terciário é semelhante aos obtidos nos sistemas convencionais, centralizados de tratamento de esgotos.

Poças (2015), analisando o uso de *Wetlands* no tratamento terciário de esgotos concluiu que os sistemas de fluxo vertical apresentam melhor desempenho na remoção de nutrientes, perdendo somente para os sistemas híbridos, de fluxos vertical e horizontal associados. Seus resultados ainda indicam que o corte e colheita das macrófitas são essenciais para o desempenho do sistema, de acordo com o ciclo de desenvolvimento de cada espécie, observando-se que a remoção dos restos de poda e folhas mortas é essencial para evitar-se que os nutrientes retornem ao sistema. Os resultados apontam ainda que a destinação de biomassa gerada pode acabar por comprometer os benefícios oriundos do uso de *Wetlands*. Isso porque, como destaca o autor, a sua destinação pode gerar problemas ambientais e custos. A literatura sobre a questão apresentada ainda é insipiente.

Corroborando os resultados encontrados em pesquisas de outros autores, pesquisas de Cunha *et al.* (2018) apontam que todos os tipos de *Wetlands* mostram eficiência da remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão, e que a remoção de nitrogênio pode alcançar valores superiores pela associação de diferentes tipos de *Wetlands*. Sob o ponto de vista ambiental, esses autores destacam os benefícios desses sistemas, relacionados ao baixo consumo de operação e manutenção, além dos serviços ambientais como sequestro de carbono, controle de áreas alagadas e preservação de biodiversidade.

3. METODOLOGIA

Com base em pesquisa bibliográfica sobre os tipos de *Wetlands* mais usados no Brasil e no mundo, seus condicionantes técnicos e limitações, foi feita, neste trabalho, uma proposta de um sistema *Wetland* para uma comunidade localizada à beira de um córrego, com o intuito de se propor um sistema de tratamento de esgoto mais barato e que possa reduzir a carga orgânica lançada diariamente no corpo d'água. Foi escolhida a Comunidade do Vietnã, localizada na Vila Santa Catarina, zona sul da cidade de São Paulo, às margens do córrego Águas Espraiadas e no setor da Operação Urbana Água Espraiada (OUCAE).

O córrego Água Espraiada nasce no Jabaquara, desagua no rio Pinheiros e teve parte de seu trecho canalizado nos anos 2000, de acordo com SPObras (2014). Segundo Otsuka (2013), a bacia do córrego Água Espraiada possui aproximadamente 13 km² de área e curso principal de 7 177 metros de comprimento. Ainda, de acordo com o autor (2013, p. 24)

[...] O córrego Água Espreada, apesar de possuir alguns trechos tamponados, em sua maior parte é um córrego aberto e possui diferentes tipos de ocupação e características fluviais ao longo do seu curso, o que o torna um objeto de estudo bastante complexo e interessante.

[...] A canalização possui aproximadamente 4 km de extensão, entre o Dreno de Brooklin e o Reservatório Jabaquara, e foi projetado para vazão máxima de 110 m³/s. Sua seção transversal possui formato retangular e largura de 6 metros aproximadamente.

A extensão do córrego ao longo da comunidade do Vietnã foi estimada em aproximadamente 700 metros, usando a ferramenta de medida do Google Earth.

Na comunidade viviam cerca de 1 300 famílias em 2019, de acordo com dados da reportagem de Leomil e Apple (2019). Aquelas que ainda vivem à margem do córrego, em moradias irregulares, não possuem acesso à rede de coleta e tratamento de esgoto e, conseqüentemente, lançam os efluentes diretamente no córrego (Fotografia 1), gerando impacto significativo na qualidade da água do corpo hídrico, que por sua vez, contribui para a poluição do rio Pinheiros.

Fotografia 1 - Vista do Córrego Água Espreada no trecho da comunidade do Vietnã



Fonte: Garcia, E. (2019)

A qualidade das águas é avaliada por um Índice de Qualidade da Água (IQA), determinado a partir de análises químicas, físicas e biológicas, que possibilita uma visão geral do lançamento de efluentes sanitários em corpos d'água. De acordo com relatórios da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (São Paulo, 2019) os parâmetros utilizados para compor esse índice são: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes/E. coli, nitrogênio total, fósforo total, sólido total e turbidez. Dentre esses parâmetros, destaca-se a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que é a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica pelas bactérias, e é uma indicação indireta da matéria orgânica presente nos

esgotos. Os microrganismos metabolizam as matérias de procedência urbana ou industrial, multiplicando-se, ao mesmo tempo que consomem as substâncias biodegradáveis. Esse parâmetro é definido considerando um período de 5 dias e uma temperatura de incubação de 20°C e é denominado como $DBO_{5,20}$. Foi justamente esse o parâmetro considerado para a escolha e o dimensionamento do sistema *Wetland*, neste trabalho.

De acordo com o apêndice E do relatório da CETESB (São Paulo, 2019), é tradicional no Brasil, no caso de esgotos sanitários, a adoção de uma contribuição “per capita” de $DBO_{5,20}$ de $54 \frac{g}{hab \cdot dia}$.

Ainda com base nos relatórios da Companhia (apêndice J) (São Paulo, 2019), sabe-se que a média para essa variável da água do Córrego Água Espriada foi de 44 mg/L para o ano de 2019, e a média dos valores entre os anos de 2014 e 2018 foi de 60 mg/L (São Paulo, 2019).

A Fotografia 2 mostra uma vista aérea da comunidade (contorno vermelho) e o espaço considerado no projeto para a implantação do sistema *Wetland* (contorno verde). A área do terreno disponível é de aproximadamente 6 810 m² (GOOGLE EARTH, 2021).

Fotografia 2 - Vista aérea do Córrego Água Espriada no trecho da comunidade do Vietnã



- área da Comunidade do Vietnã;
- terreno para implantação do sistema *Wetland*;
- comprimento de tubulação necessária para a captação do efluente;
- comprimento de tubulação necessária para a despejo do efluente tratado no rio;

Fonte: Google Earth (2021)

O sistema escolhido para o projeto foi o sistema *Wetland* construído de escoamento vertical do Tipo Francês, com base nos resultados da remoção da DBO de Gagnon (2012), Poças

(2015) e Treine *et al.* (2015). Além disso, a escolha se justifica pelo fato de o sistema do tipo francês ser mais adequado para o tratamento de esgoto bruto e por não exigir tratamentos primários, de acordo com Von Sperling e Sezerino (2018) e Matheus (2018).

O sistema *Wetland* construído de escoamento vertical do tipo francês WCFV projetado corresponde a um sistema simplificado de dois leitos que atende uma taxa de remoção de $DBO_{5,20}$ do esgoto bruto maior que 80%. A macrófita definida no projeto foi a Taboa (*Typha spp.*), por ser uma planta ornamental, facilmente encontrada no Brasil e por apresentar ótimos índices de remoção de matéria orgânica, com base nos estudos Gagnon (2012) e Oliveira *et al.* (2018).

Para o dimensionamento do sistema foi calculada a carga de DBO gerada pelas 1300 famílias da comunidade, supondo famílias de 5 integrantes e uma vazão per capita de 150 L/dia de esgoto, baseada em informações de Sezerino (2015).

Além do dimensionamento do sistema *Wetland* para a comunidade, foi feita também uma estimativa de custo de implantação do sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo são apresentados o dimensionamento do sistema *Wetland* construído a fim de reduzir a carga de $DBO_{5,20}$ que é lançada diariamente no Córrego Água Espriada, pela comunidade do Vietnã, e a respectiva estimativa de custo.

4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA WETLAND

Para o dimensionamento do sistema escolhido foi utilizado como referência o Documento de Consenso entre Pesquisadores e Praticantes, Dimensionamento de *Wetlands* construídos no Brasil (VON SPERLING e SEZERINO, 2018).

O sistema *Wetland* Construído de Escoamento Vertical do tipo francês WCFV projetado corresponde a um sistema simplificado de dois leitos, que atende uma taxa de remoção de DBO do esgoto bruto maior que 80%.

A carga de DBO do efluente, que comporá o fluxo de entrada do sistema de tratamento *Wetland*, pode ser obtida pelo produto da carga per capita pela população da comunidade, conforme Equação 1:

$$\text{Carga de DBO do esgoto bruto} = \text{Carga per capita} \times \text{População} \quad (1)$$

Considerando uma carga per capita de 54 g/hab·dia e 1 300 famílias de 5 pessoas (população média de 6 500 habitantes), a carga de DBO do esgoto bruto fica:

$$\text{Carga de DBO do esgoto bruto (fluxo de entrada)} \frac{g}{d} = 54 \frac{g}{hab \cdot d} \times 6\,500 \text{ hab} = 351\,000 \frac{g}{d}$$

Para uma taxa de remoção de 80%, a carga de DBO do efluente que será lançado no córrego, após passagem pelo sistema *Wetland*, passa a ser $70\,200 \frac{g}{d}$. Se a redução da DBO das águas do córrego for proporcional à redução da carga de DBO do esgoto pós-tratamento no sistema, a DBO do córrego deve reduzir para aproximadamente 10 mg/L, considerando-se o valor médio do parâmetro medido entre os anos de 2014 e 2019. Valor esse minimamente aceitável ao abastecimento humano, de acordo com a resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 1981/2005). Vale ressaltar que, a fim de se ter preservação integral de vida em biomas aquáticos, o valor máximo aceitável para a DBO é de 5,0 mg/L, de acordo com a resolução, que classifica os corpos de água doce em quatro classes diferentes de acordo com a DBO e alguns outros parâmetros do IQA. As classes de DBO são: Classe especial, que são as águas em condições naturais; Classe 1 ($\leq 3,0$ mg/L), Classe 2 ($\leq 5,0$ mg/L), Classe 3 ($\leq 10,0$ mg/L) e Classe 4 ($\leq 15,0$ mg/L). Sendo que até a classe 3, após tratamento, a água pode ser utilizada para o abastecimento do consumo humano e para outros destinos. Neste trabalho, no entanto, não foi avaliado o processo da autodepuração no corpo hídrico em questão, em função da carga poluidora, responsável pelas concentrações de oxigênio dissolvido na água.

Para o cálculo da área superficial requerida para o leito em operação (Equação 2) foi adotado o valor de $150 \frac{gDBO}{m^2 \cdot d}$ para a taxa de aplicação orgânica superficial, de acordo com o manual.

$$\text{Área superficial requerida} = \frac{\text{Carga de DBO na entrada do wetland}}{\text{Taxa de aplicação orgânica superficial}} \quad (2)$$

$$\text{Área superficial requerida(orgânica)} (m^2) = \frac{351\,000 \left(\frac{gDBO}{d}\right)}{150 \left(\frac{gDBO}{m^2 \cdot d}\right)} = 2\,340 m^2$$

O sistema do tipo francês considerado foi o de concepção alternativa simplificada com 2 leitos, (que considera apenas o 1º estágio), 1 em uso e 1 em descanso. Assim, considerando um sistema de dois leitos, a área superficial total é 4 680 m².

Ainda, para o dimensionamento do sistema, é necessário calcular a taxa de aplicação hidráulica superficial para cada leito. Segundo a norma para projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário, ABNT NBR 12209 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), a taxa de aplicação hidráulica é a relação entre a vazão afluyente (entrada) a uma unidade de tratamento e a área horizontal sobre a qual é distribuída (Equação 3). Para o cálculo dessa vazão afluyente foi adotada uma vazão per capita de 150 litros de esgoto por dia. Considerando 6 500 habitantes, a vazão média diária da comunidade é de 975 000 L/dia ou 975 m³/dia.

$$\text{Taxa de aplicação hidráulica superficial} = \frac{\text{Vazão média afluyente aos wetlands}}{\text{Área superficial requerida}} \quad (3)$$

$$\text{Taxa de aplicação hidráulica superficial} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \right) = \frac{975 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)}{2\,340 (\text{m}^2)} = 0,417 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

A taxa de aplicação hidráulica superficial máxima no leito em operação deveria ser $0,40 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \right)$. Como o valor calculado da taxa de aplicação hidráulica está um pouco acima dos valores típicos da faixa usual, a área superficial poderá ser aumentada, de forma que a taxa de aplicação hidráulica seja reduzida e se torne adequada. Assim, para que o valor da taxa de aplicação hidráulica seja respeitado, a área superficial de cada leito deve ser $2\,437,5 \text{ m}^2$ e a área total para o sistema de 2 leitos deve ser $4\,875 \text{ m}^2$.

Com base nas dimensões do terreno e conhecendo-se a área superficial total do sistema, determina-se os valores do comprimento e da largura de cada unidade. Para o sistema do tipo vertical a relação comprimento/largura é menos importante, estando mais associada a uma distribuição adequada da vazão afluyente em toda a superfície e à área disponível para a construção do sistema. Para a área total do sistema *Wetland* de 4875 m^2 adotou-se uma largura 60 metros (30 metros para cada unidade) e comprimento de 81,25 metros.

O meio suporte do sistema *Wetland* vertical é composto por várias camadas de determinados materiais. As camadas são projetadas considerando a granulometria dos materiais que as compõem, para que os grãos da camada superior não se infiltrem na camada inferior. Para a camada superior (filtrante) foi definido brita 0 (4,8 mm), para a camada intermediária (de transição), brita 2 (19 mm), e para a camada inferior (de drenagem), brita 3 (50 mm).

As alturas de cada camada foram adotadas respeitando os intervalos sugeridos no manual, para o 1º estágio. Os níveis das camadas do material suporte, e do esgoto foram estabelecidos na altura de 1,50 metros (VON SPERLING e SEZERINO, 2018). As alturas das camadas do material suporte, foram divididas da seguinte maneira: camada superior (filtrante) 0,80 m; camada intermediária (de transição) 0,20 m; camada inferior (de drenagem) 0,30 m e borda livre 0,20 m, com o eixo da tubulação de drenagem localizado a 0,15 metros da base. Uma vista do sistema projetado pode ser visualizada na Figura 1.

No caso dos *Wetlands* verticais, os quais possuem meio não saturado (poros ocupados com ar) não se aplica o tempo de detenção hidráulica. Com isso, não é necessário o cálculo do volume útil ocupado pelo líquido, pois ocorre a percolação do líquido sem a detenção dele.

Alternância entre os leitos	Para 1º estágio, foi adotada a concepção simplificada com 2 leitos em paralelo, alternando as etapas de alimentação e descanso: alimentação durante cerca de 3,5 dias e descanso durante cerca de 3,5 dias, compondo um ciclo total de 7,0 dias (uma semana).
Tipo de alimentação no leito em operação	A alimentação será intermitente, sendo feita com a utilização de bombas ou sifões dosadores com bateladas no intervalo de 1,2 horas entre elas.
Entrada e distribuição do efluente	Para o 1º estágio a tubulação de distribuição com diâmetro nominal mínimo de 75 mm, dividida em tubulações laterais, cobrindo homogeneamente a área superficial do leito. Sendo que as tubulações laterais são colocadas suspensas acima do leito (cerca de 0,30 a 0,40 m) e nos pontos de lançamento dos jatos deverá haver uma proteção da superfície do leito (usualmente com placa de concreto) para evitar distúrbios e erosão localizada.
Coleta e retirada do efluente	Sistema de drenagem no fundo, terá tubulações com orifícios. O afastamento entre as tubulações de drenagem /ventilação é em torno de 2,0 m dependendo do tamanho da unidade. O diâmetro nominal mínimo deve ser de 100 mm, a coleta do efluente se dá por aberturas na tubulação a cada 10 cm do comprimento do tubo.
Impermeabilização do fundo e paredes ou taludes internos	Podem ser utilizados diversos materiais e métodos que garantam a impermeabilização do fundo e das paredes. Para esse dimensionamento será adotada a utilização de lona manta de Geomembrana.
Plantas potencialmente utilizáveis	Várias espécies podem ser utilizadas desde que se adaptem às condições operacionais impostas. A Macrófita escolhida para esse sistema é a Taboa <i>Typha</i> spp.
Manejo das plantas	As macrófitas serão plantadas com 4 propágulos por m ² . É necessário fazer cortes frequentes durante a fase de crescimento da planta, possibilitando uma maior capacidade de remoção de nutrientes e outros compostos.
Altura da camada de lodo	A altura fica com valores entre 1,0 e 3,0 cm/ano.
Remoção da Camada de lodo	A remoção ocorre dentro do intervalo de 10 a 20 anos de operação. Caso ocorra altura desigual da camada de lodo, poderá ser feita a remoção com períodos menores que esse.
Tratamento preliminar	O tratamento preliminar será feito por gradeamento somente no 1º estágio, essa concepção não preconiza a inclusão da etapa de desarenação.
Tratamento primário ou secundário a montante do Wetlands	O sistema francês recebe esgoto bruto no 1º estágio. O 2º estágio recebe o efluente do 1º estágio, mas nesse caso iremos usar só o 1º estágio

Fonte: Adaptado de Von Sperling e Sezerino (2018)

É importante salientar que o sistema proposto permite a remoção da DBO, além de outros parâmetros, tais como Demanda química de oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos (SS), Nitrogênio amoniacal (N), Nitrogênio total (N), Fósforo total e coliformes totais.

4.2 ESTIMATIVA DE CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA WETLAND NA COMUNIDADE DO VIETNÃ

O custo de implantação foi dimensionado para uma área de 4 875,0 m², com largura de 60 m e comprimento de 81,25 m. Foram considerados somente os itens para construção

do sistema *Wetland* de fluxo vertical do tipo francês, com base nos valores atuais de mercado desconsiderando-se o custo da mão de obra e manutenção (Tabela 1).

Tabela 1 - Estimativa de custo para implantação do Sistema *Wetland* Tipo Francês na Comunidade do Vietnã

item	Descrição	Un.	Qtd.	Custo un. (R\$)	Custo Total(R\$)
1	Tubo de esgoto (PVC_ - 6m DN 75mm - para distribuição de Efluente de entrada	un.	407	R\$ 54,80	R\$ 22 303,60
2	Luvras de PVC DN 75	un.	407	R\$ 4,99	R\$ 2 030,93
3	Macrófita Aquática Taboa (4 un./m ²)	un.	19 500	R\$ 8,90	R\$ 173 550,00
4	Camada superior 1º estágio (80 cm) - material filtrante - Brita Tipo 0 (4,8 a 9,5mm)	m ³	3901	R\$ 155,00	R\$ 604 655,00
5	Camada intermediária 1º estágio (20 cm) - material filtrante - Brita Tipo 2 (19 a 25 mm)	m ³	976	R\$ 155,00	R\$ 151 280,00
6	Camada inferior 1º estágio (30 cm) - material filtrante - Brita Tipo 3 (25 a 50 mm)	m ³	1463	R\$ 140,00	R\$ 204 820,00
7	Tubo de esgoto (PVC_ - 6m DN 100mm - para drenagem/ ventilação inferior (saída de efluente)	un.	407	R\$ 74,90	R\$ 30 484,30
8	Luvras de PVC DN 100	un.	407	R\$ 5,29	R\$ 2 153,03
9	Lona Manta de Geomembrana 0,5mm × 7m × 5m (35m ²) - para o fundo, para caixa de recebimento e caixa para armazenamento do esgoto gradeado	m ²	5 526	R\$ 60,00	R\$ 331 560,00
10	Lona Manta de Geomembrana para Muro de Arrimo - 0,5mm × 14m × 1,5m (21m ²) - para os taludes internos	m ²	2 438	R\$ 30,00	R\$ 73 140,00
11	concretagem do fundo do terreno com espessura de 15 cm. (6 × 60 × 0,15)	m ³	732	R\$ 350,00	R\$ 256 200,00
12	*concretagem caixa para passagem do esgoto gradeado (2 × 2 × 2 × 0,15) + caixa de inspeção (2 × 2 × 2 × 0,15)	m ³	7,2	R\$ 350,00	R\$ 2 520,00
13	*Bomba Schneider BC-22R 2" 25,0CV 220/380/440V Trifásica IR3 (para elevação do esgoto até a caixa no terreno)	un.	1	R\$ 13 624,00	R\$ 13 624,00
14	*concretagem da caixa para armazenamento do esgoto no terreno (4 × 4 × 3,10 × 0,15)	m ³	12,24	R\$ 350,00	R\$ 4 284,00
15	*Bomba Submersa Lameira para Água e Lama SPET SP4000 4" 220 V - Trifásica (para distribuição do esgoto ao <i>Wetland</i>)	Un.	1	R\$ 7 818,66	R\$ 7 818,66
16	*Tubo para coleta de esgoto da comunidade até o <i>Wetland</i> (1,00 × 0,60 × 0,02)	un.	1915	R\$ 182,91	R\$ 350 272,65
17	*Tubo para despejo de esgoto tratado no córrego (1,00 × 0,60 × 0,02)	un.	155	R\$ 182,91	R\$ 28 351,05
18	*Grade diâmetro 1m para gradeamento do efluente	un.	80	R\$ 500,00	R\$ 40 000,00
				TOTAL	R\$ 2 299 047,22

Fonte: Os autores (2021)

O esgoto deve ser direcionado para uma tubulação de concreto posicionada na extensão do córrego e o escoamento do esgoto será por fluxo livre, adotando-se a inclinação adequada para tal. A fotografia 2 indica, em amarelo, a localização da tubulação na beira do córrego. Considerando a coleta em ambos os lados do córrego, a tubulação terá uma extensão de aproximadamente 1100 metros de comprimento com diâmetro de 1 metro.

As casas precisam ser conectadas a tubos de coleta, que devem ser ligados à tubulação na beira do córrego. Estima-se que a cada 10 metros ao longo do córrego, se posicione um tubo de coleta de 1 metro de diâmetro e 0,6 metro de comprimento transversalmente à margem. Serão necessários aproximadamente 80 tubos para essa coleta, 40 de cada lado do rio. No total serão necessários cerca de 1 915 tubos (1m × 0,6m × 0,02m) (diâmetro, comprimento, espessura) para coleta e escoamento do esgoto até o terreno. Para o despejo do efluente tratado no córrego será necessária, ainda, a instalação de tubulação de concreto de aproximadamente 93 m de comprimento, cerca de 155 tubos (1m × 0,6m × 0,02m), conforme indicado, em azul, na fotografia 2 deste documento. O esgoto, que será gradeado nas entradas da tubulação localizada na extensão do córrego, irá escoar até uma primeira caixa de concreto de dimensões 2m × 2m × 2m, posicionada no nível do córrego e próxima à *Wetland*. O esgoto será bombeado com o auxílio de uma bomba até uma segunda caixa de concreto de dimensões (4m × 4m × 3,1m) no nível do terreno, que irá armazenar o esgoto a ser lançado no sistema *Wetland*, com o auxílio de uma segunda bomba, em intervalos de 1,2 horas. A segunda caixa tem capacidade de armazenar o esgoto acumulado entre uma batelada e outra (48,75m³).

Para efeito de comparação, de acordo com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) (2020), a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Laranjeiras do município de Caieiras, entregue em 2020, atende uma população de cerca de 30 mil pessoas, e o investimento da obra foi de R\$ 67 milhões. Se para 30 mil pessoas o investimento da ETE de caieiras foi de R\$ 67 milhões, para 6 500 pessoas o custo seria de R\$14 516 666,67. A projeção de custo feita aqui para o Sistema *Wetland* Vertical do Tipo Francês, para uma população de 6500 pessoas, foi de R\$ 2 299 047,22. É clara a diferença de custo na implantação dos dois sistemas.

Santos (2018), em seu estudo comparou 44 Estações de Tratamento de Esgoto e mostra que o custo de implantação, em reais por habitante, para um sistema como o de Caieiras (UASB¹ + lagoa aerada + lagoa decantação) está em um intervalo de R\$182,00 a R\$303,00 por habitante. Enquanto o custo de Implantação para um sistema *Wetland* varia de

¹ O reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) é um reator anaeróbio de fluxo ascendente de alta eficiência. O reator UASB é utilizado em processos primários para a estabilização da matéria orgânica.

R\$121,00 a R\$242,00 por habitante. Ainda, segundo Santos (2018), o custo de operação e manutenção, em reais por metro cúbico, para um sistema como o de Caieiras, (reator UASB¹ + lagoa aerada + lagoa de decantação) varia em um intervalo de R\$0,23 a R\$0,46 por metro cúbico de esgoto tratado. Já o custo de operação e manutenção de um sistema *Wetland* varia entre R\$0,12 e R\$0,23 por metro cúbico. Para ambos os casos, implantação e operação e manutenção, observa-se que o sistema *Wetland* é mais econômico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisas mostram que os sistemas *Wetlands* construídos possuem elevado potencial de descontaminação de córregos e rios receptores de efluentes sanitários, assim como indicam seu uso como alternativa para o tratamento de efluentes sanitários de comunidades que não possuem acesso à saneamento adequado. Pensando em soluções alternativas e ecológicas com base em sistemas de saneamento descentralizado para a oferta de saneamento básico à população em áreas desprovidas de infraestrutura, este trabalho buscou projetar e avaliar o custo de um sistema *Wetland* para o tratamento de efluentes sanitários urbanos para a comunidade do Vietnã, na cidade de São Paulo, que vive às margens do córrego Águas Espraiadas, sem coleta e tratamento de esgoto.

Considerando o terreno disponível ao lado da comunidade, foi projetado, um sistema *Wetland* de fluxo vertical do tipo francês, como alternativa de saneamento, que poderia contribuir para a diminuição da DBO do Córrego Água Espraiada, uma vez que o esgoto receberia um tratamento antes de ser lançado no córrego, com redução de sua carga orgânica em até 80%, e melhorar as condições sanitárias da população local. Observou-se que o custo da implantação do sistema *Wetland* é inferior ao custo de implantação de um sistema de saneamento convencional (~ seis vezes menor). Não foi estimado o custo de manutenção do sistema, mas estudos mostram que esse custo também é inferior ao custo de sistemas tradicionais.

Vale ressaltar que descentralização do tratamento de efluentes sanitários urbanos pode trazer economia nos processos, pois abrange locais afastados das centrais de tratamento e também exige menos consumo de energia. Conclui-se que a implantação de *Wetlands* em comunidades instaladas na extensão de córregos e rios em cidades de grande adensamento populacional como São Paulo, por exemplo, poderia contribuir para a despoluição das águas dos corpos hídricos e, também, para o alcance das metas do Marco Regulatório do Saneamento que pretende universalizar o saneamento no país até 2033.

Como sugestão de trabalho futuro recomenda-se construir um protótipo da *Wetland* projetada neste trabalho, para verificação do nível de remoção da carga orgânica do efluente gerado pela comunidade.

6. REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas esgotos**: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, DF, [2017]. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASeESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf. Acesso em: 07 jul. 2021
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 12209: **Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário**. 1 ed. Rio de Janeiro: Normatécnica, 1992. 12 p. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.209-Projeto-de-Esta%C3%A7%C3%B5es-de-Tratamento-de-Esgoto-Sanit%C3%A1rios.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 31 ago. 1981/2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 10 mar. 2019.
- BRIX, Hans. **Treatment of wastewater in the rhizosphere of Wetland plants**: the root-zone method. Wat. Sci. Tech. [s. L.], p. 107-118, 1987. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/230563359_Treatment_of_Wastewater_in_the_Rhizosphere_of_Wetland_Plants_-_The_Root-Zone_Method. Acesso em: 10 mar. 2019.
- CANALLI, Vitória et al. **Projeto de parque urbano com jardins filtrantes para o tratamento de afluentes**. Revista Infinity: Revista dos Cursos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Engenharia de Produção, Itapiranga, v. 3, n. 1, p. 134-154, 2018. Disponível em: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:qn2Rw_O_rf0J:revista.faiacademia.edu.br/index.php/infinity/article/download/432/290+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br. Acesso em: 19 mar. 2019.
- CONSTRUCT. **Wetlands construídos**: uma alternativa sustentável. 22 ago. 2016. Disponível em: <https://constructapp.io/pt/Wetlands-construidas-uma-alternativa-sustentavel/>. Acesso em: 26 mar. 2019.
- CUNHA, Diego de Oliveira da; MERLIM, Rodolpho Lopes; SEVERIANO JUNIOR, Ely. **O uso do tratamento de esgoto sustentável: o estado da arte das Wetlands**. RARA: Revista de Administração e Negócios da Amazônia, Manaus, v.10, n.2, maio/ago, 2018. Disponível em: <http://www.periodicos.unir.br/index.php/rara/article/view/3348>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- GAGNON, Vincent et al. Elsevier. **Effect of plant species on water quality at the outlet of a sludge treatment Wetland**. Elsevier: WATER RESEARCH, [s. l.], v. 46, n. 2012, p. 5305-5315, 14 jul. 2012. Mensal. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135412004897?via%3Dihub>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- GARCIA E. (Vista do Córrego Água Espirada no trecho da comunidade do Vietnã). Reportagem de Eugenio Goussinsky. R7, 23 set. 2019. Fotografia na reportagem **Esgoto a céu aberto é tormento para mais da metade dos brasileiros**. Disponível em: <https://noticias.r7.com/brasil/esgoto-a-ceu-aberto-e-tormento-para-mais-da-metade-dos-brasileiros-23092019>. Acesso em: 26 jun. 2021.

GOOGLE EARTH (Brasil). Google. **FOTOGRAFIA 2:** vista aérea do córrego água espaiada no trecho da comunidade do vietnã. Vista aérea do Córrego Água Espaiada no trecho da comunidade do Vietnã. 2021. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 10 mar. 2021.

LEOMIL, Leonardo; APPLE, Ananda. (São Paulo). Sp1 (org.). **Dois milhões de pessoas não têm coleta de esgoto na Região Metropolitana de SP, diz estudo:** ferramenta do instituto trata brasil lançada nesta terça-feira (29) mapeia falta de saneamento básico nas regiões do país. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/10/29/dois-milhoes-de-pessoas-nao-tem-coleta-de-esgoto-na-regiao-metropolitana-de-sp-diz-estudo.ghtml>. Acesso em: 10 jun. 2020.

MATHEUS, D. R. et al. (São Paulo). FUNASA e SABESP (Ed.). **Manual de sistemas de Wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitário:** implantação, operação e manutenção. São Paulo, SP: UFABC, 2018. 52 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326352770_Manual_de_sistemas_de_Wetlands_construidas_para_o_tratamento_de_esgotos_sanitario_implantacao_operacao_e_manutencao. Acesso em: 15 jan. 2021.

OLIVEIRA, Laís Pedrosa et al. **Avaliação da eficiência de Wetlands na remoção de matéria orgânica de esgoto sanitário.** Revista NBC, Belo Horizonte, v. 8, n. 15, p.68-84, junho de 2018. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-izabela/index.php/bio/article/view/1601/952>. Acesso em: 20 mar. 2019.

OTSUKA, Camila Yumi. **Aplicação de protocolo de avaliação rápida no córrego água espaiada.** 2013. 148 f. TCC (Graduação) - Curso de Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Cap. 1. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/125075/TCC.pdf?sequence=1&isAlloved=y>. Acesso em: 25 maio 2021.

POÇAS, Cristiane. **Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário:** controle de nutrientes. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, Faculdade de Saúde, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Cap. 1. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-23112015-122556/publico/CristianeDiasPocas.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2020.

RUBIM, Cristiane. **Tratamento de efluentes com Wetlands e jardins filtrantes construídos artificialmente.** Revista TAE: especializada em tratamento de água & efluentes, [s.L.], ed. 34, p. 10-19, dez/jan 2017, ano VI. Reportagem de capa. Disponível em: <http://www.parque.ufrr.br/wp-content/uploads/2016/12/Aquafluxus-Revista-TAE.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2019.

SALATI, Eneas; SALATI FILHO, Eneas; SALATI, Eneida. **Utilização de Sistemas de Wetlands Construídas para Tratamento de Águas.** 2009. 23 f. Consultoria e Projetos Ambientais Ltd, Instituto Teramax, Piracicaba, 2009. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/2011/12/sistema-Wetlands.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

SANTOS, Filipe Nepomuceno Bicalho. **Análise comparativa dos custos operacionais de 44 estações de tratamento de esgoto na região sudeste do Brasil.** 2018. 1 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em:

https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/31029/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_FilipeBicalho_RFinal_20190903.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB. Governo do Estado de São Paulo (ed.). **Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2018: Série Relatórios**. 2019. Elaborada por CETESB, Governo do Estado de São Paulo e Secretaria De Infraestrutura e Meio Ambiente. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/10/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-SP-2018.pdf>. Acesso em: 20 Set 2020.

SÃO PAULO. Sabesp. Governo de São Paulo (org.). **Governo de SP e Sabesp inauguram estação que trata esgoto de Caieiras**. 2020. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaold=65&id=8410>. Acesso em: 02 jul. 2021.

SÃO PAULO. SPObras. São Paulo Obras (org.). **Operação Urbana Água Espreada inicia canalização de dois córregos e construção de mais habitações de interesse social**. 2014. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/sp_obras/noticias/?p=186955. Acesso em: 20 abr. 2021.

SEZERINO, Pablo Heleno *et al.* **Experiências brasileiras com Wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias**: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. Engenharia Sanitária e Ambiental, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 151-158, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000096615>. Acesso em: 21 jan. 2020.

SOUSA, José Tavares de *et al.* **Utilização de Wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 285-290, dez. 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522004000400004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 20 mar. 2019.

TREINE, Camila maria *et al.* **Tratamento Descentralizado de Esgotos de Empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos Wetlands construídos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 351-367, out./dez. 2015. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/53262/35134>. Acesso em: 18 mar. 2019.

TRINDADE, Claudio R. *et al.* **Caracterização e importância das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes límnicos do Campus Carreiros - FURG**, Rio Grande, RS. Cadernos de Ecologia Aquática, Rio Grande, v. 5, n. 2, p. 1-22, ago/dez 2010. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/436> 29 mar. 2019.

VON SPERLING, M.; Sezerino, P.H. (2018). **dimensionamento de Wetlands construídos no brasil**. Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2018/12/Boletim-Wetlands-Brasil-Edi%C3%A7%C3%A3o-Especial-Dimensionamento-de-Wetlands-Constru%C3%ADdos-no-Brasil-von-Sperling-Sezerino-2018-2.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2021.

Contatos: raissa_giovanna003@outlook.com e roberta.franzin@mackenzie.br