

USO DE MACRÓFITAS ORNAMENTAIS EM JARDINS FLUTUANTES, NA RECUPERAÇÃO DE RIOS RECEPTORES DE ESGOTO SANITÁRIO

Igor dos Santos Lima (IC) e Ana Lucia da Fonseca Bragança Pinheiro (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

A urbanização com o decorrer dos anos trouxe consigo alguns impactos, como a poluição dos rios ocasionada pelo lançamento de esgoto sanitário. Com isso, os sistemas ecológicos os serviços ambientais desses recursos foram comprometidos, expondo a população a doenças de veiculação hídrica, fortes odores e enchentes, entre outras adversidades. Países como Singapura, França, Filipinas entre outros, encontraram na própria natureza soluções eficientes e econômicas para problemas como esse, utilizando macrófitas aquáticas com potencial de fitorremediação de poluentes em jardins flutuantes, recuperando simultaneamente as águas poluídas, seu potencial paisagístico e sua biodiversidade. Este trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade do uso de macrófitas aquáticas ornamentais em jardins flutuantes, na recuperação de rios receptores de esgotos sanitários. Buscou-se então levantar as diversas questões que vêm sendo pesquisadas na busca de contribuições desses Sistemas para a revitalização de rios e suas limitações, por meio de pesquisa bibliográfica e documental. Esses Sistemas de Wetlands Flutuantes se assemelham aos Sistemas de Wetlands Naturais e Construídos. Apesar desses últimos serem amplamente pesquisados e adotados desde 1982, os Sistemas de Wetlands Flutuantes ainda são pouco pesquisados, embora sejam adotados na recuperação de rios urbanos em diversos países. Os resultados encontrados permitiram observar que diversos estudos apontam o potencial desses sistemas na revitalização de rios, mas a maioria das pesquisas ainda carece de replicação de seus resultados e aplicação em escala real. Diversos fatores podem concorrer para a limitação de sua viabilidade em escala real, como os aspectos hidrológicos e hidráulicos do rio a ser recuperado, temperatura, radiação solar, precipitações e tipo de poluentes e sua concentração, além das características fitossanitárias das plantas. O seu potencial de recuperação paisagística e de sua área de influência estão bem estabelecidos, embora não se tenha certeza sobre a recuperação de sua biodiversidade natural.

Palavras-chave: Macrófitas aquáticas. Fitorremediação. Jardins flutuantes. Wetlands.

ABSTRACT

Urbanization over the years has brought with it some impacts, such as river pollution caused by the discharge of sanitary sewage. As a result, ecological systems and the environmental services of these resources were compromised, exposing the population to waterborne

diseases, strong odors and floods, among other adversities. Countries such as Singapore, France, the Philippines, among others, found in nature efficient and economic solutions to problems like this, using aquatic macrophytes with potential for phytoremediation of pollutants in floating gardens, simultaneously recovering polluted water, its landscape potential and its biodiversity. This work aims to analyze the feasibility of using ornamental macrophytes in floating gardens, in the recovery of rivers that receive sanitary sewage. It was then sought to raise the various issues that have been researched in the search for contributions of these systems for the revitalization of rivers and their limitations, through bibliographical and documentary research. These Floating Wetland Systems are like Natural and Constructed Wetland Systems. Despite the latter being widely researched and adopted since 1982, the Floating Wetlands Systems are still little researched, although they are adopted in the recovery of urban rivers in several countries. The results found allowed us to observe that several studies point to the potential of these systems in the revitalization of rivers, but most research still lacks replication of their results and application on a real scale. Several factors can contribute to the limitation of its viability on a real scale, such as the hydrological and hydraulic aspects of the river to be recovered, temperature, solar radiation, precipitation and type of pollutants and their concentration, in addition to the phytosanitary characteristics of the plants. Its potential for landscape restoration and its area of influence are well established, although it is uncertain whether its natural biodiversity will be restored.

Keywords: Aquatic macrophytes. Phytoremediation. Floating gardens. Wetlands.

1. INTRODUÇÃO

O uso de macrófitas aquáticas em jardins flutuantes para a recuperação de rios receptores de esgoto, além de se mostrar eficiente ao tratar as águas poluídas, contribui para a sua recuperação paisagística e ecológica. No entanto, ainda restam questionamentos sobre a sua viabilidade frente aos sistemas convencionais de tratamento e seus ganhos ambientais.

Esses sistemas podem ser naturais ou construídos, na forma de jardins filtrantes e brejos. Conhecidos como Wetlands, os sistemas que usam plantas no tratamento de esgoto baseiam-se na ação da natureza, a partir da ciclagem de nutrientes em seus sistemas ecológicos. Nesse mecanismo, plantas e microrganismos presentes em seus rizomas concorrem para o tratamento secundário e terciário desses efluentes, a partir de processos de decomposição dos poluentes e produção de biomassa. Quando adotados na forma de jardins flutuantes em corpos d'água, possibilitam a recuperação deles, considerando-se sua alta produtividade de biomassa, com grande capacidade de absorver nutrientes, associada à presença de microrganismos, que promovem a circulação de nutrientes e remoção de contaminantes.

Além disso, os jardins flutuantes agregam valores sustentáveis relacionados aos serviços ambientais paisagísticos em áreas urbanas. Para Rocha (2018, não paginado), “Sistemas de jardins flutuantes tem apresentado bons resultados na recuperação de águas poluídas, sendo especialmente empregadas em áreas urbanas, devido ao apelo paisagístico.”. Como aponta Mendes (2018, p.16),

A integração da técnica de fitorremediação à paisagem urbana através de dispositivos que favorecem o manejo das águas pode ser uma estratégia projetual para a promoção da multifuncionalidade aos espaços públicos, capaz de mitigar problemas relacionados à qualidade da água urbana e combater a poluição.

As macrófitas são encontradas em diferentes graus de adaptação ao meio aquático. São formas de vegetação “[...] cujas partes fotossinteticamente ativas estão permanentemente ou por vários meses a cada ano submersas em água ou flutuando em sua superfície.” (COOK *et al.*, 1974, *apud* TRINDADE *et al.*, 2010). As ilhas flutuantes podem se formar naturalmente, como acontece no Pantanal brasileiro. Em sua formação inicial, as próprias macrófitas compõem o substrato flutuante, que gradativamente é substituído por solo orgânico. Esse, é decorrente da decomposição das macrófitas, que vai se acumulando em suas raízes e estolões. Como afirmam Pivari, Pott e Pott (2008, p. 564), “De acordo com o estágio sucessional das ilhas flutuantes, estas apresentam diferentes características, como, por exemplo, o tipo de substrato ou sua composição florística.”. Segundo esses autores, em qualquer tipo de substrato são encontradas espécies epífitas associadas a essas macrófitas, que contribuem para a formação do jardim flutuante.

Os Sistemas de Wetlands são usados em diversos países, para a recuperação de rios degradados. Como destaca Vivagreen (2016), seu baixo custo de instalação e operação, sua sustentabilidade ambiental, relacionada ao fato de não usar produtos químicos e sua biomassa poder ser usada como adubo e ração animal, são alguns de seus atrativos. Segundo Rocha (2018), o sistema de jardins flutuantes vem sendo adotado em diversos países como China, Inglaterra, Alemanha e Japão, destacando-se esse último, onde são encontrados mais de 70 mil m² desses sistemas.

Os Sistemas de Wetlands Flutuantes foram desenvolvidos com base nos sistemas clássicos de Wetlands, de maneira a solucionarem o problema relacionado à colmatção do substrato (FROTA, 2016 *apud* ROCHA, 2018, não paginado). Esses sistemas consistem basicamente em um substrato orgânico flutuante que dá suporte a plantas emergentes e um sistema de raízes cobertas por um biofilme onde desenvolvem-se algas, zooplâncton e outros microrganismos (YEH *et al.*, 2015 *apud* ROCHA, 2018, não paginado). Esses sistemas podem ser ancorados no fundo rio ou em suas margens.

A adoção de Wetlands como forma de tratamento alternativo de águas servidas no país, está em expansão. Desde o primeiro projeto desenvolvido em 1982, por Salati e Rodrigues (RUBIM, 2017), vários estudos vêm sendo conduzidos em diferentes condições de águas servidas. Porém, o uso de macrófitas em jardins flutuantes, embora conhecido, ainda é pouco difundido no Brasil. Isso porque há poucos estudos sobre a viabilidade desses sistemas, ou mesmo sobre a sua contribuição para as paisagens urbanas (MENDES, 2018), e sua requalificação. Os ganhos ambientais urbanos relacionados à presença de vegetação nesses sistemas, ainda não são muito bem estudados. Como aponta Mendes (2018), embora o tratamento de esgoto a partir de Wetlands seja conhecido, ainda não há uma visão mais sólida dos benefícios relacionados à contribuição da integração desses sistemas à paisagem urbana, em termos de infraestrutura verde.

Apona-se como problemática nesta pesquisa, a contribuição de Sistemas de Wetlands Flutuantes no tratamento de rios receptores de esgoto sanitário e recuperação dos serviços ambientais desses recursos hídricos. Diversas questões vêm sendo pesquisadas na busca das contribuições possíveis para a revitalização desses recursos. Quais as espécies de vegetação devem ser utilizadas? De qual forma a despoluição se dará? Quais elementos poluentes serão absorvidos por elas? Quais produzem melhores resultados no tratamento fitossanitário e paisagístico? Quais requisitos devem ser adotados para a sua implantação? Quais os custos envolvidos em obras desse tipo de sistema ecológico de tratamento de água. Quais as principais limitações de uso desse tipo de vegetação no processo de regeneração, durante a despoluição dos corpos d'água?

Tendo em vista o alto nível de contaminação e assoreamento das águas brasileiras, tornam-se imprescindíveis os investimentos no desenvolvimento de tecnologias alternativas de baixo custo e boa eficiência para o tratamento das águas. Assim, este trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade do uso de macrófitas ornamentais em jardins flutuantes, para o tratamento de esgoto sanitário em rios receptores desses efluentes. Este estudo foi desenvolvido a partir da pesquisa bibliográfica e documental relacionada ao uso de Wetlands no tratamento de efluentes e recuperação de recursos hídricos.

2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

Os sistemas de Wetlands Flutuantes são formados macrófitas aquáticas, plantas que se desenvolvem em ambientes aquáticos ou saturados. No Brasil, conforme Trindade *et al.* (2010, p. 2), as macrófitas são classificadas em:

- a) **Macrófitas aquáticas submersas enraizadas ou fixas:** são enraizadas e crescem totalmente submersas na água, normalmente emitem as estruturas reprodutivas acima do nível de 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, soldanela-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*.

O Brasil possui uma grande diversidade dessas plantas. Estudos de Trindade *et al.* (2010), revelaram a grande biodiversidade de macrófitas aquáticas presentes na região sul do estado do Rio Grande do Sul, o que evidencia a sua possibilidade de uso em jardins flutuantes. Em seus estudos, foram encontradas 43 espécies de macrófitas, assim distribuídas:

- a) emergentes ou emersas – 50%;
- b) flutuantes livres – 23%;
- c) submersas enraizadas ou fixas – 15%;
- d) submersas livres – 9%;
- e) com folhas flutuantes ou flutuantes fixas – 3%.

Os jardins flutuantes são constituídos basicamente por macrófitas emergentes, fixadas a uma estrutura flutuante, que fica na superfície da água, podendo contemplar um substrato para a fixação das plantas. Uma pesquisa desenvolvida por Rocha (2018), para a remediação de um açude localizado no campus da Universidade Federal de Campina Grande, na Paraíba, a partir de um sistema de jardins flutuantes, apontou resultados promissores relacionados ao uso de estruturas de paletes, adicionados de garrafas pets que auxiliaram na sua flutuação na medida em que as plantas foram crescendo. Os jardins flutuantes foram compostos de plantas aquáticas e ornamentais, que cobriram 10% do espelho d'água, de 400 m². Rigotti (2020) também destaca a necessidade da estrutura do Jardim Flutuante garantir a verticalidade das plantas.

O substrato, além de contribuir para a fixação das plantas, também pode favorecer o desempenho do Sistema. Segundo Rigotti (2020), o substrato pode aumentar a eficiência das plantas, como consequência do aumento do biofilme nos rizomas, favorecido pela presença de material de preenchimento. Além disso, destaca que a presença do substrato poderia aumentar a remoção do fósforo, devido à sua tendência de se ligar a compostos orgânicos e sedimentar. No entanto, Rocha (2018) observa que o substrato, apesar de funcionar como apoio para as plantas e adsorção de partículas, pode interferir nos parâmetros turbidez, DBO e DQO até que o Sistema estabilize.

A capacidade de proliferação das macrófitas é fundamental para o desempenho dos dessas Sistemas, e depende de diversos fatores. Entre esses, destacam-se a temperatura, radiação solar, correnteza, nível de água e ocorrência de chuvas.

Nos trópicos, as altas temperaturas e radiação solar contribuem significativamente para o seu crescimento. Isso pode ser observado, como destacam Cunha-Santino e Bianchini Júnior ([2010?]), pela eutrofização dessas plantas nos reservatórios artificiais construídos no Brasil principalmente após os anos de 1960. A temperatura geralmente favorece o crescimento das populações, porém pesquisas realizadas por Bonocchi (2006) na bacia do rio Itanhaém, no estado de São Paulo, mostraram que existem espécies de macrófitas que em climas tropicais apresentam pouca variação, como é o caso da *Scirpus Californicus*.

A correnteza, o nível de água e a ocorrência de chuvas também têm papel fundamental no desempenho das plantas. De acordo com estudos de Biudes e Camargo (2008), a velocidade da corrente pode favorecer ou desfavorecer o crescimento das macrófitas. A velocidade é favorável quando se trata de macrófitas emergentes, embora velocidades muito elevadas possam danificar as suas raízes. Já a velocidade da corrente se mostra desfavorável às macrófitas flutuantes. Já a variação do nível de água apresenta maior influência para as espécies emergentes e submersas, do que para as flutuantes. A interferências das

precipitações foi observada por Rocha (2018), em um estudo-piloto para a remediação de um açude localizado no campus da Universidade Federal de Campina Grande, na Paraíba,

Diversas pesquisas apontam o potencial das macrófitas na remoção de poluentes. No entanto, diferenças fisiológicas relacionadas à proliferação e mecanismo de fitorremediação frente a diferentes poluentes podem intervir na eficácia dessa remoção.

A análise fitossanitária é determinante da escolha da espécie de planta a ser adotada nos Sistemas de Wetlands. Em seus estudos, Pinheiro (2017) encontrou doze espécies de plantas de ocorrência confirmada no estado de São Paulo, com potencial de fitorremediação de poluentes: *Azolla sp*, *Azolla filiculoides*, *Ceratophyllum demersum*, *Eichhornia crassipes*, *Myriophyllum aquaticum*, *Pistia stratiotes*, *Patamogeton sp*, *Typha sp*, *Typha latifolia*, *Typha domingensis*, *Typha angustifolia* e *Scirpus maritimus*. Dessas, dez são pertencentes ao domínio fitogeográfico Mata Atlântica. Com base nas pesquisas realizadas, a autora destaca existirem poucos estudos sobre a vegetação nativa das áreas úmidas do estado de São Paulo, e que esse conhecimento é fundamental para a recuperação e mesmo proteção fitossanitária dos recursos hídricos. O potencial do Aguapé (*Eichhornia crassipes*) foi evidenciado nos estudos de Coelho (2017).

Ressalta-se que os jardins flutuantes não devem ser restritos a uma espécie de planta. Como afirma Mendes (2018), muitas vezes os jardins fitorremediadores são projetados em monocultura, visando apenas à eficiência na remoção da poluição, desconsiderando-se seus serviços ambientais, ecológicos e paisagísticos. Porém, suas pesquisas mostram que a policultura nesses sistemas proporciona inúmeras vantagens, como o desenvolvimento de diversas comunidades microbianas. Além disso, promove a resiliência do Sistema, pois em condições sazonais que podem diminuir a produtividade da biomassa de uma dada espécie ou mesmo quando da exposição das plantas a pragas, dificilmente haverá o comprometimento de todas as espécies. Além disso, destaca Mendes (2018, p.195), a diversidade de espécies permite a valorização da paisagem em projetos integrados à arquitetura e ao urbanismo locais.

A técnica de fitorremediação aplicada a estruturas projetadas [...], mostrou-se um processo natural, pouco intrusivo, eficiente e amplamente compatível com áreas verdes como jardins e parques, compondo áreas de convívio e lazer, além do enriquecimento da biodiversidade local.

A biodiversidade local também é favorecida pelo resgate da fauna. Como aponta Pinheiro (2017), as macrófitas contribuem para a formação do nicho ecológico necessário ao repouso e reprodução de fauna aquática e avifauna, entre outros.

Além disso, a integração dos recursos hídricos à paisagem urbana permitirá a revitalização dos serviços ambientais desses recursos. Morsch, Mascaró e Pandolfo (2017) apontam que no Brasil pouco se valoriza a paisagem natural e o controle do lançamento de

efluentes nos recursos hídricos, e que a sua reintegração às paisagens urbanas é um grande desafio. Em seus estudos de recuperação e requalificação de rios urbanos, desenvolvidos no rio Passo Fundo, em Passo Fundo, Rio grande do Sul, destacam que a recuperação dos rios urbanos deve se dar a partir de sistemas naturais de tratamento. O uso de jardins flutuantes está entre as metodologias propostas, juntamente com a implantação de vegetação no entorno do rio, formando um parque linear. Como destacam Morsch, Mascaró e Pandolfo (2017, p. 319),

O meio ambiente é convidado a participar da rotina urbana de forma equilibrada, com seus elementos vegetais e aquáticos adequados à manutenção da vida ecológica e humana. Esses ganhos podem atingir também a escala regional, uma vez que a água deixa de ser poluída no meio urbano e passa a abastecer a sua bacia hidrográfica com uma melhor qualidade, favorecendo todos que dela dependem para viver.

A aplicação de macrófitas na revitalização de rios e córregos, por meio de Wetlands Flutuantes vem sendo estudada, principalmente em escala piloto, precisando ser ampliados esses estudos em escala real (YEH *et al.*, 2015 *apud* ROCHA, p. 18, não paginado). No Quadro 1 são apresentados casos de aplicação em escala real.

Quadro 1 – Casos e exemplos do uso de plantas como meio para revitalização de córregos e rios poluídos

Local	Finalidade	Dados técnicos
Córrego Cheonggyecheon (Seul, Coreia do Sul) ¹	Melhorar a conectividade entre os lados norte e sul da cidade	- 5,8 km de extensão do canal - sistema utilizado – Floating Riverbanks, que tem a possibilidade de ser ancorado nas margens dos rios e possuem um sistema de regulação que faz com que o sistema se adapte com a alteração do nível de água.
Canal Paco (Filipinas) ²	Limpeza e restauração do córrego	- Foram utilizadas ilhas flutuantes em estruturas cilíndricas. -Aproximadamente 110 m ² de cobertura de plantas aquáticas. -2,9 km de extensão do canal. -Sistema utilizado – Living Machine.
Parc du Chemil de l'Île (França) ³	Recuperar a qualidade do rio Sena	- sistema de jardim filtrante com 145.000 m ² . - Composto por 4 etapas. -Cada etapa do processo é utilizada espécies específicas de plantas com suas devidas funções. - DBO (5mg/l) de mais que 5 para menor que 3 depois da água passar pelos jardins, assim com o oxigênio dissolvido(mg/l) que passou de 1,5 para mais de 7, o oxigênio saturado (mg/l) passou de menos 50 para mais de 90 e o amônio foi de mais de 10 para menos de 1,5
Rio Vilaine Rennes – França ⁴	Recuperar a qualidade do rio	- tecnologia Floating Riverbanks - área de 658 m ² na margem do rio - por 268 módulos de ilhas flutuantes, mais de 6000 plantas

Local	Finalidade	Dados técnicos
Canal de Buangkok (Singapura) ⁵	Análise de três espécies para a remoção de poluentes (alface d'água, capim-água e aguapé.)	<ul style="list-style-type: none"> -Pesquisa realizada pela universidade tecnologia e design de Singapura, universidade tecnológica de Nanyang e PUB (Agência Nacional de Água de Singapura) -As plantas foram colocadas em gaiolas de 6x6m -O capim e o aguapé foram selecionados devido ao seu potencial de fitorremediação e o alface d'água por ser uma planta nativa da região e adequado para condições alagadas -A alface d'água não lidou bem sob a luz solar - Taxa média de remoção de fosforo de 7,5 mg para o aguapé e 1mg para capim – água. - A qualidade da água no período de amostragem nunca excedeu 1,5 mg/l para nitrogênio e 0,12mg/l para fosforo.

Fonte: o autor, a partir de Licheski (2018)¹, Agnelli (2014)², Pinheiro (2017)³, Biomatrix Water ([2017])⁴, Yong e Tan (2014)⁵.

Diversos benefícios foram observados pela melhoria da qualidade das águas pelos sistemas de Wetlands nos casos indicados. Na Coreia do Sul, em Seul, a intervenção no córrego Cheonggyecheon possibilitou a ampliação da rede de transporte, aumento da biodiversidade, aumento de 15,1% em números de passageiros de ônibus e 3,3% em passageiros de metrô, aumento do número de turistas, valorização de 30 a 50% das propriedades da região e aumento da quantidade de empresas em 3,5% (REIS; SILVA, 2015). Os resultados indicam os benefícios permanentes a longo prazo.

Observa-se que além de ser uma forma de tratamento de esgotos, seu uso em corpos d'água receptores desses efluentes possibilita ainda a sua recuperação. Em projeto criado e executado pela empresa escocesa Biomatrix Water, a tecnologia de tratamento ecológico despoluiu o canal Paco, em Manila, nas Filipinas. Este canal recebia despejo de resíduos, lixo e esgoto, e, a partir do uso de jardins flutuantes, foi despoluído e revitalizado (MACIEL, 2014).

No caso do Parc du Chemil de l'Île situado em Nanterre, no subúrbio de Paris, o projeto foi criado devido à alta carga de poluentes presente rio Sena. Inaugurado em 2006, o sistema adotado contempla jardins filtrantes adjacentes, de fitorremediação. Segundo Mell (2017 *apud* MORSCH; MASCARO; PANDOLFO, 2017, p. 308), o rio Sena possui 1.800 m² de jardins flutuantes, distribuídos em cinco ilhas, conectadas por meio de pontes. Essas ilhas possuem plantas aquáticas e gramíneas, em estruturas flutuantes metálicas. A recuperação das águas ocorre em 4 etapas (SARAIVA 2011 *apud* PINHEIRO, 2017, p. 130), que compreendem o tratamento e armazenamento de 30 mil metros cúbicos de água do rio. Na primeira etapa, os jardins tratam os compostos orgânicos, que sofrem sedimentação e degradação na zona da rizosfera. Na segunda etapa, é feita a retirada de patógenos. Na terceira etapa, plantas da espécie *Nymphaea* elevam as taxas de oxigênio na água, de 3 mg/l para 9 mg/l. Na quarta e última etapa é feito um armazenamento da água tratada que é

devolvida para o rio Sena no caso de aumento de sua poluição, de maneira a manter os níveis de oxigênio nas águas necessários à preservação da vida aquática. Como destaca Jacquet¹ (GLOBO, 2011), o princípio do Parque é ser um estoque de água limpa que de forma simultânea trata a água poluída do rio Sena e embeleza local com jardins inspirados nos jardins de Giverny do pintor Claude Monet.

Uma pesquisa conduzida por Rocha, Santos e Carvalho ([2016]), com o processo de jardins filtrantes desenvolvidos pela Phytoestore, apontou que o custo de implantação de um jardim filtrante é semelhante ao de um tratamento convencional. Porém, o custo de operação do sistema convencional é muito mais alto. Segundo Thierry (GLOBO, 2011) o uso de jardins filtrantes reduz em 30% os custos do tratamento do esgoto, comparativamente aos métodos tradicionais. Segundo ele, o investimento não chega a ser maior do que o valor de um projeto paisagístico. A sua manutenção representa de 10 a 20% do custo de operação de uma estação de tratamento tradicional, sendo que no caso dos jardins filtrantes os resíduos gerados na manutenção podem ser aproveitados como adubo para plantas. Segundo Maciel (2014), os jardins flutuantes contemplados no canal Paco, em Manila, nas Filipinas, tinham cerca de 110m², a um custo inferior à metade do custo de tratamentos convencionais de esgoto.

Quatro empresas nacionais se destacam no tratamento de efluentes sanitários a partir de medidas mais sustentáveis que os métodos tradicionais, utilizando plantas como principal solução:

- a) Wetlands Construídos²;
- b) Rotária do Brasil³;
- c) L & L Engenharia ambiental⁴;
- d) Fluxo ambiental: Saneamento Inteligente⁵.

A Wetlands Construídos produz três tipos de Wetlands: UGL Wetlands, que tem como função a redução de despesas operacionais (OPEX) na gestão de lodos; a ETE Wetlands Mineração, que tem como função a redução de OPEX no tratamento de águas de mineração; e a ETE Wetlands, voltada para a redução de OPEX no tratamento de efluentes sanitários. Segundo a Empresa, a ETE Wetlands tem uma eficiência > 90% na remoção de DBO, > 80% na remoção de DQO e > 60% na remoção de N-NH₄, necessitando apenas de 0,8 a 2 m² de

¹ Jacquet Thierry, arquiteto paisagista e dono da empresa Phytoestore, em entrevista.

² Disponível em: <https://www.wetlands.com.br/>.

³ Disponível em: <http://brasil.rotaria.net/produtos/wetland/>.

⁴ Disponível em: <https://lengenhariaambiental.com.br/>.

⁵ Disponível em: <https://www.fluxoambiental.com.br/>.

área / equivalente populacional (160 L de efluente/hab. x dia), além de não necessitar de mão de obra especializada. Desse modo, reduz ainda mais o custo de implantação e manutenção.

Além dessas empresas brasileiras, a empresa francesa Phytorestore⁶ se destaca com trabalhos realizados no mundo e no Brasil. No país desde 2009, em parceria com Alliance Verte, empresa focada em soluções sustentáveis, a Phytorestore tem diversos trabalhos no Brasil. Entre eles, destaca-se o projeto de jardim filtrante instalado no centro de pesquisa e inovação da L'Oréal localizado no estado do Rio de Janeiro (L'ORÉAL, 2017). O objetivo desse projeto foi tratar águas pluviais e os efluentes industriais e sanitários, permitindo a sua reutilização em irrigação e banheiros da empresa. Esse Projeto resultou em uma redução de 40% do consumo de água, recebendo o prêmio internacional Green Solution Awards em 2017, durante a Conferência Mundial do Clima (COP 23). Em trabalhos realizados no Brasil, a empresa cita alguns exemplos de espécies de plantas que foram utilizadas: *Crinum erubescens* L, *Canna glauca* L, *Colocasia gigante*, *Oryza Sativa* L e a *Thypha angustifolia*.

Os estudos apresentados apontam a possibilidade de uso dos sistemas de Wetlands flutuantes como meio de revitalização e integração dos recursos hídricos à paisagem urbana. Porém, diversos aspectos devem ser contemplados na análise de sua viabilidade, que possam superar eventuais limitações. Entre eles, Rigotti (2020) destaca: análises hidráulicas e hidrológicas que permitam verificar a localização exata para a instalação desses jardins; baixo tempo de retenção hidráulica, presença de poluentes na forma particulada, restabelecimento da integridade ecológica dos rios urbanos e validação dos resultados obtidos em escala real. Luqman *et al.* (2013 *apud* ROCHA, 2018, não paginado) apontam:

(1) processo demorado, que depende do crescimento das plantas; (2) plantas que absorvem metais pesados e tóxicos podem pôr em risco os animais e contaminar a cadeia alimentar; (3) cuidado durante a seleção das espécies de plantas para que a fitorremediação seja bem-sucedida e eficaz; (4) utilização apenas em corpos d'água com baixo nível de contaminantes.

A solução para essas questões pode ser encontrada na ampliação do conhecimento em relação a esses sistemas. Como destacam Faulwetter *et al.* (2011 *apud* ROCHA, 2018, não paginado),

“[...] em comparação com outros sistemas de tratamento do tipo wetlands, o design das ilhas flutuantes baseia-se em informações muito limitadas e a maioria das aplicações se mostram como únicas até para os parâmetros mais básicos como tamanho, grau de flutuabilidade, meios de plantação, seleção de plantas, etc.”.

Além disso, as macrófitas costumam proliferar de forma indesejada nos reservatórios, sendo assim consideradas pragas. Sua proliferação causa prejuízos na geração de

⁶ Disponível em: https://www.phytorestore.com/images/_doc/plaquettes/Plaque%20JF%20-%20bresilien.pdf.

eletricidade em reservatórios de hidrelétricas e aos usos múltiplos de alguns ecossistemas aquáticos. Dessa forma, há a necessidade de controle e estudos para conhecimento sobre as condições ambientais do local a ser implantado o sistema de jardins flutuantes. Como destacam Marques e Américo-Pinheiro (2018, p. 392),

Apesar de utilizar plantas facilmente encontradas no meio ambiente, para um bom funcionamento do sistema, o modelo precisa ser bem projetado, e principalmente, sua manutenção deve ser contínua, pois, as espécies de plantas aquáticas geralmente possuem uma significativa produção de biomassa e crescimento.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de macrófitas ornamentais em jardins flutuantes, para o tratamento de esgoto sanitário em rios receptores desses efluentes se mostra promissor no quesito econômico, paisagístico e ecológico, como foi possível observar nesta pesquisa.

O potencial do uso de jardins flutuantes na revitalização dos recursos hídricos poluídos vem sendo objeto de muitas pesquisas. Os resultados em geral apontam para o potencial da adoção desses Sistemas. Esses, contribuem não somente para a decomposição da carga orgânica pelos microrganismos presentes no sistema de raízes, mas também para a remoção de contaminantes e remoção física dos sólidos em suspensão. Os processos de fitorremediação observados nesses Sistemas, assim como em Wetlands Construídos, se assemelham aos observados em sistemas naturais.

Cabe observar que o uso de macrófitas em Sistemas de Wetlands no tratamento de esgoto sanitário vem sendo pesquisado e adotado em diversos países, como alternativa viável para atender as demandas por saneamento básico. No entanto, uso de sistemas de Wetlands Flutuantes nos recursos hídricos, para a sua revitalização, ainda é recente. Há a necessidade de adaptação desses estudos para os sistemas flutuantes, a replicação das pesquisas desenvolvidas e a avaliação desses Sistemas em escala real.

Existem ainda desafios a serem superados, para a viabilização do uso em ampla escala desses Sistemas em escala real, destacando-se: os aspectos hidráulicos e hidrológicos dos canais fluviais, sazonalidade climática, concentração de poluentes, estabilidade ecológica.

Para estudos futuros, sugere-se uma avaliação integrada dos aspectos que intervêm no desempenho desses Sistemas, a partir de um protótipo de um Floating Riverbanks, aplicado em um córrego receptor de esgoto, de maneira a obter-se dados em escala real. A avaliação deve ser feita a partir de amostras mensais da qualidade das águas no período de um ano, de maneira a contemplar-se as diferentes estações climáticas.

4 REFERÊNCIAS

AGNELLI, Maria Sueli S. S. **Revitalização de rios urbanos**: estudo de caso: Estero de Paco – Manila. (Seminário Disciplina PHA2537 – Água em Ambientes Urbanos) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://crisanepietrobon.webnode.com//revitalizacao-de-rios-urbanos-estero-de-paco-manila/>. Acesso em: 20 fev. 2021.

BIOMATRIX WATER. **The world's largest floating riverbank is built in Rennes, France**. [2017]. Disponível em: <http://www.biomatrixwater.com/the-worlds-largest-floating-riverbank-in-rennes-france/>. Acesso em: 12 ago. 2021.

BIUDES, José F. V.; CAMARGO, Antonio F. M. **Estudos dos fatores limitantes à produção primária por macrófitas aquáticas no Brasil**. 2008. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2880796>. Acesso em: 18 maio 2020.

BONOCCHI, Kelly S. L. **Dinâmica populacional das macrófitas aquáticas emersas *Spartina alterniflora loiseleur*, *Crinum procerum carey* e *Scirpus californicus steud*, na Bacia do Rio Itanhaém, SP**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, Área de Concentração: Biologia Vegetal de Biociências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87861/bonocchi_ksl_me_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 19 set. 2021.

GLOBO. Globonews. Cidades e Soluções. **Jardins filtrantes**. Paris, 2011. Color. Legendado. Disponível em: <https://youtu.be/qtalw8hb0kw>. Acesso em: 19 jan. 2020.

COELHO, José C. **Macrófitas aquáticas flutuantes na remoção de elementos químicos de água residuária Botucatu**. Dissertação. (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/151881/coelho_jc_me_bot.pdf?sequence=3. Acesso em 22 maio 2021.

CUNHA-SANTINO, Marcela B.; BIANCHINI JÚNIOR, Irineu. **Colonização de macrófitas aquáticas em ambientes lênticos**. [2010?]. Disponível em: [http://www.ablimno.org.br/boletins/pdf/bol_39\(1-2\).pdf](http://www.ablimno.org.br/boletins/pdf/bol_39(1-2).pdf). Acesso em: 31 mar. 2019.

LICHESKI, Kleber José. **Proposta de aplicação de Wetlands construídos para a valorização paisagística e recuperação da qualidade ambiental do rio Belém**. 2018. 73 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15958/1/CT_CECONS_VI_2018_11.pdf. Acesso em: 13 jul. 2020.

L'ORÉAL, **Com projeto de tratamento natural de resíduos no Centro de Pesquisa & Inovação, L'Oréal Brasil recebe prêmio global Green Solution Awards**. [2017]. Disponível em: <https://www.loreal.com/pt-br/brazil/news/grupo/com-projeto-de-tratamento-natural-de-residuos-no-centro-de-pesquisa--inovacao-loreal-brasil-recebe-p/>. Acesso em: 14 fev. 2021.

MACIEL, Marina. **Sistema de tratamento ecológico recupera rios poluídos e cria jardins flutuantes**. 11 jun. 2014. In: SUPER INTERESSANTE. BLOG Planeta Sustentável.

Disponível em: <https://super.abril.com.br/blog/planeta/sistema-de-tratamento-ecologico-recupera-rios-poluidos-e-cria-jardins-flutuantes/>. Acesso em: 22 mar. 2019.

MARQUES, Márjori B. L.; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana H. P. **Wetlands**: uma alternativa ecológica para o tratamento de efluentes. Trabalho apresentado no 2. Simpósio Brasileiro On-Line de Gestão Urbana. Unesp Bauru, dez. 2018. Disponível em: <https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/4372/form231015979.pdf>. Acesso em: 19 set. 2021.

MENDES, Maria Estela R. **A fitorremediação como estratégia de projeto para a sustentabilidade urbana**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/332043>. Acesso em: 27 mar. 2019.

MORSCH, Maiara Roberta S., MASCARÓ, Juan José; PANDOLFO, Adalberto. Sustentabilidade urbana: recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 305-321, out./dez. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v17n4/1678-8621-ac-17-04-0305.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2019.

PINHEIRO, Maitê B. **Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo**: identificação de critérios para seleção de espécies. Dissertação. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16135/tde-27062017-141958/en.php>. Acesso em: 29 mar. 2019.

PIVARI, Marco Otávio; POTT, Vali Joana; POTT, Arnildo. Macrófitas aquáticas de ilhas flutuantes (baceiros) nas sub-regiões do Abobral e Miranda, Pantanal, MS, Brasil. **Acta bot. bras.**, [s.L.], v. 22, n.2, p. 563-571, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abb/v22n2/a23v22n2.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2019.

REIS, Lucimara F.; SILVA, Rodrigo L. M. da. Decadência e renascimento do Córrego Cheong-Gye em Seul, Coreia do Sul: as circunstâncias socioeconômicas de seu abandono e a motivação política por detrás do projeto de restauração. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, São Paulo, jan. 2015. não paginado. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/287107702_Decadencia_e_renascimento_do_Corrrego_Cheong-Gye_em_Seul_Coreia_do_Sul_as_circunstancias_socioeconomicas_de_seu_abandono_e_a_motivacao_politica_por_detras_do_projeto_de_restauracao. Acesso em: 20 maio 2021.

RIGOTTI, Jucimara A. **Desenvolvimento e avaliação de um wetland construído flutuante como solução inspirada na natureza para revitalizar rios urbanos**. Tese (doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2020/10/001113801.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ROCHA, Elis Gean. **Uso de jardins flutuantes na remediação de águas superficiais poluídas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Campina Grande, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1600>. Acesso em: 19 set. 2021.

ROCHA, Mariana Ferreira; SANTOS, Bernadete; CARVALHO, Gilson Lemos de. **A biotecnologia dos jardins filtrantes na despoluição da Lagoa da Pampulha/ MG.** [2016] Disponível

em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/a_biotecnologia_dos_jardins_filtrantes_na_despoluicao_da_lagoa_da_pampulha.pdf. Acesso em: 5 fev. 2020.

RUBIM, Cristiane. Tratamento de efluentes com Wetlands e jardins filtrantes construídos artificialmente. **Revista TAE**, ed. 34, dez./jan. 2017, ano 6. Disponível em:

<https://www.revistatae.com.br/Artigo/36/tratamento-de-efluentes-com-wetlands-e-jardins-filtrantes-construidos-artificialmente>. Acesso em: 10 jul. 2021.

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://www.repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/436/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20e%20import%C3%A2ncia%20das%20macr%C3%B3fitas%20aqu%C3%A1ticas%20com%20%C3%AAnfase%20nos%20ambientes%20l%C3%ADmnicos%20do%20campus%20Carreiros%20-%20FURG,%20Rio%20Grande,%20RS..pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 mar. 2019.

VIVAGREEN. **Empresas utilizam wetlands (jardins filtrantes) no tratamento de esgoto.** 13 fev. 2016. Disponível em: <https://vivagreen.com.br/agua/empresas-utilizam-wetlands-jardins-filtrantes-no-tratamento-de-esgoto/>. Acesso em: 16 mar. 2019.

YONG, J.; TAN, S. N. Improving water quality through water plants: the use of water plants can reduce excessive nutrient levels at waterways in Singapore. In: SINGAPORE. Singapore's National Water Agency. **Innovation in Water**. Singapore, 2014. v. 6. Disponível em: https://www.pub.gov.sg/Documents/Vol_6.pdf. Acesso em: 17 abr. 2020.

Contatos: iigor.santos3@gmail.com e analucia.pinhoeiro@mackenzie.br