

Reservatórios multifuncionais através de soluções baseadas na natureza: uma nova geração de reservatórios como estratégia de enfrentamento às mudanças climáticas. Estudo de caso da Bacia do Pirajussara-SP

Multifunctional reservoirs through Nature-based Solutions: a new generation of reservoirs as a strategy to combat climate change. Case study of the Pirajussara watershed in São Paulo

Juliana Alencar^{1,2} , Paulo Renato Mesquita Pellegrino³ , José Rodolfo Scarati Martins¹ 

¹Escola Politécnica – Poli, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, Brasil. E-mails: julianaalencar@usp.br, scarati@usp.br

²Instituto de Pesquisas Ecológicas para Conservação da Água e do Solo – IPEAS, São Paulo, SP, Brasil. E-mails: julianaalencar@ipeas.com.br

³Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: prmpelle@usp.br

Como citar: Alencar, J. C., Pellegrino, P. R. M., & Martins, J. R. S. (2024). Reservatórios multifuncionais através de soluções baseadas na natureza: uma nova geração de reservatórios como estratégia de enfrentamento às mudanças climáticas. Estudo de caso da Bacia do Pirajussara-SP. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 21, e14. <https://doi.org/10.21168/reg.v21e14>

RESUMO: A segurança hídrica da RMSP foi articulada historicamente através do uso de estruturas baseadas na *hard engineering*, com a implantação de canalizações e de reservatórios de detenção, chamados popularmente de “piscinões”. Os reservatórios de detenção brasileiros apesar de atuarem de forma significativa na atenuação dos picos de vazões, tem pouco ou nenhum efeito sobre a qualidade das águas. Atualmente a Região Metropolitana de São Paulo conta com 53 reservatórios do tipo, que totalizam um volume de amortecimento de 9,95 milhões de m³. A maioria dos municípios brasileiros ainda não atingiu a universalização dos serviços de coleta e tratamento de esgotos e, portanto, a carga recebida pelo sistema de drenagem através desta fonte ainda é significativa. Além disso, devido à inexistência de um sistema de controle de cargas difusas, os reservatórios de detenção recebem grandes quantidade de poluentes durante suas operações. Só em 2019 a Prefeitura do Município de São Paulo retirou 170 toneladas de sedimentos e resíduos dos reservatórios da cidade. Além disso, estes reservatórios são de fato utilizados apenas durante alguns meses do ano, no período chuvoso, permanecendo a maior parte do tempo sem uso. A concepção inicial destas estruturas previa a implantação de equipamentos de lazer em seu interior, que poderiam ser utilizadas no período de estiagem. No entanto devido ao contexto de degradação das águas, tal uso fica inviabilizado. Desta forma é necessária a adoção de novas estratégias que tornem esses reservatórios multifuncionais, permitindo sua utilização para além do controle quantitativo das águas. O presente estudo apresenta estratégias para a conversão dos reservatórios de detenção em unidades de tratamento das águas pluviais através de Soluções Baseadas na Natureza e a integração destas estruturas à paisagem urbana, utilizando, para tanto, técnicas consolidadas nas referências internacionais e adequadas ao contexto brasileiro. Desta forma, pretende-se contribuir para a construção de cidades mais adaptadas e resilientes às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Reservatórios Multifuncionais; Drenagem Sustentável; Soluções Baseadas na Natureza; Mudanças Climáticas; Cidades Resilientes.

ABSTRACT: The water security of the São Paulo Metropolitan Region (RMSP) has historically been addressed through the use of hard engineering-based structures, involving the implementation of conduits and detention reservoirs, colloquially known as “piscinões”. Despite playing a significant role in attenuating peak flow rates, Brazilian detention reservoirs have little to no effect on water quality. Currently, the São Paulo Metropolitan Region boasts 53 such reservoirs, totaling a buffering volume of 9.95 million m³. Most of Brazilian municipalities have yet to achieve universal

Recebido: Janeiro 28, 2024. Revisado: Julho 16, 2024. Aceito: Julho 17, 2024.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a [licença Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

access to sewage collection and treatment services, and thus, the load received by the drainage system from this source remains significant. Furthermore, due to the absence of a diffuse load control system, detention reservoirs accumulate large quantities of pollutants during their operation. In 2019 alone, the São Paulo City Hall removed 170 tons of pollutants from the city's reservoirs. Moreover, these reservoirs are in fact used only during the rainy months, remaining largely unused for the rest of the year. The initial design of these structures anticipated the implementation of recreational facilities within them, which could be utilized during the dry season. However, due to the context of water degradation, such use is rendered unfeasible. Therefore, the adoption of new strategies that render these reservoirs multifunctional, allowing their use beyond quantitative water control, is necessary. This study presents strategies for converting detention reservoirs into stormwater treatment units through Nature-Based Solutions and integrating these structures into the urban landscape, using techniques that are well-established in international references and suitable for the Brazilian context. Thus, it aims to contribute to the development of cities that are more adapted and resilient to climate change.

Keywords: Multifunctional Reservoirs; Sustainable Drainage; Nature-Based Solutions; Climate Change; Resilient Cities.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização, principalmente o não planejado e informal, resulta em alterações no balanço hídrico da bacia hidrográfica fazendo com que haja aumento das taxas de escoamento superficial e da velocidade deste escoamento. As águas que antes eram infiltradas ou trafegavam de forma lenta pela paisagem, passaram a ser transportadas rapidamente através da bacia até o talvegue gerando sobrecarga no sistema de macrodrenagem. Além disso, no contexto urbano, as várzeas e fundos de vale são ocupados, fazendo com que as vazões de pico provenientes dos eventos extremos não tenham como se acomodar sem causar danos à cidade. Essas mudanças resultaram historicamente na rápida transferência das águas para as áreas a jusante, sobrecarregando o sistema de macrodrenagem e aumentando os riscos de inundações (Chen et al., 2015; Gizaw & Gan, 2016; Gangrade, 2019; Foody, 2008; McFarland et al., 2019). Além disso, a situação é agravada dentro do contexto das mudanças climáticas (David & Schmalz, 2020; Huang & Pathirana, 2013) e pela ausência de espaços verdes que poderiam atuar como zonas de infiltração natural, ajudando a mitigar o escoamento superficial (Courty et al., 2018).

O contexto das mudanças climáticas já vivenciado, onde há um aumento dos extremos climáticos, agrava ainda mais a situação, aumentando o risco hidrológico das bacias hidrográficas. Segundo as projeções atuais, as mudanças climáticas resultam em uma maior frequência e intensidade de eventos extremos, como secas e inundações (Huntington, 2006; Trenberth, 2011; Farmer & Vogel, 2016; Shabestanipour et al., 2023).

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN) e as técnicas de drenagem sustentável (SuDS) são apontadas como essenciais para a adaptação das cidades às mudanças climáticas. São técnicas, dispositivos e estruturas projetadas utilizando elementos naturais, reduzindo assim o escoamento superficial e a poluição da água. Essas soluções não apenas controlam a quantidade e a qualidade das águas, mas também aumentam a resiliência urbana aos eventos extremos (Guptha et al., 2022; Viavattene & Ellis, 2013; Ferreira et al., 2019). A aplicação de SBN em áreas urbanas inclui a utilização de biovaletas, trincheiras de infiltração, jardins de chuva, reservatórios vegetados, *Wetlands* construídos e telhados verdes (Leng & Zhang, 2021). Essas técnicas são eficazes na redução do volume de enchentes, na melhora da qualidade da água e no aumento da recarga de águas subterrâneas, além de proporcionarem benefícios adicionais como a regulação do clima urbano, melhoria da qualidade do ar e suporte à biodiversidade (Castillo & Crisman, 2019; Bolliger & Silbernagel, 2020).

A segurança hidrológica da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), bem como de outras áreas densamente ocupadas no Brasil, foi originalmente construída com base na lógica da rápida drenagem das águas para jusante, através do aumento da capacidade de transporte pela ampliação das calhas dos cursos d'água. Com o avanço da urbanização sob as calhas dos cursos d'água e a dificuldade em realizar novas ampliações das seções hidráulicas, nas últimas décadas foram inseridos no sistema as estruturas de detenção das águas, chamados popularmente de piscinões, com o objetivo de reservar parte da vazão excedente e diminuir a sobrecarga nos canais principais, protegendo assim a cidade dos eventos de inundação.

As novas vazões de pico nas bacias urbanizadas resultam em diversas modificações nos processos geomorfológicos e ecológicos que resultam por sua vez, segundo estudos conduzidos em ecossistemas aquáticos (Sear, 1994; Findlay & Taylor, 2006; Alencar et al., 2015; Xu et al., 2019; Mello et al., 2020; Bartlett & Dedekorkut-Howes, 2023), na diminuição da qualidade ambiental e na perda de resiliência

do sistema como um todo. Além disso, as áreas urbanizadas apresentam elevado potencial de geração de cargas poluidoras em função das deficiências nos sistemas de coleta e transporte de águas residuárias, do manejo deficiente de resíduos de origem diversas espalhados ao longo da bacia hidrográfica, fazendo com que o escoamento superficial transporte elevadas cargas poluentes, que são recepcionadas pelos cursos d'água gerando degradação da qualidade. Essas cargas poluentes tendem a se acumular nos reservatórios de retenção, tornando difícil seu aproveitamento nos períodos de estiagem como estruturas de lazer, como se idealizou inicialmente.

Diante deste contexto, neste estudo é realizada uma fundamentação teórica sobre os tipos de reservatórios adotados comumente, bem como do contexto geral sobre sua utilização nas cidades brasileiras. Além disso, é proposto através do estudo de caso novos modelos para os reservatórios, constituindo estruturas multifuncionais que atuam não somente no controle da quantidade, mas também na qualidade e como estruturas paisagísticas integradas e promotoras de áreas de lazer para a população.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O contexto de urbanização resulta como visto na necessidade de armazenamento do volume excedente de forma a garantir a segurança hidrológica da população. Os sistemas tradicionais de drenagem utilizam, na tentativa de atender ao aumento do escoamento gerado pela urbanização, a ampliação das calhas dos cursos d'água para aumentar a capacidade de transporte, e a construção de grandes reservatórios de retenção, para armazenamento temporário, ou seja, o armazenamento natural que antes existia de forma distribuída na paisagem é substituído pelo armazenamento artificial em grandes estruturas hidráulicas. A Figura 1 resume tal processo de perda do armazenamento natural na bacia hidrográfica e a necessidade do armazenamento artificial em estruturas hidráulicas.



Figura 1 - Armazenamento natural na bacia hidrográfica x Armazenamento artificial em estruturas hidráulicas.

Fonte: Dos autores.

Os reservatórios de retenção podem ser divididos em duas categorias, em função de sua localização em relação ao curso d'água, os reservatórios *in line*, assim chamados por serem atravessados pelo escoamento, e os reservatórios *off line* (Ngo et al., 2016; Shen et al., 2021; Harris County Flood Control District, 2020; Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2023). Estes últimos são aqueles implantados fora do leito do curso d'água ou do eixo do canal, e têm o seguinte funcionamento básico: uma estrutura lateral, na maioria das vezes de concreto, com formato variável em função do terreno em que foi implantada, que recebe as águas escoadas provenientes do canal de drenagem por gravidade, e devolve as águas armazenadas ao canal após o evento chuvoso através de um sistema de bombeamento, como mostrado no esquema da Figura 2. Já os reservatórios de retenção do tipo *in line*, são aqueles localizados junto ao eixo principal do curso d'água, e o amortecimento se dá através da instalação de um barramento que limite a vazão de saída do canal, desta forma, estes reservatórios dispensam sistemas de bombeamento, como exemplificado na Figura 3.

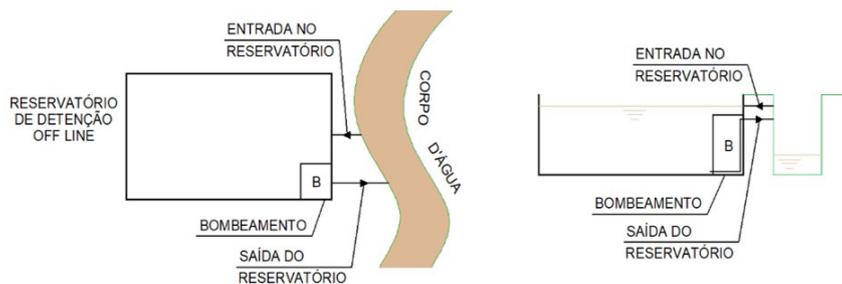


Figura 2 - Funcionamento genérico de um reservatório de retenção tipo *off line*.
Fonte: Dos autores.



Figura 3 - Reservatório de retenção tipo *in line* na bacia do Córrego Aricanduva.
Fonte: Dos autores.

Tais estruturas hidráulicas consistem em sua grande maioria em grandes reservatórios que são operados somente na ocorrência de eventos hidrológicos extremos, permanecendo a maior parte do tempo vazios. A princípio, havia a pretensão de utilizar o espaço livre no interior dessas estruturas como área de lazer no período de estiagem, no entanto tal pretensão nunca se concretizou de forma efetiva devido aos problemas sanitários existentes, como a presença de resíduos sólidos e esgotos trazidos com as águas pluviais durante as operações dos reservatórios.

Como o canal transporta também diversas cargas poluentes de origem difusa e cargas pontuais mal gerenciadas na bacia hidrográfica, o reservatório acaba recebendo e retendo boa parte desta carga. A Figura 4 mostra a execução de limpeza em um dos reservatórios da bacia do Aricanduva, onde é possível observar o material retido no interior da estrutura, notadamente sólidos grosseiros e sedimento.



Figura 4 - Execução de limpeza em um dos reservatórios da bacia do córrego Aricanduva em São Paulo.
Fonte: Dos autores.

Segundo a PMSP no ano de 2019 foram retiradas 170 toneladas de resíduos dos piscinões da cidade de São Paulo, considerando que a capacidade atual dos 33 piscinões existentes no município é de 5,3 milhões de m³ (São Paulo, 2023), estima-se, portanto, uma produção anual de 0,32 Kg de resíduo para cada m³ de capacidade de armazenamento do sistema.

Apesar da eficiência dos reservatórios de retenção (piscinões) no controle de inundações a jusante, o alto custo de implantação (R\$136/m³ para piscinões abertos e R\$432/m³ para piscinões fechados, segundo Tomaz (2002) torna necessário e conveniente integrar novas funcionalidades à estas estruturas considerando que os impactos da urbanização não se dão apenas pelo aumento dos riscos associados às inundações, mas também pela qualidade ambiental da bacia como um todo. Além da questão sanitária em seu contexto maior, outro ponto a ser investigado é a necessidade de integração destas estruturas à paisagem urbana, já que atualmente os reservatórios são sinônimos de degradação paisagística devido à sua estética, ao acúmulo de resíduos e o mal cheiro resultante.

Também presente no cenário deste estudo, o impacto das mudanças climáticas sobre a infraestrutura existente nas áreas urbanas não pode ser negligenciado. De acordo com o Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Instituto Astronômico, Geofísico e de Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (USP), as modelagens climáticas já realizadas indicam um aumento de 1 a 2° C na temperatura para os períodos de 2010-2030, 2 a 3° C para 2040-2050 e 4° C para 2080-2090 na RMSP (Centro de Ciência do Sistema Terrestre, 2010).

Com relação às precipitações, os resultados indicam um aumento de 30% nas precipitações da RMSP entre 2030-2060, já para 2080-2090 os resultados indicam uma redução geral da precipitação na RMSP, com exceção da região oeste da RMSP que sofre um aumento de 10%. Apesar desta redução geral, há uma tendência no aumento da incidência de eventos extremos de precipitação, ou seja, ainda que a precipitação média seja reduzida com o passar do tempo (2080-2090), isto é provocado pelo aumento de dias secos seguidos por chuvas extremas concentradas em poucos dias, o que tornará o sistema existente ainda mais vulnerável (Centro de Ciência do Sistema Terrestre, 2010). O estudo de Schardong & Srivastav (2014) indica um aumento de mais de 30% na ocorrência de eventos extremos na cidade de São Paulo (chuvas com período de retorno de 100 anos).

Marengo et al. (2020) mencionam que, na última década, foram observados de dois a cinco eventos com mais de 50 mm na RMSP, eventos que praticamente não foram observados nas décadas anteriores. Além disso, o estudo revela um aumento da estação seca, que tem se prolongado até outubro nas últimas décadas. Observaram uma tendência no aumento de dias com noite frias e dias mais quentes, favorecendo assim a ocorrência de chuvas convectivas, resultando em aumento da frequência e da intensidade das precipitações extremas. Segundo os autores do estudo, a ocorrência de eventos diários superiores a 100 mm aumentou cerca de seis vezes no período entre 2000 e 2018 quando comparado ao período de 1940 a 1960. Esses eventos extremos resultaram em 168 inundações na RMSP no período 2014-2018.

O CCST (Centro de Ciência do Sistema Terrestre, 2010) aponta que com as mudanças climáticas a RMSP apresenta grande vulnerabilidade à inundação nas áreas de várzeas e nas vias públicas, exposição da população a doenças de veiculação hídrica, danos para o trânsito de veículos, deslizamento de massa em encostas (ocupadas e não ocupadas) e perdas econômicas diversas para a população e para os municípios pela falta de resiliência dos sistemas convencionais adotados.

Diante deste contexto, Moura et al. (2014) ressaltam a importância de novas estratégias para a drenagem de áreas urbanas uma vez que os efeitos das mudanças climáticas globais têm feito com que os eventos chuvosos extrapolem o que foi previsto em projeto de forma que as estruturas convencionais têm tido sua capacidade saturada com maior frequência.

Considerando especificamente os reservatórios de retenção do tipo piscinão, no contexto de mudanças climáticas, estas estruturas entrarão em funcionamento mais frequentemente, aumentando o seu custo operacional. Além disso, haverá o aumento na vulnerabilidade do sistema, já que na ausência das intervenções de manutenção e limpeza que atendam a nova demanda, a capacidade de armazenamento das estruturas pode ser comprometida rapidamente. Desta forma, a conversão destas estruturas hidráulicas em sistemas resilientes, que possibilitem novas estratégias operacionais e que sejam autorreguláveis é de extrema importância.

O conceito de reservatório multifuncional não é novo, ele já foi utilizado primeiramente na construção dos reservatórios *in line* do Emerald Necklace, projetado por Olmsted entre 1878 e 1895, na cidade de Boston nos EUA. Os reservatórios do parque atuam no tratamento das cargas poluentes trazidas pelo sistema de drenagem do entorno, além de possuir diversas estruturas de integração paisagística e social. O conceito também pode ser observado no desenho do Parque Ibirapuera em São Paulo, concebido

inicialmente por Burle Marx na década de 50 e que atua para o amortecimento das vazões de cheia na bacia do Córrego Sapateiro (Curi, 2017). Atualmente o que se observa nos países onde a gestão das águas urbanas encontra-se mais bem resolvida, como os EUA, Austrália e Europa, é a utilização de reservatórios multifuncionais, que atuam como reservatórios, unidades de tratamento e estrutura paisagística.

Um exemplo atual importante é o reservatório implantado no córrego Thornton, em uma antiga área de estacionamento na cidade de Seattle no EUA, mostrado na Figura 5. Antes da implantação do reservatório, o córrego Thornton estava completamente oculto da paisagem em uma galeria subterrânea. Com a implantação do reservatório de tratamento, a galeria foi desviada para o interior do reservatório a fim de permitir o tratamento da carga de base e nos eventos chuvosos da carga difusa além do uso do reservatório para amortecimento da vazão de pico. O reservatório possui uma série de compartimentos que se destinam à retenção de sedimentos, promoção do tratamento e oxigenação das águas. Além disso o reservatório promove a integração da população através da adoção de passarelas e mirantes, se tornando integrado à paisagem.



Figura 5 – Reservatório de tratamento das águas em Seattle no córrego Thornton.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de SVR Design, s/d.

A cidade de Milão na Itália tem desenvolvido estudos e implantado reservatórios que atuam no controle e tratamento da primeira chuva, que concentra a maior parte da carga poluente trazida pelo escoamento superficial. O *Centro Studi Idraulica Urbana* de Milão recomenda a compartimentação dos reservatórios, englobando um reservatório fechado para armazenamento das águas de primeira chuva, com previsão de armazenamento de 50 m³ por hectare impermeável captado (Yazaki, 2012).

O uso de novos modelos de reservatórios, que possam aliar os sistemas rígidos aos sistemas orgânicos através das Soluções Baseadas na Natureza (SBN's), seria capaz de promover a desejada integração das estruturas *hard engineering* à paisagem urbana e fornecer serviços ecossistêmicos à sociedade. A adoção de SBN's no manejo das águas urbanas é apontada pela IUCN - União Internacional para a Conservação da Natureza (2022) como estratégia necessária para a adaptação das cidades às mudanças climáticas. O termo SBN foi cunhado pela IUCN para reunir o conjunto de técnicas que utilizam sistemas naturais e são empregadas para preservação e conservação de ecossistemas, serviços de adaptação climática, infraestrutura natural, gestão de recursos naturais, entre outros (Cohen-Shacham et al., 2016).

A construção da Infraestrutura Verde e Azul nas áreas urbanas brasileiras através da adoção das SBNs é de fundamental importância para a adaptação das cidades às mudanças climáticas, e podem contribuir para a concretização de alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS - desafiadores da Agenda 2030 das Nações Unidas, como o Objetivo 11 “Cidades e Comunidades Sustentáveis”, o Objetivo 13 “Ação Climática” e o Objetivo 15 “Vida na Terra”.

Diante do contexto exposto, o objetivo do presente estudo foi a seleção de elementos técnicos de projeto para a proposição de modelos para uma nova geração de reservatórios multifuncionais para as áreas urbanas brasileiras que incorpore as técnicas já consolidadas na prática internacional e adequadas ao contexto nacional, mantendo a função de controle quantitativo das águas, já maturada nas últimas décadas, mas adicionando a função de controle qualitativo, viabilizando assim a integração paisagística da estrutura com seu entorno. Para tanto foi utilizado ainda um estudo de caso através da análise da Bacia do Córrego Pirajussara e o Piscinão da Avenida Eliseu de Almeida.

ESTUDO DE CASO

O córrego Pirajussara, mostrado na Figura 6, com uma bacia hidrográfica de 72 km², é um dos mais importantes afluentes do Rio Pinheiros, na região oeste da RMSP. A bacia está localizada nos municípios de São Paulo (37km²), de Taboão da Serra (20 km²) e de Embu das Artes (15 km²). O córrego Pirajussara possui uma extensão total de 18,5km, sendo 6km destes já canalizados, principalmente próximo à foz, onde a bacia é mais densamente ocupada. O piscinão da Avenida Eliseu de Almeida (Figura 7), objeto deste estudo, possui uma capacidade de armazenamento de 113 mil m³ e atualmente recebe as águas do córrego Pirajussara e do Ribeirão Poá e as devolve através de bombeamento para o Ribeirão do Pires, não tendo qualquer atuação no tratamento das cargas afluentes dos eventos chuvosos.



Figura 6 - Bacia do Córrego Pirajussara.
Fonte: Dos autores a partir de Google Earth.

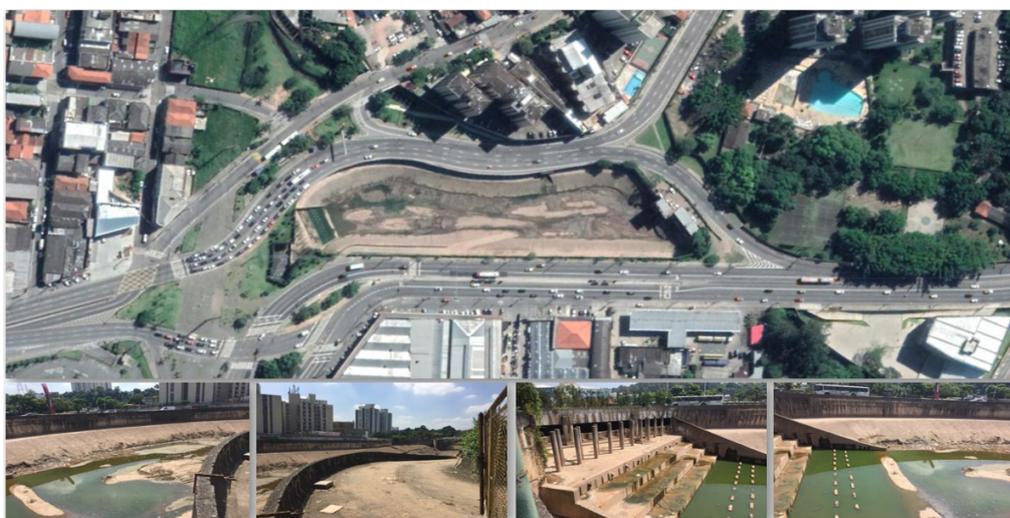


Figura 7 - Situação atual do Piscinão da Av. Eliseu de Almeida, Bacia do Córrego Pirajussara.
Fonte: Dos autores a partir de Google Earth.

As águas dos cursos d'água da bacia encontram-se degradadas devido ao lançamento de esgotos de áreas ainda não plenamente atendidas pela infraestrutura sanitária e por resíduos sólidos mal gerenciados. Além disso, a bacia é classificada como bacia crítica para controle de eventos extremos, possuindo atualmente 6 piscinões em operação (2 em Taboão da Serra, 1 em Embu e 3 em São Paulo), totalizando 1080 mil m³ de volume de reservação (Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2023).

Atualmente a RMSP conta com 53 reservatórios de retenção do tipo piscinão, dos quais 27 são operados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e os demais pelos municípios da RMSP, o que corresponde a uma capacidade de armazenamento de 9,95 milhões de m³ (Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2023). O Plano Diretor de Macrodrenagem do Alto Tietê (PDMAT) onde se localiza a RMSP, prevê ainda a implantação de 134 piscinões como forma de aumentar a segurança hidrológica da região (Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2023). Portanto o presente estudo constitui uma iniciativa importante de investigação de novas possibilidades para estas estruturas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a seleção de técnicas e referências de projeto, foi realizada uma busca nas bases de dados científicos indexados, tendo sido obtido como resultado 19 artigos científicos com estudos de caso em 9 países, que foram utilizados para seleção das técnicas utilizadas nos modelos propostos, sendo elas: câmara de separação da carga de lavagem; *wetland* construído, bacia de sedimentação, canal de tratamento, estruturas de lazer, passarelas e mirantes. Essas técnicas foram utilizadas em diversos projetos e programas de reservatórios multifuncionais e foram escolhidas por serem adequadas ao contexto brasileiro.

Com base nas técnicas selecionadas, foi elaborada uma proposta de intervenção em um dos piscinões existentes na RMSP, o Piscinão da Av. Eliseu de Almeida, localizado na Bacia do Córrego Pirajussara, já detalhado no item Estudo de Caso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da avaliação dos trabalhos selecionados no estudo resultou o modelo de reservatório multifuncional apresentado na Figura 8. O funcionamento básico da estrutura consiste em agregar elementos de tratamento das águas em seu interior que não comprometam a função de controle quantitativo das águas, ou seja, mantendo o volume de armazenamento necessário determinado nos estudos hidrológicos realizados para a bacia em que o reservatório está inserido.

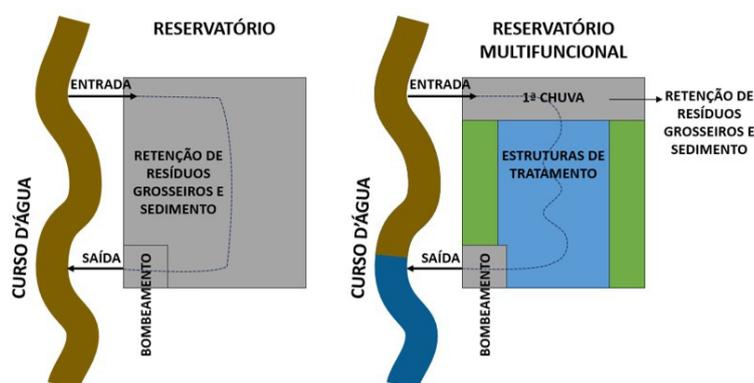


Figura 8 – Reservatório x Reservatório Multifuncional.

Fonte: Dos autores.

Desta forma, um modelo geral de reservatório multifuncional proposto prevê a instalação de uma câmara ou reservatório que reserve as águas da primeira chuva, que é responsável por armazenar a carga de lavagem trazida nos primeiros instantes de chuva para posterior tratamento nas estruturas à jusante no interior do reservatório, como mostrado no esquema da Figura 9, ou para ser enviada para a rede pública coletora de esgotos, como mostrado no esquema da Figura 10, para que siga para o tratamento na ETE (Estação de Tratamento de Esgotos) mais próxima.

A Figura 9 mostra então a sequência prevista para um reservatório que possua em seu interior estruturas para o tratamento das águas. Neste caso o reservatório operará de duas formas, na ocorrência de chuvas intensas e no dia a dia com a vazão de base do curso d'água.

No primeiro caso, as águas oriundas do curso d'água a ser amortecido serão recepcionadas por uma câmara ou caixa de primeira chuva, já que os primeiros instantes de chuva carregam a maior parte da carga contaminante advinda do escoamento superficial, *first flush* em inglês, (FCTH-USP, 2017; Perera et al., 2019; Yuan et al., 2020; Peter et al., 2020; Russo et al., 2023). Nesta câmara haverá também a deposição dos sólidos grosseiros bem como do sedimento carregado, que devem ser removidos periodicamente. As águas excedentes passarão diretamente para o segundo compartimento do reservatório, promovendo o amortecimento do evento. Passada a chuva o sistema de bombeamento devolve as águas armazenadas ao curso d'água. As águas armazenadas na caixa de primeira chuva são drenadas através de uma saída controlada e serão tratadas nas estruturas de tratamento do reservatório, sendo devolvidas ao curso d'água com sua qualidade recuperada. Na operação do dia a dia a caixa de primeira chuva será alimentada por parte da vazão de base do curso d'água, que também será tratada e devolvida ao curso d'água. Desta forma o reservatório funcionará durante o ano todo tratando parte da vazão de base do curso d'água e a carga de lavagem dos eventos chuvosos intensos.

As estruturas de tratamento no interior do reservatório podem variar em função do espaço disponível e das características físicas do reservatório existente, no caso de um *retrofit* de estrutura, ou planejado no caso de uma intervenção nova. Podem ser utilizados sistemas wetlands construídos, terraços de tratamento, canais de tratamento, colunas de tratamento biológico aeróbio e bacias de sedimentação, conforme será detalhado na sequência.

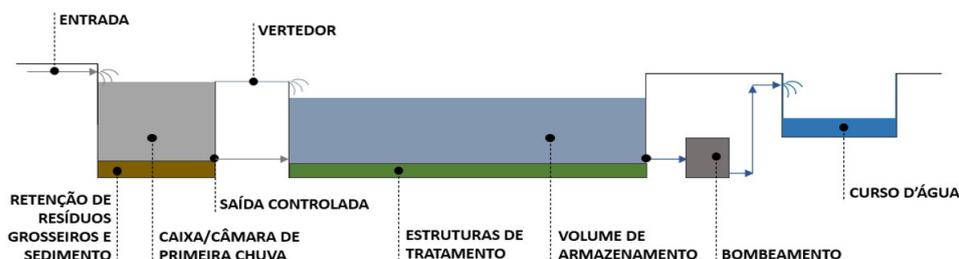


Figura 9 – Reservatório Multifuncional com SBN para tratamento da vazão de base.

Fonte: Dos autores.

Já no caso em que não haja condições de implantar estruturas de tratamento no interior do reservatório, as águas da carga de lavagem dos eventos intensos, armazenadas na caixa de primeira chuva, devem ser destinadas ao sistema de coleta de esgotos público para posterior tratamento na ETE local. Neste caso, como mostra a Figura 10, as águas da caixa de primeira chuva devem ser bombeadas para a rede de esgotos com capacidade hidráulica disponível mais próxima.

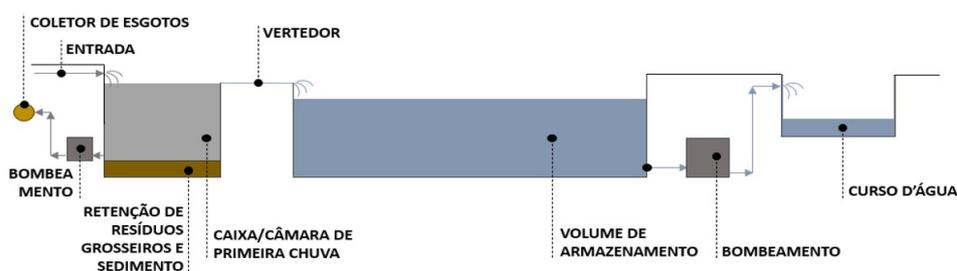


Figura 10 – Reservatório Multifuncional sem SBN para tratamento da vazão de base.

Fonte: Dos autores.

Cabe ressaltar que o Novo Marco do Saneamento em seu Art. 43. § 3º prevê que enquanto não houver a universalização da coleta de esgotos na bacia hidrográfica cabe à operadora do sistema de coleta e tratamento de esgotos realizar o tratamento das cargas presentes nos cursos d'água de forma a assegurar a qualidade do recurso hídrico (Brasil, 2020).

A Tabela 1 apresenta as técnicas selecionadas bem como o Projeto de Referência em que ela foi utilizada, resultado da pesquisa bibliográfica realizada nos artigos selecionados.

Por fim, foi realizada uma proposta de *retrofit* do piscinão da Av. Eliseu de Almeida visando a conversão da estrutura em um reservatório multifuncional. A Figura 11 mostra as estruturas propostas, contemplando a adoção de um sistema de retenção de sólidos na entrada da estrutura, de uma bacia de sedimentação, de espécies adequadas nos diferentes compartimentos da unidade de tratamento, a adoção de um sistema de tratamento com base no tratamento por zona de raízes.

Tabela 1 – Resumo das técnicas utilizadas em reservatórios multifuncionais. Fonte: Dos autores.

Técnica	Descrição	Local da referência e Autor
Caixa / câmara de primeira chuva	Estrutura destinada ao armazenamento da carga de lavagem oriunda do escoamento superficial, <i>first flush</i> .	Mesquita, Brasil (Jacob et al., 2019) / Índia (Thangaraj & Loganathan, 2019) / China (Lu et al., 2021) / Indonésia (Suripin et al., 2020) / Calabria, Itália (Barbaro et al., 2021)
Wetland construído	Estrutura para tratamento das águas através da fitorremediação.	Atlanta, EUA (Sheppy, 2022) / Shaanxi, China (Jiang et al., 2022) / Cape Town, África do Sul (Kool et al., 2020) / Michigan, EUA (Vander Meer et al., 2021) / Ohio, EUA (Tirpak et al., 2022) / Zhengzhou, China (Peng et al., 2022) / Guangzhou, China (Wei et al., 2023) / China (Liu et al., 2021) / (Ferlow, 2020) / Espanha (Fiebrig & Van De Wiel, 2021) / Florida, EUA (Hess et al., 2022) / Illinois, EUA (Keyvanfar et al., 2021)
Uso de espécies adequadas / resistentes / fitorremediadoras	Colonização vegetal do espaço com espécies que enriqueçam a qualidade ambiental através da melhoria da qualidade das águas e do solo.	Ohio, EUA (Tirpak et al., 2022) / Zhengzhou, China (Peng et al., 2022) / Guangzhou, China (Wei et al., 2023) / China (Liu et al., 2021) / Espanha (Fiebrig & Van De Wiel, 2021) / Florida, EUA (Hess et al., 2022) / Illinois, EUA (Keyvanfar et al., 2021)
Bacia de sedimentação	Estrutura destinada a retenção dos sólidos suspensos presentes nas águas através da decantação do material.	Cape Town, África do Sul (Kool et al., 2020) / Zhengzhou, China (Peng et al., 2022) / Guangzhou, China (Wei et al., 2023) / Índia (Thangaraj & Loganathan, 2019) / Inglaterra (Robotham et al., 2021) / Indonésia (Suripin et al., 2020) / Virginia, EUA (Yazdi et al., 2021) / Illinois, EUA (Keyvanfar et al., 2021)
Terraço de tratamento	Terraceamento do terreno de forma a aumentar o TDH da estrutura para o tratamento das águas.	Zhengzhou, China (Peng et al., 2022) / Mesquita, Brasil (Jacob et al., 2019) / (Ferlow, 2020) / Espanha (Fiebrig & Van De Wiel, 2021) / Florida, EUA (Hess et al., 2022) / Illinois, EUA (Keyvanfar et al., 2021)
Canal de tratamento	Canal meandrante no interior da estrutura que promova a oxigenação das águas e aumento da capacidade autodepurativa	Zhengzhou, China (Peng et al., 2022) / Mesquita, Brasil (Jacob et al., 2019) / (Ferlow, 2020) / Espanha (Fiebrig & Van De Wiel, 2021) / Florida, EUA (Hess et al., 2022) / Illinois, EUA (Keyvanfar et al., 2021)
Travessias e passarelas	Estruturas que permitam o fluxo de pedestres através e no entorno do reservatório	Ohio, EUA (Tirpak et al., 2022) / Zhengzhou, China (Peng et al., 2022) / China (Liu et al., 2021) / Espanha (Fiebrig & Van De Wiel, 2021) / Florida, EUA (Hess et al., 2022) / Illinois, EUA (Keyvanfar et al., 2021)
Mirantes e decks	Estruturas como mirante e decks permitindo a observação da paisagem no interior do reservatório.	Ohio, EUA (Tirpak et al., 2022) / Zhengzhou, China (Peng et al., 2022) / China (Liu et al., 2021) / Espanha (Fiebrig & Van De Wiel, 2021) / Florida, EUA (Hess et al., 2022) / Illinois, EUA (Keyvanfar et al., 2021)

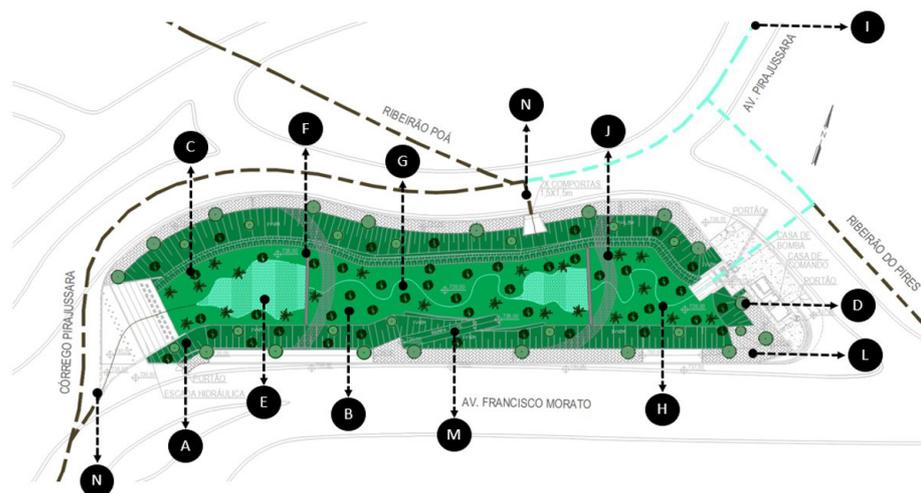


Figura 11 – Estruturas propostas para o Piscinão da Av. Eliseu de Almeida, Bacia do Córrego Pirajussara.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir são descritas as estratégias e técnicas adotadas:

A - A área úmida secundária é aquela que só entrará em contato com as águas no reservatório nos eventos de chuva intensa, quando o reservatório receberá as águas da vazão de pico da bacia. A vegetação deste setor deve ser resistente do ponto de vista mecânico, suportando o arraste promovido pelas águas, como as descritas como adequadas para zonas ripárias.

B - A área úmida principal é aquela que está em constante contato com a água e que deve possuir espécies de zonas úmidas ou alagadas. É nesta zona que será promovido o tratamento biológico das águas, portanto deve ser composta por espécies com aptidão para esta função, como as recomendadas para os sistemas alagadas construídos (wetlands). No período de estiagem, quando o canal recebe principalmente a vazão de base, esta área terá seu funcionamento ótimo. Já nos períodos chuvosos, onde o reservatório operará em toda sua capacidade volumétrica, estes sistemas precisam ser assistidos e receberem as manutenções necessárias.

C - Plantas macrófitas indicadas: *Azolla Lam.*, *Azolla filiculoides Lam.*, *Salvinia minima Baker*, *Ceratophyllum demersum L.*, *Eichhornia crassipes (Mart.) Solms*, *Myriophyllum aquaticum (Vell.) Verdec*, *Pistia stratiotes L.*, *Patamogeton L.*, *Typha L.*, *Typha latifolia L.*, *Typha domingensis Pres.*, *Typha angustifolia L.*, *Bolboschoenus robustus* (Pinheiro, 2017).

D - Amortecedor Ripário: Zona 1: *Inga Mill.*; Zona 2: *Bixa orellana L.*, *Erythrina L.*, *Schizolobium parahyba (Vell.) Blake*, *Salix humboldtiana Willd.*, *Cecropia Loefl.*, *Euterpe edulis Mart.*; Zona 3: *Bauhinia forficata Link*, *Parapiptadenia rigida (Benth.) Brenan*, *Lecythis pisonis Cambess.*, *Cabralea canjerana (Vell.) Mart.*, *Cedrela fissilis Vell* (Pinheiro, 2017). D - Zona de diminuição da velocidade das águas para sedimentação do material trazido pelos cursos d'águas, através da implantação de um barramento. O material acumulado deve ser operado para que a estrutura não tenha sua eficiência reduzida.

E - Zona de diminuição da velocidade das águas para sedimentação do material trazido pelos cursos d'águas, através da implantação de um barramento. O material acumulado deve ser operado para que a estrutura não tenha sua eficiência reduzida.

F - Barramento para formação da bacia de sedimentação, devendo ser construído com material resistente ao fluxo de água resultante da operação do reservatório nas vazões de pico, como por exemplo concreto armado.

G - No terraço de tratamento das águas haverá a instalação de um canal meandrante a fim de promover a oxigenação e o tratamento biológico das águas. Ao longo do terraço deverão ser instaladas a vegetação fitorremediadora.

H - O fluxo principal das águas da vazão de base deve ser conduzido através de um canal meandrante através do terraço de tratamento.

I - O tratamento promovido no interior do reservatório resultará na melhoria da qualidade das águas a jusante.

J - Deverá ser contemplado no projeto a implantação de travessias elevadas para permitir o fluxo de pedestres através dos reservatórios, já que a estrutura devido ao seu porte, resulta no isolamento das áreas circunvizinhas.

L - Deverá ser realizada a recomposição do pavimento e gradis para permitir a circulação de pedestres e observação da paisagem no interior do reservatório.

M - A rampa atual de acesso ao reservatório deve ser mantida para permitir as atividades de manutenção e operação.

N - Deve ser instalada uma caixa de primeira chuva que atue na retenção de sólidos grosseiros para evitar que as estruturas no interior do reservatório sejam danificadas, cujo material retido deve ser operado periodicamente.

Desta forma, foi proposta uma nova operação para o reservatório que consiste na utilização do mesmo durante todo o ano para a passagem da vazão de base do córrego Pirajussara e do Ribeirão Poá de forma que as águas possam ser tratadas nas estruturas previstas no seu interior, devolvendo as águas ao Ribeirão dos Pires com a qualidade recuperada. Durante o período chuvoso é previsto que o reservatório receba, nos eventos de precipitações intensas, o incremento de vazão da bacia para armazenamento temporário, como já é feito atualmente, sendo necessária a manutenção e limpeza das estruturas depois da operação. A Figura 12 mostra a operação com vazão de base e a operação com as vazões de pico das bacias afluentes.

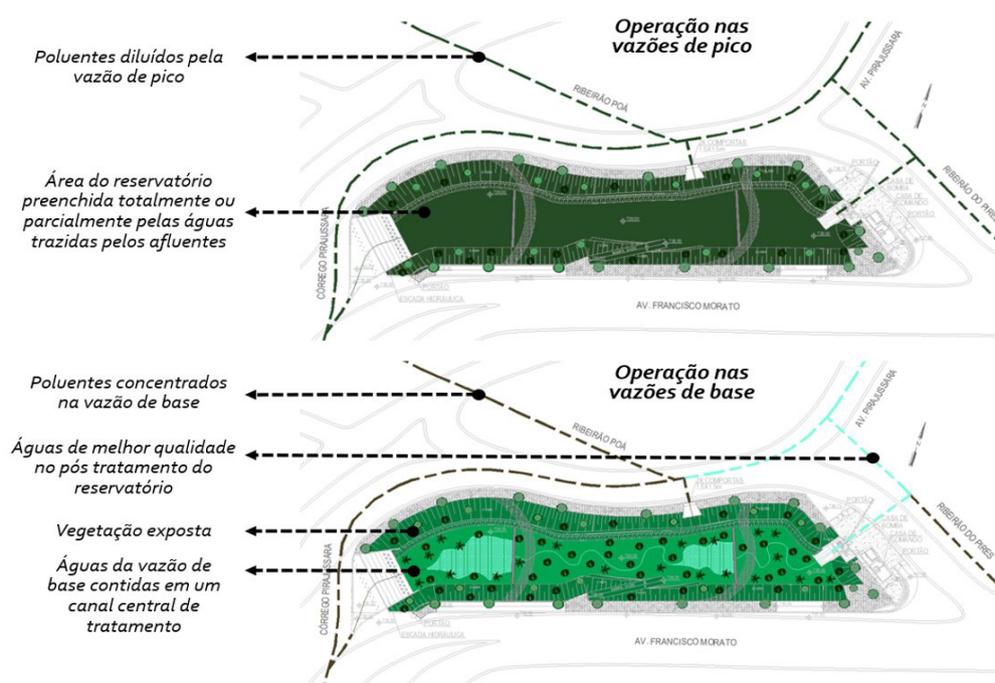


Figura 12 – Operação proposta para o Piscinão da Av. Eliseu de Almeida, Bacia do Córrego Pirajussara.
Fonte: Elaborado pelo autor.

CONCLUSÕES

As águas urbanas são objeto de diversos estudos e iniciativas em virtude da importância que têm no dia a dia da cidade. Quando mal gerenciadas estas águas urbanas são sinônimo de degradação social, doenças e degradação estética da paisagem, o que fez com que historicamente elas fossem ocultadas na maioria das cidades brasileiras.

No entanto, com o gerenciamento inadequado das águas se perdem diversos serviços ecossistêmicos que são fornecidos pelos sistemas aquáticos preservados, como a ciclagem da água, a regulação microclimática, a harmonia paisagística, áreas para o lazer, manutenção da fauna e da flora, etc. Desta forma é necessária uma revolução no modo como tratamos as águas urbanas.

A recuperação da qualidade das águas em bacias hidrográficas em áreas urbanas é um grande desafio para os gestores públicos, uma vez que a universalização do sistema de esgotamento sanitário é um grande desafio tendo em vista o contexto social e urbanístico das cidades brasileiras. Somado a

isso, outro grande desafio são as cargas difusas, que são trazidas pelo escoamento superficial nos eventos chuvosos, que devem ser retidas e tratadas.

O tratamento das águas fluviais e pluviais, requer a implantação de unidades de tratamento, no entanto surge outro desafio, a busca por espaço em um contexto já tão disputado pelo solo urbano. A seleção do sistema de tratamento e seu dimensionamento é, por si só, uma tarefa desafiadora quando se considera que as características das águas afluentes apresentarão grandes variações de concentração, seja para tratamento das vazões de base como durante as cheias.

A utilização da área dos reservatórios do tipo piscinão como zonas de tratamento das águas é uma alternativa interessante pois reúne diversas vantagens como a existência de área e de uma infraestrutura já implementada que já conta com equipe de operação, equipamentos, vigilância e etc. Além do benefício da melhoria da qualidade das águas, a transformação dos piscinões em reservatórios multiuso resulta no estabelecimento de uma interação mais harmônica da estrutura com seu entorno, já que atualmente são estruturas de concreto estéreis e com aspecto de abandono.

O novo contexto das mudanças climáticas e seus eventos extremos nos convida a repensar os sistemas existentes e espera-se que este trabalho forneça novas estratégias para gestores públicos, estudantes, pesquisadores, projetistas e técnicos para promoção do tratamento das águas urbanas, através de técnicas que convivam de forma mais harmônica com a paisagem, com o meio ambiente e com a população.

REFERÊNCIAS

- Alencar, J. C., Porto, M. F. A., Brandimarte, A. L., & Martins, J. R. S. (2015). Utilização de índices físicos, químicos e biológicos para avaliação da qualidade de corpos d'água em processo de recuperação - Córrego Ibiraporã, SP./ Use of physical, chemical and biological Indices to evaluate the quality of watercourses in recovering. Córrego Ibiraporã, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20, 959-969.
- Barbaro, G., Miguez, M. G., de Sousa, M. M., Ribeiro da Cruz Franco, A. B., de Magalhães, P. M. C., Foti, G., Valadão, M. R., & Occhiuto, I. (2021). Innovations in best practices: approaches to managing urban areas and reducing flood risk in Reggio Calabria (Italy). *Sustainability*, 13(6), 3463.
- Bartlett, J. A., & Dedekorkut-Howes, A. (2023). Adaptation strategies for climate change impacts on water quality: a systematic review of the literature. *Journal of Water and Climate Change*, 14(3), 651-675.
- Bolliger, J., & Silbernagel, J. (2020). Contribution of connectivity assessments to green infrastructure (GI). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), 212.
- Brasil. (2020, 15 de julho). Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Recuperado em 20 de agosto de 2020, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm.
- Castillo, R.M., & Crisman, T.L. (2019). *The role of green infrastructure in water, energy and food security in Latin America and the Caribbean: Experiences, opportunities and challenges*.
- Centro de Ciência do Sistema Terrestre – CCST, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Instituto Astronômico, Geofísico e de Ciências Atmosféricas, & Universidade de São Paulo - USP (2010). Relatório sobre mudanças climáticas no Brasil. Recuperado em 23 de junho de 2023, de <http://www.ccst.inpe.br/projetos/inct/>
- Chen, Y., Zhou, H., Zhang, H., Du, G., & Zhou, J. (2015). Urban flood risk warning under rapid urbanization. *Environmental Research*, 139, 3-10.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. *IUCN: Gland, Switzerland*, 97, 2016-2036.
- Courty, L. G., Rico-Ramirez, M. Á., & Pedrozo-Acuña, A. (2018). The significance of the spatial variability of rainfall on the numerical simulation of urban floods. *Water (Basel)*, 10(2), 207.
- Curi, A. F. (2017). Estudos de cultura material/dossiê. *Anais do Museu Paulista*, 25(3).
- David, A., & Schmalz, B. (2020). Flood hazard analysis in small catchments: comparison of hydrological and hydrodynamic approaches by the use of direct rainfall. *Journal of Flood Risk Management*, 13(4), e12639.
- Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. (2023). *Piscinões da Região Metropolitana de São Paulo*. Recuperado em 02 de outubro de 2023, de http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=60%25.
- Farmer, W. H., & Vogel, R. M. (2016). *Hydrologic Extremes: Uncertainty, Modeling, and Analysis*. Cambridge University Press.

- FCTH-USP. (2017). *Projeto Jaguaré. Desenvolvimento de metodologia e projeto piloto de revitalização de bacia urbana, replicável para as demais bacias da região metropolitana (Bacia do Córrego Jaguaré) - Empreendimento 2014 AT 653 - Relatório final (Tomo 2)*.
- Ferlow, D. L. (2020). Stormwater runoff retention and renovation: a back lot function or integral part of the landscape? In *Constructed Wetlands for water Quality Improvement* (pp. 373-379). CRC Press.
- Ferreira, C. S. S., Kalantari, Z., Salvati, L., Canfora, L., Zambon, I., & Walsh, R. P. D. (2019). *Urban areas. Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*.
- Fiebrig, I., & Van De Wiel, M. (2021). *Usefulness of surface water retention reservoirs inspired by 'permaculture design': a case study in southern Spain using bucket modelling. A Nexus Approach for Sustainable Development: Integrated Resources Management in Resilient Cities and Multifunctional Land-use Systems*, pp. 57-79.
- Findlay, S. J., & Taylor, M. P. (2006). Why rehabilitate urban river systems? *Area*, 38(3), 312-325.
- Foody, G. M. (2008). Harshness in image classification accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 29(11), 3137-3158.
- Gangrade, S. (2019). *Assessing Hydrologic Vulnerability and Resilience of Critical Energy-Water Infrastructures in a Changing Environment*.
- Gizaw, M. S., & Gan, T. Y. (2016). Regional flood frequency analysis using support vector regression under historical and future climate. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, 538, 387-398.
- Guptha, R., Viavattene, C., & Ellis, J. (2022). *How nature-based solutions can enhance urban resilience to flooding*.
- Hess, K. M., Sinclair, J. S., Reisinger, A. J., Bean, E. Z., & Iannone 3rd, B. V. (2022). Are stormwater detention ponds protecting urban aquatic ecosystems? a case study using depressional wetlands. *Urban Ecosystems*, 25(4), 1155-1168.
- Huntington, T. G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*
- Huong, H. T. L., & Pathirana, A. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 379-394.
- Jacob, A. C. P., Rezende, O. M., de Sousa, M. M., de França Ribeiro, L. B., de Oliveira, A. K. B., Arrais, C. M., & Miguez, M. G. (2019). Use of detention basin for flood mitigation and urban requalification in Mesquita, Brazil. *Water Science and Technology*, 79(11), 2135-2144.
- Jiang, Y., Qiu, L., Gao, T., & Zhang, S. (2022). Systematic application of sponge city facilities at community scale based on SWMM. *Water (Basel)*, 14(4), 591.
- Keyvanfar, A., Shafaghat, A., Ismail, N., Mohamad, S., & Ahmad, H. (2021). Multifunctional retention pond for stormwater management: A decision-support model using Analytical Network Process (ANP) and Global Sensitivity Analysis (GSA). *Ecological Indicators*, 124, 107317.
- Kool, J., Muntjewerff, S., Goedhart, R., Crispijn, F., Bischoff Tulleken, B., & Durry, S. J. (2020). *Retrofitting stormwater ponds to infiltration ponds: a framework for the city of cape town*.
- Leng, Y., & Zhang, Y. (2021). Many-Objective Optimization of Sustainable Drainage Systems in Urban Areas.
- Liu, P. W. G., Sun, S., Lin, Y. P., Wang, Z. X., & Lin, G. X. (2021). *Evaluation of stormwater detention pond to prepare recreational water quality*.
- Lu, Y., Xie, J., Yang, C., & Qin, Y. (2021). Control of runoff peak flow for urban flooding mitigation. *Water (Basel)*, 13(13), 1796.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Young, A., Barreto, N. J. C., & Ramos, A. M. (2020). Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1472(1), 5-20. <https://doi.org/10.1111/nyas.14307>
- McFarland, A. R., Larsen, L., Yeshitela, K., Engida, A. N., & Love, N. G. (2019). Guide for using green infrastructure in urban environments for stormwater management. *Environmental Science. Water Research & Technology*, 5(4), 643-659.
- Mello, K., Taniwaki, R. H., de Paula, F. R., Valente, R. A., Randhir, T. O., Macedo, D. R., Leal, C. G., Rodrigues, C. B., & Hughes, R. M. (2020). Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 270, 110879.
- Moura, N. C. B., Pellegrino, P. R. M., & Martins, J. R. S. (2014). Transição em infraestruturas urbanas de controle pluvial: uma estratégia paisagística de adaptação às mudanças climáticas. *Paisagem e Ambiente*, 1, 107-128.

- Ngo, T. T., Yoo, D. G., Lee, Y. S., & Kim, J. H. (2016). Optimization of upstream detention reservoir facilities for downstream flood mitigation in urban Areas. *Water (Basel)*, 8(7), 290.
- Peng, X., Heng, X., Li, Q., Li, J., & Yu, K. (2022). From sponge cities to sponge watersheds: Enhancing flood resilience in the Sishui River Basin in Zhengzhou, China. *Water (Basel)*, 14(19), 3084.
- Perera, T., McGree, J., Egodawatta, P., Jinadasa, K. B. S. N., & Goonetilleke, A. (2019). Taxonomy of influential factors for predicting pollutant first flush in urban stormwater runoff. *Water Research*, 166, 115075.
- Peter, K. T., Hou, F., Tian, Z., Wu, C., Goehring, M., Liu, F., & Kolodziej, E. P. (2020). More than a first flush: Urban creek storm hydrographs demonstrate broad contaminant pollutographs. *Environmental science & technology*, 54(10), 6152-6165..
- Pinheiro, M. B. (2017). 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 de mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.
<https://doi.org/10.11606/D.16.2017.tde-27062017-141958>
- Robotham, J., Old, G., Rameshwaran, P., Sear, D., Gasca-Tucker, D., Bishop, J., Old, J., & McKnight, D. (2021). Sediment and nutrient retention in ponds on an agricultural stream: evaluating effectiveness for diffuse
- Russo, C., Castro, A., Gioia, A., Iacobellis, V., & Gorgoglione, A. (2023). A stormwater management framework for predicting first flush intensity and quantifying its influential factors. *Water Resources Management*, 37(3), 1437-1459.
- São Paulo. (2023). *Limpeza de Córregos e Piscinões em São Paulo*. Recuperado em 01 de julho de 2023, de <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/noticias/?p=292988>.
- Schardong, A; Srivastav, R. K. (2014). Atualização da equação intensidade-duração-frequência para a cidade de São Paulo sob efeito de mudanças climáticas. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(4), 176-185.
- Sear, D. A. (1994). River restoration and geomorphology. *Aquatic Conservation*, 4(2), 169-177.
- Shabestanipour, L., Moges, E., & Shokri, A. (2023). Advances in Hydrologic Modeling for Climate Change Projections. *Frontiers in Water*.
- Shen, T., Wang, R., Jiao, P., & Wang, Y. (2021). evaluation of drainage water detention efficiency of off-line ditch-pond systems and its influencing factors. *Water (Basel)*, 13(21), 3029.
- Sheppy, J. (2022). *Comparing the quantity, source, and biodegradability of dissolved organic matter in urban stormwater ponds to beaver ponds in the Greater Atlanta Area* (Thesis). Georgia State University.
- Suripin, S., Darsono, S., Kurniani, D., Hutagalung, W. F., & Dintia, D. V. (2020). Development of sustainable detention ponds for flood and sediment control in urban areas. *Journal of Physics: Conference Series*, 1625(1), 012046.
- Thangaraj, P., & Loganathan, P. (2019). Farm pond reservoir lining for agricultural development in India a-study. *Think India Journal*, 22(14), 3174-3179.
- Tirpak, R. A., Tondera, K., Tharp, R., Borne, K. E., Schwammberger, P., Ruppelt, J., & Winston, R. J. (2022). Optimizing floating treatment wetland and retention pond design through random forest: A meta-analysis of influential variables. *Journal of Environmental Management*, 312, 114909.
- Tomaz, P. (2002). *Livro: Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais: piscinões, galerias, bueiros, canais; métodos SCS*, Denver, Santa Bárbara, Racional, TR-55. Navegar
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*
- União Internacional para a Conservação da Natureza - IUCN. (2022). *IUCN 2022 annual report*. Recuperado em 10 de maio de 2023, de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2023-018-En.pdf>.
- Vander Meer, L., DeHeer, K., Mellinger, J., Gibes, S., Paasch, B., Wildschut, J., Miller, W. L., He, S. Y., & DuBois, K. N. (2021). Indicator species characterization and removal in a detention pond in the Plaster Creek watershed. *Journal of Environmental Management*, 298, 113503.
- Viavattene, C., & Ellis, J. B. (2013). Sustainable urban drainage system modeling for managing urban surface water flood risk. CLEAN–Soil, Air. *Water (Basel)*, 42(2), 153-159.
- Wei, L., Yue, Q., Chen, G., & Wang, J. (2023). Microplastics in rainwater/stormwater environments: influencing factors, sources, transport, fate, and removal techniques. *Trends in Analytical Chemistry*, 117147.
- Xu, Z., Xu, J., Yin, H., Jin, W., Li, H., & He, Z. (2019). Urban river pollution control in developing countries. *Nature Sustainability*, 2(3), 158-160.

- Yazaki, L. F. O. (2012). *Planejamento de sistemas de drenagem e águas pluviais em São Paulo*. Recuperado em 10 de fevereiro de 2020, de https://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/03/Luis%20Orsini2_SolucoesparaCidades_SeminarioDrenagemUrbana.pdf
- Yazdi, J., Heydari Mofrad, H., & Heydari Mofrad, M. (2021). Development of a risk-based optimization approach to improve the performance of urban drainage systems. *Hydrological Sciences Journal*, 67(5), 689-702.
- Yuan, L., Sinshaw, T., & Forshay, K. J. (2020). Review of watershed-scale water quality and nonpoint source pollution models. *Geosciences*, 10(1), 25.

Contribuições dos autores:

Juliana Alencar: Pesquisa, revisão da bibliografia, análise dos dados e elaboração do texto.

Paulo Renato Mesquita Pellegrino: Análise dos dados e revisão do texto.

José Rodolfo Scarati Martins: Análise dos dados e revisão do texto.