SUDS-UP: PROTÓTIPO DE UMA FERRAMENTA DE SUPORTE À CONCEPÇÃO DE PROJETOS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL - APLICADA NOS BAIRROS DE GLÓRIA E CATETE, RJ

SUDS-UP: PROTOTYPE OF A SUPPORT TOOL FOR THE DESIGN OF SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE PROJECTS - APPLIED IN GLÓRIA AND CATETE NEIGHBORHOODS RJ

Fabiana Ferreira de Carvalho[1]; Matheus Martins de Souza[2]; Aline Pires Veról[3].

[1]Mestre em Arquitetura | fabiana.carvalho@fau.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil; [2] Doutor em Engenharia Civil | matheus@poli.ufrj.br | Rio de Janeiro, Brasil; [3]Doutora em Engenharia Civil | alineverol@fau.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo:
A questão das cheias urbanas é considerada um dos principais desafios enfrentados pelas cidades, com tendência a se intensificar nas próximas décadas. É imperativo que as intervenções urbanas insiram medidas para mitigação de episódios de alagamentos e enchentes. A fim de auxiliar o desenvolvimento de projetos que empreguem Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS), este artigo apresenta um protótipo da uma ferramenta de suporte à concepção de projetos denominada SUDS-UP. Como abordagem metodológica, foram sistematizados dados técnicos de dispositivos de SUDS, relacionando-os à condicionantes físicas e urbanas. A ferramenta foi concebida em etapas sequenciais, permitindo ao projetista identificar o potencial de uso de espaços livres para a implantação dessas técnicas, além de estimar sua contribuição para a mitigação de alagamentos. A ferramenta foi testada em uma bacia de drenagem nos bairros da Glória e do Catete, Rio de Janeiro, onde foram elaborados dois projetos conceituais usando diferentes técnicas de SUDS. Esses resultados foram comparados com os obtidos por meio de modelagem matemática, com o objetivo de avaliar a eficácia da ferramenta. Os resultados indicam que a SUDS-UP pode ser utilizada na fase de estudo preliminar, especialmente quando as soluções são implantadas em áreas próximas aos pontos de alagamento.

Palavras-chave: *Ferramenta de Suporte ao Planejamento, Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável; Infraestrutura Verde e Azul; Alagamentos; Tecidos Urbanos Consolidados.*

Abstract:
The issue of urban flooding is considered one of the main challenges faced by cities, with a tendency to intensify in the coming decades. It is imperative that urban interventions incorporate measures to mitigate flood and inundation events. To support the development of projects that employ Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), this article presents a prototype of a design support tool called SUDS-UP. As a methodological approach, technical data on SUDS devices were systematized and related to physical and urban constraints. The tool was developed in sequential steps, enabling designers to identify the potential for using open spaces for the implementation of these techniques, as well as to estimate their contribution to flood mitigation. The tool was tested in a drainage basin located in the Glória and Catete neighborhoods of Rio de Janeiro, where two conceptual projects were developed using different SUDS techniques. These results were compared with those obtained through mathematical modeling, in order to evaluate the effectiveness of the tool. The findings indicate that SUDS-UP can be used during the preliminary study phase, especially when the solutions are implemented in areas near flood-prone locations

Keywords: *Planning Support Tools, Sustainable Urban Drainage Systems; Green and blue Infrastructure; Flooding; Consolidated Urban Tissue.*

1. INTRODUÇÃO

O controle das cheias urbanas configura-se como um dos principais desafios enfrentados pelas cidades contemporâneas e tende a se intensificar nas próximas décadas. Dados do EM-DAT – The International Disaster Database (2023) revelam que, em 2022, ocorreram 387 desastres naturais no mundo, sendo os alagamentos responsáveis por 176 desses eventos. Esses episódios resultaram em 7.954 mortes — das quais 272 ocorreram no Brasil —, afetaram mais de 51,1 milhões de pessoas e causaram perdas econômicas da ordem de 50 bilhões de dólares.

A frequência e a gravidade dos alagamentos vêm aumentando de forma constante desde 1950, em estreita relação com o crescimento urbano acelerado (Jha *et al.*, 2012). Estima-se que, até 2050, aproximadamente 68% da população mundial residirá em áreas urbanas, representando um acréscimo de cerca de 2,2 bilhões de pessoas (UN-Habitat, 2022). Esse processo de urbanização impõe forte pressão sobre a infraestrutura urbana e os recursos naturais, especialmente no que se refere à gestão das águas pluviais.

Diante desse cenário, diferentes marcos e políticas públicas, tanto nacionais quanto internacionais, vêm sendo desenvolvidos com o intuito de integrar o desenvolvimento urbano à mitigação dos riscos socioambientais. O Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastres, elaborado em 2015, propõe o fortalecimento da resiliência urbana por meio da cooperação multissetorial e do planejamento estratégico. Tal documento subsidia iniciativas, como a Nova Agenda Urbana (United Nations, 2017), que orienta os países a adotarem políticas de gestão de riscos, adaptação às mudanças climáticas e conservação de ecossistemas, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial, os ODS 11 e 13, que versam, respectivamente, sobre os temas de Cidades e Comunidades Sustentáveis e de Ações contra a Mudança Global do Clima (United Nations, 2019).

Ainda em âmbito internacional, iniciativas de ordem privada, como o C40 – Cities Climate Leadership Group vêm impulsionando ações voltadas à sustentabilidade urbana, com destaque para a gestão integrada da água nas cidades. No Brasil, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608/2012) estabelece diretrizes para a redução de riscos de desastres, integrando esse objetivo a políticas urbanas, ambientais e de infraestrutura. No contexto local, destacam-se os planos diretores de drenagem, como o Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais (PDMAP) da cidade do Rio de Janeiro, que orienta a implantação estratégias para a reservação das águas pluviais a jusante visando a redução de inundações e a implantação de medidas compensatórias em áreas urbanizadas (PDMAP, 2014).

A ocorrência de alagamentos urbanos está fortemente associada a práticas inadequadas de ocupação do solo, como a impermeabilização excessiva, a supressão da vegetação e a modificação de corpos hídricos, que comprometem a capacidade de infiltração e aumentam o escoamento superficial (Grahn, Nyberg, 2017; Veról *et al.*, 2020). Nesse sentido, o planejamento urbano deve considerar os limites ambientais, promovendo a compatibilização entre os processos naturais e as dinâmicas urbanas, de modo que o escoamento superficial ocorra de forma integrada e contribua para o funcionamento saudável da cidade (Hoang, Fenner, 2016; Zevenbergen *et al.*, 2018). A abordagem tradicional, centrada na canalização e rápida condução das águas pluviais, tem se mostrado ineficaz e até mesmo agravante dos eventos de cheia em áreas a jusante (Rezende *et al.*, 2012).

Como alternativa, surgem os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS), que consistem em soluções descentralizadas, baseadas na retenção, infiltração e detenção das águas pluviais próximas ao local de precipitação. Tais sistemas buscam restaurar o regime hidrológico original dos cursos hídricos, reduzindo o volume e a velocidade do escoamento superficial (CIRIA, 2015; Fletcher *et al.*, 2015). Além disso, os SUDS podem ser implementados em diferentes escalas, integrando-se à paisagem urbana de maneira multifuncional, ao combinar funções ecológicas, sociais e técnicas (Hoang, Fenner, 2016). Diante do atual panorama hídrico urbano, torna-se essencial a implementação de projetos urbanos que incorporem soluções baseadas em SUDS visando a mitigação dos alagamentos.

A elaboração desses projetos demanda o tratamento de um volume expressivo de informações relacionadas à localização, regime de chuvas, viabilidade financeira, eficiência técnica, prazos de execução e padrões de qualidade. Para lidar com essa complexidade, faz-se necessária a utilização de ferramentas capazes de sistematizar a coleta, organização e análise desses dados. De acordo com Kuller *et al.* (2017), essas ferramentas são conhecidas como "Planning Support Tools" (Ferramentas de Suporte ao Planejamento), enquanto Ferrans *et al*. (2021) se referem a elas como "Decision Support Systems" (Sistemas de Suporte à Decisão). Apesar das diferenças terminológicas, ambas as termonologias compartilham o mesmo propósito: oferecer suporte técnico e analítico à tomada de decisão, sendo consideradas estratégicas para o êxito na implementação dos SUDS em contextos urbanos complexos.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo apresentar o protótipo de uma ferramenta de suporte à concepção de projetos urbanos que empreguem os SUDS. A ferramenta foi chamada de SUDS-UP ("Sustainable Urban Drainage System for Urban Planning").

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) visam à mitigação dos impactos da urbanização sobre o escoamento superficial, buscando aproximar o hidrograma de cheias das condições de pré-urbanização, especialmente pela redução da vazão de pico (Miguez, Veról, Rezende, 2015). Estudos indicam que a eficácia dos SUDS aumenta quando aplicados de forma distribuída em diferentes pontos da bacia hidrográfica (Rezende *et al.*, 2019). Vasconcelos (2014) analisou doze cenários de aplicação de técnicas em lotes privados, demonstrando maior eficiência nos cenários com soluções combinadas. Resultados semelhantes foram observados por Bahiense (2013), que avaliou cenários com intervenções em áreas públicas e privadas, constatando que a integração das técnicas em ambas as situações proporcionou os melhores resultados na redução da vazão, inclusive se equiparando às condições naturais da área.

Esses estudos apontam para a importância do planejamento integrado e da adoção de sistemas redundantes, nos quais os SUDS são conectados à drenagem convencional, prolongando sua eficiência durante os eventos de chuva. A implementação eficaz, contudo, depende da compatibilidade entre as técnicas e as características físicas, urbanas e socioeconômicas dos locais de intervenção (Hoang, Fenner, 2016; Zevenbergen *et al*., 2018). Conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2015) e Ferrans *et al.* (2022), o diagnóstico preliminar da bacia, incluindo fatores físicos, urbanos e sanitários, é fundamental para a seleção e o dimensionamento adequado das técnicas. Diante disso, este estudo adota tais categorias como base analítica para apoiar a fase de concepção de projetos com SUDS, contribuindo para a estruturação de critérios que orientem a escolha das soluções mais apropriadas ao contexto urbano analisado.

Esse artigo propõe que os aspectos relativos a projetos sejam analisados por meio de três condicionantes: físicas, urbanas e socioeconômico-ambientais. As condicionantes físicas referem-se às características do solo e do terreno, como taxa de infiltração, nível do lençol freático, declividade e profundidade do leito rochoso. A permeabilidade do solo, por exemplo, influencia diretamente na escolha por técnicas com ou sem infiltração, considerando o risco de contaminação do lençol freático (Water by Design, 2014; Ciria, 2015). A declividade interfere na velocidade do escoamento superficial, o que pode demandar medidas específicas de contenção de erosão ou condução do fluxo (California, 2011). As condicionantes urbanas envolvem a disponibilidade de espaço, uso e ocupação do solo, presença de redes de infraestrutura e sistema de drenagem existente, além da delimitação da bacia de drenagem e aspectos legais que autorizem a intervenção. É fundamental garantir a compatibilização com as redes existentes e avaliar a viabilidade técnica e legal da instalação (Baptista, Nascimento, Barraud, 2015; Kuller *et al.*, 2017). Os aspectos socioeconômico-ambientais referem-se a riscos sanitários, como poluição do solo e proliferação de vetores, e à aceitação social dos projetos. A participação da comunidade no processo projetual é vista como fator decisivo para a aceitação e sucesso da intervenção (Chapa, Pérez, Hack, 2020). Os custos de instalação e manutenção também são determinantes para a viabilidade de longo prazo.

Diversos estudos propõem ferramentas metodológicas, como tabelas e fluxogramas, para auxiliar nas decisões projetuais. Ariza *et al*. (2019) desenvolveram uma tabela que articula diferentes escalas territoriais e etapas do projeto, permitindo a identificação de restrições, áreas potenciais e técnicas adequadas. O manual "Water by Design" (2014) e o guia da Ciria (2015) apresentam classificações e fluxos decisórios baseados em atributos locais, como permeabilidade, profundidade do lençol freático e presença de vegetação, que orientam a escolha entre técnicas com ou sem infiltração.

Kuller *et al.* (2017) ampliam o escopo analítico ao incluir indicadores de serviços ecossistêmicos (como regulação ambiental e suporte à biodiversidade) e fatores de governança, totalizando 86 indicadores aplicáveis a diferentes técnicas de SUDS. Esse enfoque revela a complexidade dos projetos, mas também seu potencial de benefícios ambientais e sociais.

Os estudos analisados indicam diretrizes construtivas básicas, como proporções entre área de captação e área do dispositivo, dimensões mínimas e inclinação lateral da estrutura. No entanto, não se verificou a existência de diretrizes consolidadas para o pré-dimensionamento da capacidade de armazenamento, lacuna possivelmente justificada pela complexidade dos cálculos hidrológicos e hidrodinâmicos, geralmente não abordados pelo campo da Arquitetura, embora importantes para a viabilidade técnica de projetos urbanos que usem tais dispositivos desde as fases iniciais.

3. MÉTODOS

O método empregado neste trabalho consistiu em três etapas: sistematização dos dados; elaboração do protótipo da ferramenta e verificação da sua eficácia. As etapas serão descritas a seguir.

Inicialmente, foram levantados dados relacionados às condicionantes de projeto, os quais foram sistematizados, com suporte do software Excel, em tabelas de caráter consultivo e orientativo. Foram definidas condicionantes físicas e urbanas, assim como aspectos sanitários, ambientais e socioeconômicos. As condicionantes físicas referem-se às características do solo no local onde a técnica de SUDS será implantada, incluindo a taxa de permeabilidade, a proximidade do lençol freático, a declividade do terreno e a profundidade do leito rochoso. As condicionantes urbanas abrangem aspectos do ambiente urbano, como a disponibilidade de espaço, a localização das redes de infraestrutura existentes, a identificação do sistema de drenagem atual, a delimitação da bacia de drenagem, a verificação da estabilidade do solo, a viabilidade legal para construção no local escolhido e o uso atual do solo. Os aspectos sanitários, ambientais e socioeconômicos, por sua vez, envolvem os riscos potenciais associados à implantação das técnicas de SUDS. No campo sanitário e ambiental, destaca-se a possibilidade de contaminação do solo por águas poluídas e a proliferação de insetos caso ocorra estagnação da água nos dispositivos. Já no âmbito socioeconômico, um risco identificado é a possibilidade de rejeição do projeto pela população local. Os valores culturais e históricos devem ser apreendidos e considerados no processo de implementação. Esta primeira etapa de sistematização dos dados conduziu à elaboração do protótipo da ferramenta SUDS-UP, apresentado na Figura 1.

A ferramenta foi estruturada por meio de tabelas de Excel formatadas num modelo 'passo-a-passo', em que o projetista é guiado para cumprir as etapas conforme uma ordem lógica de evolução de estudo preliminar. A ferramenta é apresentada em quatro blocos de atividades de acordo com a etapa do projeto, a saber: diagnóstico, estudo das técnicas de SUDS, inserção das técnicas no projeto conceitual e análise da capacidade de manejo das águas pluviais. Nesta primeira versão a ferramenta contempla cinco dispositivos: jardim de chuva, biovaleta, pavimento permeável, bacia de detenção e trincheira de infiltração. Todas essas técnicas podem ser aplicadas em áreas reduzidas, sendo adequadas para tecidos urbanos densamente ocupados.

A ferramenta possui um total de 17 sub-etapas, com indicações das atividades projetuais a serem desenvolvidas. Algumas etapas possuem orientações adicionais, como indicação de locais para realizar pesquisas de dados, ou links, que levam às tabelas em que os dados coletados, como mencionado anteriormente, foram sistematizados. Os campos com texto em azul são links para as

tabelas consultivas e os com texto em laranja são links para tabelas a serem preenchidas de acordo com as informações específicas da área de estudo.

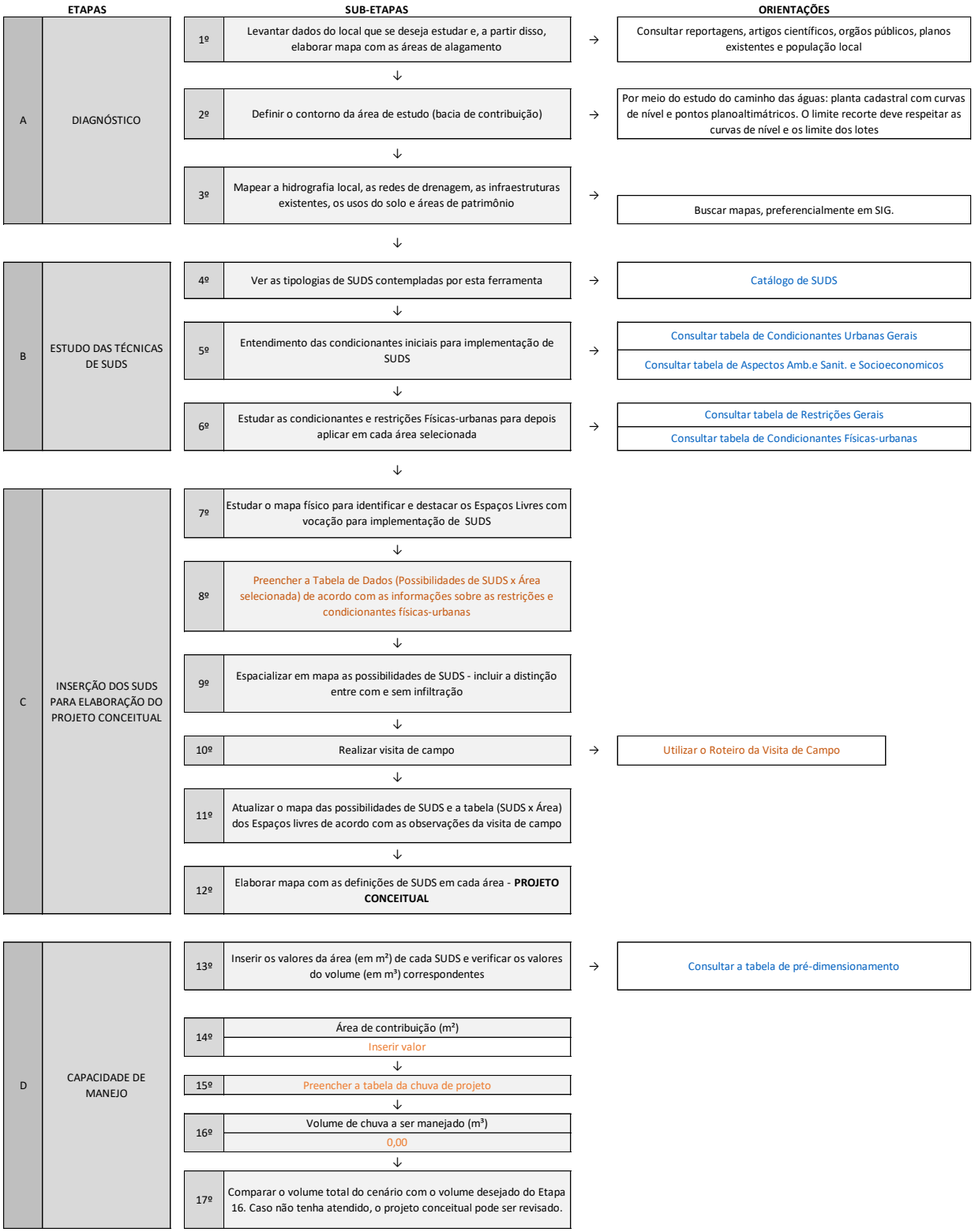


Figura 1: Etapas do Protótipo da Ferramenta SUDS-UP.
Fonte: Elaboração própria (2025).

A Etapa A corresponde à realização do diagnóstico local, com o objetivo de compreender a problemática local relacionada aos alagamentos. Para isso, serão analisados mapas, documentos

oficiais e reportagens. Como produto desta etapa, espera-se a elaboração de mapas temáticos com as informações coletadas. Recomenda-se o uso de softwares de georreferenciamento para a organização e representação espacial dos dados.

Com base na compreensão do território sob a ótica da drenagem urbana, recomenda-se o início da Etapa B, dedicada ao estudo das técnicas de SUDS abordadas na ferramenta Esta etapa tem o suporte das seguintes tabelas: Condicionantes urbanas gerais, Aspectos ambientais e sanitários e socioeconômicos, Restrições Gerais e Condicionantes físicas-urbanas. O conteúdo contempla tanto as questões gerais para a inserção de técnicas quanto as especificidades associadas a cada uma delas.

A Etapa C consiste em identificar os espaços livres mapeados e indicar as técnicas de SUDS mais adequadas para cada área potencial de intervenção. Esse estudo é apoiado pela tabela 'Possibilidade de SUDS x Área selecionada'. Nesta etapa o projetista deve realizar uma visita de campo, fundamental para a verificação dos dados previamente levantados e para a compreensão das ambiências urbanas dos locais de projeto. Ao fim desta etapa, espera-se que o projetista elabore um projeto conceitual, com a devida espacialização das técnicas adotadas para cada área de interesse.

Em seguida, o projeto conceitual terá sua capacidade de manejo avaliada por meio da estimativa de volume de retenção das águas de chuva por cada estrutura. Os volumes foram calculados por uma equação simples considerando a relação área, profundidade e espaços vazios, ou seja, onde a água pode ocupar. Para as técnicas constituídas por material granuloso, como jardim de chuva, biovaleta e pavimento permeável, estima-se que o percentual de vazios seja de 30% (Baptista; Nascimento; Barraud, 2015). Este cálculo não considerou a infiltração da água no solo. Este valor será comparado ao volume de escoamento superficial que precisa ser manejado para que não haja alagamentos.

Para o cálculo do volume de chuva a ser manejado foi empregado o Método Racional, no qual o valor do escoamento superficial, que é diretamente relacionado à capacidade de infiltração de água do solo, foi estimado com base na diferença entre um solo com alta taxa de impermeabilização e outro com alta taxa de infiltração. Essa diferença sugere que o volume alcançado será o necessário a ser manejado para evitar os alagamentos. Por fim, deve-se comparar a soma dos volumes oriundos dos dispositivos propostos com o volume necessário a ser manejado. O resultado indicará o potencial de redução dos alagamentos proporcionado pelo projeto conceitual proposto.

A ferramenta foi testada em uma área de estudo, localizada nos bairros da Glória e Catete, no Rio de Janeiro, Brasil. Foi, então, desenvolvido um projeto conceitual, com indicação de espaços passíveis de intervenção, os dispositivos mais adequados para cada área, e a realização de um pré-dimensionamento. Este considerou a capacidade de manejo das águas pluviais por parte de cada estrutura proposta, bem como a estimativa de redução dos alagamentos na área de estudo.

O projeto conceitual foi, em seguida, simulado com apoio do modelo matemático hidrodinâmico MODCEL (Miguez *et al.*, 2017), que opera a partir da representação da área de estudo em células de escoamento, de acordo com a contribuição de cada parte para o escoamento superficial. Na modelagem é possível inserir as características da micro e macrodrenagem existentes, como por exemplo, bocas-de-lobo e galerias, além de outras infraestruturas, como os dispositivos de SUDS. São, ainda, inseridas informações referentes ao tipo de solo, diretamente relacionadas ao quanto este possibilita a infiltração de água, e o quanto é direcionado para as ruas e calçadas. Para realizar a simulação, é elaborada uma chuva de projeto, que é aplicada ao modelo. Como resultado, são apresentadas manchas de alagamento, com a altura da lâmina d'água e vazões de saída e tempo de escoamento. O modelo foi calibrado, nas condições atuais, com dados medidos a partir de uma chuva real. Com o modelo calibrado, foi inserida a chuva de projeto de tempo de recorrência de 10 anos (TR 10), segundo recomendação da Fundação Rio-Águas para projetos de microdrenagem (Rio de Janeiro, 2019). Os resultados obtidos pelo MODCEL foram considerados como base de comparação para os encontrados pela ferramenta SUDS-UP. Ao final, os resultados dos dois processos foram comparados e analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ferramenta SUDS-UP foi aplicada em uma área localizada nos bairros da Glória e Catete, inserida na Sub-bacia do Rio Carioca, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil (Figura 2). A escolha dessa área justifica-se por seu tecido urbano consolidado e pela recorrência de alagamentos, mesmo durante eventos de chuvas ordinárias. Adicionalmente, destaca-se a mobilização da Associação de Moradores em prol de melhorias no sistema de drenagem, assim como o interesse institucional da Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro (RIO-ÁGUAS), órgão municipal responsável pela gestão da drenagem urbana.



Figura 2: Localização da área de estudo.
Fonte: Elaboração própria (2025).

A Etapa A (Diagnóstico) revelou dois principais pontos de alagamento na área de estudo, ambos situados na Rua do Catete: o primeiro próximo à esquina da Rua Silveira Martins (Ponto 1) e o segundo na confluência com a Rua Pedro Américo (Ponto 2).

A realização das Etapas A, B e C possibilitou que a análise aprofundada da área de estudo em relação às suas condicionantes físicas, urbanas, ambientais, sociais e econômicas, sendo possível propor dois projetos conceituais, que serão chamados aqui de A1 e A2. O projeto conceitual A1 contou com cinco jardins de chuva com fundo permeável; dois jardins de chuva com fundo impermeável; duas bacias de detenção; três pavimentos permeáveis com fundo impermeável; quatro pavimentos permeáveis com fundo permeável; e uma trincheira, totalizando 11.714m² de intervenção urbana e 3.018m³ de água retida. O projeto conceitual A2 contou com as mesmas intervenções de A1, porém, ainda, com a adição de 29.000m² de pavimento permeável nas calçadas, chegando a um total de 41.651m² de área de projeto e 7.012m³ de água manejada. A Figura 3 apresenta a localização da área de estudo, os dois pontos principais de alagamento e os dois projetos conceituais propostos.

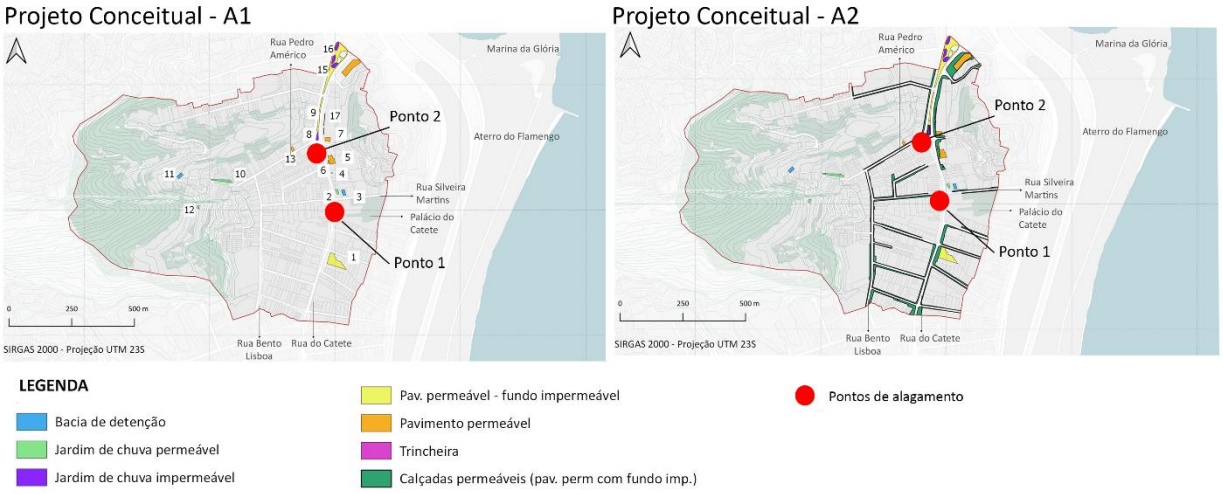


Figura 3: Projetos Conceituais A1 e A2.
Fonte: Elaboração própria (2025).

Como últimas etapas do procedimento metodológico (Etapa D), foram realizados os cálculos do volume estimado de chuva a ser manejada, chegando ao valor de 11.772m³. Em seguida, os dados dos volumes foram comparados. De acordo com a SUDS-UP, houve uma redução de volume de cerca de 26% para o A1 e de cerca de 60% para o A2.

A etapa seguinte correspondeu à verificação do funcionamento desse projeto com o suporte do modelo matemático hidrodinâmico MODCEL, que foi calibrado e, posteriormente, considerado para simular uma chuva com Tempo de Recorrência de 10 anos. O modelo foi calibrado a partir de informações de uma chuva real, ocorrida nos dias 07 e 08 de fevereiro de 2023, com dados medidos *in loco*, indicando uma lâmina d'água de aproximadamente 0,40m na Rua do Catete, em frente ao Palácio do Catete. Foram utilizados dados disponibilizados pelo Sistema Alerta Rio correspondentes às alturas pluviométricas registradas a cada 15 min no Posto de Laranjeiras e de Santa Teresa no período de 15h30min até as 00h30min. Para esta etapa, foi utilizado o Posto Pluviométrico do Jardim Botânico, por ser o mais próximo da área de estudo a conter as informações necessárias para a elaboração dos cálculos da equação IDF (intensidade-duração-frequência).

Em seguida, as informações dos dois projetos conceituais, nesta fase chamados de B1 e B2, sendo correspondentes, respectivamente, ao A1 e A2, foram inseridas no MODCEL. Os valores obtidos foram comparados com o da situação atual e com isso, foi feita uma comparação entre os volumes de cheias para cada projeto conceitual. Em B1 houve uma redução de 33% do volume e em B2 de 36% (Tabela 1).

Cenário	**Redução do Volume do Escoamento Superficial**	
	SUDS-UP	**MODCEL**
A1/B1	26%	33%
A2/B2	60%	36%

Tabela 1: Comparativo entre os resultados de Volume de Escoamento Superficial.
Fonte: Elaboração própria (2025).

A comparação entre A1 e B1 revela que os valores do escoamento superficial obtidos são similares, 26 e 33%, respectivamente, sendo o advindo do MODCEL levemente maior. Já, o comparativo entre A2 e B2 expressa valores díspares, 60% e 36%, respectivamente.

Para entender melhor esses resultados, foi efetuada a mesma análise para cada um dos dispositivos em ambas as ferramentas. Foi verificado que as técnicas inseridas em B1 foram, em grande parte, preenchidas pela simulação da água da chuva, o que corrobora com os valores de volume obtidos entre os dois métodos. No entanto, foi observado que as técnicas localizadas nas encostas foram pouco preenchidas. Em contrapartida, os dispositivos localizados perto dos pontos de alagamento foram totalmente preenchidos, sendo que alguns deles, segundo o MODCEL, influenciaram positivamente na desobstrução de algumas galerias subterrâneas, promovendo um maior manejo das águas. Esse fato explica porque o valor do volume retido em B2 foi maior do que em A1. O MODCEL considera os efeitos da hidrodinâmica, pois trabalha com todas as infraestruturas inseridas no modelo de forma integrada, podendo uma impactar diretamente o funcionamento de outra.

Em B2, apenas uma pequena parte dos pavimentos permeáveisreteve a água, ou seja, somente alguns contribuíram para a redução do volume final. Ao observar o projeto A2/B2, percebe-se que praticamente todas as calçadas da área de estudo receberam pavimento permeável, independente se estariam, de fato, recebendo água do escoamento superficial. Acredita-se ter havido um superdimensionamento deste dispositivo. Essa observação elucida as diferenças de valores encontrados em A2 e B2, pois a ferramenta SUDS-UP considerou que a água de chuva chegaria em todos eles e os preencheriam inteiramente. Entretanto, de acordo com o MODCEL, a água só entrou em alguns.

Estas verificações sugerem que se o projeto conceitual estiver superdimensionado e/ou com dispositivos inseridos em locais não apropriados, como em encostas, a ferramenta SUDS-UP não será capaz de fazer essa avaliação e responderá com um resultado super estimado. Ao mesmo tempo, o resultado da ferramenta pode ser abaixo do esperado por não considerar os efeitos positivos da influência de uma estrutura na outra.

Também foi realizado um estudo sobre o impacto nas alturas das lâminas d'água dos Pontos 1 e 2 dos alagamentos, considerando os resultados obtidos por meio do MODCEL. De acordo com a situação atual, a altura de lâmina d'água no Ponto 1 é de 0,62m e no Ponto 2 é de 0,85m. Foi verificado que em B1, no Ponto 1, o valor final foi de 0,36m, tendo uma redução de 42%, e no Ponto 2, a altura ficou em 0,57m, reduzindo 33%. Em B2, foi observado que no Ponto 1, a altura resultante foi de 0,11m, indicando uma diminuição de 82% e no Ponto 2, o valor final foi de 0,48m, sendo uma redução de 44%. Esses resultados indicam que os dois projetos conceituais responderam positivamente à mitigação dos alagamentos no Ponto 1 e 2 (Tabela 2).

Situação	Altura lâmina d'água (m)	Redução (%)	Altura lâmina d'água (m)	Redução (%)
	Ponto 1		Ponto 2	
Atual	0,62	x	0,85	x
B1	0,36	42%	0,57	33%
B2	0,11	82%	0,48	44%

Tabela 2: Comparativo entre os resultados da altura da lâmina d'água do escoamento superficial.
Fonte: Elaboração própria (2025).

Ao comparar B1 e B2, percebe-se que os dois projetos contribuíram significativamente na redução da lâmina d'água no Ponto 1. Pode-se inferir que B2 trouxe um ganho ao projeto de B1, pois intensificou a redução da altura final, representando praticamente o dobro no valor final. Porém, no ponto 2, a contribuição da redução de B2 em relação a B1 foi de 11%, o que indica um melhora razoável.

Ao observar a localização do Ponto 1 e do Ponto 2 em relação aos pavimentos permeáveis inseridos em B2, percebe-se que a maior parte está mais próxima ao Ponto 1, ou seja, pertencem à área de contribuição direta do Ponto 1 e que uma menor quantidade de dispositivos de pavimento permeável está na área de influência do Ponto 2. Esta percepção explica a razão da contribuição dos pavimentos permeáveis em B2 terem sido menores do que B1.

No entanto, foi notado que menos da metade dos pavimentos permeáveis recebeu a água de chuva. Logo, infere-se que esta redução de altura apresentada das lâminas d'água, assim como do volume geral, poderia ser igualmente alcançada por meio de um projeto que contivesse somente algumas áreas de pavimento permeável.

Esses resultados apontam que a ferramenta SUDS-UP obteve um resultado muito satisfatório na simulação de dispositivos implementados nas proximidades das áreas de alagamento. Por outro lado, observou-se a superestimação dos resultados para as técnicas alocadas em áreas de encosta, bem como superdimensionamento na aplicação de pavimentos permeáveis em quase todas as calçadas, o que não retornou resultados significativos para a mitigação dos alagamentos.

5. CONCLUSÕES

Os dois projetos conceituais contribuíram para a mitigação do volume do escoamento superficial e redução das alturas das lâminas d'água dos dois principais pontos de alagamento da área de estudo.

Os resultados comparativos entre as duas ferramentas analisadas, MODCEL e SUDS-UP, indicam que a SUDS-UP está apta a ser utilizado na fase de Estudo Preliminar em projetos de Arquitetura e Urbanismo. Recomenda-se que, para o seu bom desempenho, as técnicas de SUDS sejam implantadas preferencialmente em áreas próximas aos pontos de alagamento, evitando-se áreas

de encosta. A inserção dos dispositivos deve ser pontual e criteriosa, priorizando locais com vocação e condições adequadas para sua implementação.

Embora a ferramenta tenha apresentado desempenho satisfatório, recomenda-se que pesquisas futuras promovam alguns aprimoramentos: (a) o refinamento dos campos referentes aos cálculos de pré-dimensionamento, de modo a considerar o efeito da infiltração da água no solo; (b) a aplicação da ferramenta em outros estudos de caso e diferentes tecidos urbanos, o que pode revelar novas situações, positivas ou negativas, que ainda não foram investigadas; (c) a ampliação dos parâmetros avaliados, incluindo não apenas o volume do escoamento superficial, mas também a lâmina d'água (calculada pelo MODCEL), a redução do tempo de permanência e da frequência dos alagamentos; (d) a migração da base de dados da ferramenta para um software com interface mais amigável, facilitando seu uso por diferentes perfis de usuários. Estes aprofundamentos estão sendo investigados na nova fase desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIZA, S.; MARTÍNEZ, J.; MUÑOZ, A.; QUIJANO, J.; RODRÍGUEZ, J.; CAMACHO, L.; DÍAZ-GRANADOS, M. A Multicriteria Planning Framework to Locate and Select Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in Consolidated Urban Areas. **Sustainability**, v. 11, p. 2312. 2019.

BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** 318p. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.

BAHIENSE, J. M. **Avaliação de técnicas compensatórias em drenagem urbana baseadas no conceito de desenvolvimento de baixo impacto, com o apoio de modelagem matemática**. Dissertação de Mestrado (Programa de Engenharia Civil Rio de Janeiro), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CALIFORNIA. **Design Handbook For Low Impact Development Best Management Practices. Riverside County Flood Control and Water Conservation** District. 2011.

CHAPA, F.; PÉREZ, M.; HACK, J. Experimenting Transition to Sustainable Urban Drainage Systems—Identifying Constraints and Unintended Processes in a Tropical Highly Urbanized Watershed. **Water**, v. 12, n. 12, p. 3554, 2020.

CIRIA. **The SUDS Manual**. By Woods-Ballard, B.; Kellagher, R.; Martin, P.; Bray, R; Shaffer, P. CIRIA C697. London. 2015

EM-DAT. **Disasters in numbers. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters** (CRED). Belgica. 2022.

FERRANS, P.; TORRES, M. N.; TEMPRANO, J.; SÁNCHEZ, J. P. R. Sustainable Urban Drainage System (SUDS) Modeling Supporting Decision-Making: A Systematic Quantitative Review. **Science of the Total Environment** v. 806, 2022.

FLETCHER, T.; SHUSTER, W.; HUNT, W.F.; RASHLEY, R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI- DAVIES, A.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; MIKKELSEN, P.S.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015.

GRAHN, T., NYBERG, L. Assessment of pluvial flood exposure and vulnerability of residential areas. International **Journal of Disaster Risk Reduction**, 21, 367–375, 2017.

HOANG, L.; FENNER, R.A. System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure. **Urban Water Journal**, v. 13, n. 7, p. 739-758, 2016.

JHA, A. K., BLOCH, R., LAMOND, J. **Cities and flooding: A guide to integrated urban flood risk management for 21st century**. Washington D.C: The World Bank, 2012.

KULLER, M.; BACH, P. M.; RAMIREZ-LOVERING, D.; DELETIC, A. Framing water sensitive urban design as part of the urban form: A critical review of tools for best planning practice. **Environmental Modelling & Software** v. 96 p. 265-282, 2017.

MIGUEZ, M. G.; BATTEMARCO, B. P.; SOUSA, M. M.; REZENDE, O. M.; VERÓL, A. P.; GUSMAROLI, G. Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 6, 2017.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana – do projeto tradicional à sustentabilidade**. 384p. 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. Campus. 2015.

REZENDE, O. M.; AREND FILHO, L. A.; SOUZA, M. S.; MIGUEZ, M. G.; MAGALHÃES, P. C. Projetos para Controle de Inundações: conceito de reservação x conceito de canalização. **Anais XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Campo Grande, Mato Grosso. 2009.

REZENDE, O. M.; FRANCO, A. B.; OLIVEIRA, A. K. B.; MIRANDA, F. M.; JACOB, A. C.; SOUSA, M. M.; MIGUEZ, M. g. Mapping the flood risk to Socioeconomic Recovery Capacity through a multicriteria index. **Journal of Cleaner Production** v. 255, 2020.

RIO DE JANEIRO. Subsecretaria de gestão de bacias hidrográficas - Rio-Águas. **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana**. RIO-ÁGUAS. Cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

UN-HABITAT. **World Cities Report 2022 – Envisaging the Future of Cities**. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), 2022.

UNITED NATIONS. **New Urban Agenda**. United Nations. ISBN: 978-92-1-132731-1, 2017.

UNITED NATIONS. **Global Sustainable Development Report 2019: The Future is Now**. Department of Economic and Social Affairs, New York, 2019.

VASCONCELOS, A. F. **Estudo e proposição de critérios de projeto para implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte**. Dissertação de Mestrado (Programa de Engenharia Civil Rio de Janeiro), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

VERÓL, A. P.; LOURENÇO, I. B.; FRAGA, J. P. R.; BATTEMARCO, B. P.; MERLO, M. L.; DE MAGALHÃES, P. C.; MIGUEZ, M. G. River restoration integrated with sustainable urban water management for resilient cities. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 4677, p. 1–3, 2020.

WATER BY DESIGN. **Biorrentetion Technical Design Guidelines** (Version 1.1). Healthy Waterways Ltd, Brisbane. Disponível em: www.waterbydesign.com.au. 2014.

ZEVENBERGEN, C.; FU, D.; PATHIRANA, A. Transitioning to Sponge Cities: Challenges and Opportunities to Address Urban Water Problems in China. **Water**, v. 10, n. 9, p. 1230, 2018.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) [001; 88887.939781/2024-00 - BOLSA] e Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) [E-26/204.443/2024 - BOLSA]. Os autores agradecem, ainda, a Cátedra UNESCO “Drenagem Urbana em Regiões Costeiras”, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, à qual esta pesquisa está vinculada.