



## **Contenção de alagamentos com infraestrutura verde na cidade do Paranoá-DF: modelagem hidráulica- hidrológica**

***Containing of flooding with green infrastructure in the city of Paranoá-DF: hydraulic-hydrological modeling***

***Contención de inundaciones con infraestructura verde en la ciudad de Paranoá-DF: modelación hidráulico-hidrológica***

SILVEIRA, Valéria Barroso da<sup>1</sup>  
MEDEIROS, José Marcelo Martins <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, DF, Brasil.  
arqvaleriabarroso@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-4467-2592

<sup>2</sup> Universidade Federal do Tocantins, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais. Palmas, Tocantins, Brasil.  
medeirosjose@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-2554-8289

Recebido em 30/08/2022 Aceito em 23/08/2023



## Resumo

Planejar cidades mais sustentáveis e resilientes se tornou um grande desafio, principalmente onde densas ocupações e problemas de infraestrutura e ambientais estão sobrepostos. Este artigo tem como objetivo analisar a relação entre natureza e urbano por meio de uma rede de corredores verdes multifuncionais, com foco no estudo de soluções de infraestrutura verde aplicadas ao projeto de drenagem pluvial do Paranoá (Distrito Federal), no trecho de constante alagamento. Após investigação da situação-problema e pesquisa do referencial teórico, foram desenvolvidas simulações de dois cenários (rede projetada e rede projetada com *Low Impact Development-LID*), com o programa PCSWMM (ChiWater), que trabalha os processos hidrológicos em bacias urbanas. Como resultado, foi verificado que a rede em ambos cenários está dimensionada adequadamente de acordo com a chuva de projeto, pois não foram identificados extravasamentos nos poços de visita. O cenário 1 apresentou vazão máxima compatível com a rede projetada e o cenário 2 ocorreu a redução da vazão máxima na retenção do escoamento superficial com utilização das LIDs. A comparação dos cenários demonstrou as vantagens da contribuição da infraestrutura verde de criar espaço de integração para a população.

**Palavras-Chave:** Drenagem urbana, infraestrutura verde, corredores verdes multifuncionais, sustentabilidade.

## Abstract

*Planning more sustainable and resilient cities has become a major challenge, especially where dense occupations and infrastructure and environmental problems overlap. This article aims to analyze the relationship between nature and the urban environment from a network of multifunctional green corridors, focusing on the study of green infrastructure solutions applied to the stormwater drainage project of Paranoá (Federal District), in the stretch of constant flooding. After investigating the problem situation and researching the theoretical framework, simulations of two scenarios were developed (projected network and network with Low Impact Development-LID), with the PCSWMM program (ChiWater), which works with hydrological processes in urban basins. As a result, it was verified that the projected network in both scenarios is adequately sized according to the design rainfall, as no overflows were identified in the junctions. Scenario 1 presented a maximum flow compatible with the projected network and scenario 2 there was a reduction in the maximum flow in the retention of surface runoff with use of LIDs. The comparison of the scenarios demonstrated the advantages of the contribution of the green infrastructure to create integration space for the population.*

**Key-Words:** Urban drainage, green infrastructure, multifunctional green corridors, sustainability.

## Resumen

*La planificación de ciudades más sostenibles y resilientes se ha convertido en un desafío importante, especialmente donde se superponen ocupaciones densas e infraestructura y problemas ambientales. Este artículo tiene como objetivo analizar la relación entre la naturaleza y el medio ambiente urbano a partir de una red de corredores verdes multifuncionales, centrándose en el estudio de soluciones de infraestructura verde aplicadas al proyecto de drenaje pluvial de Paranoá (Distrito Federal), con el objetivo de estudiar caso el tramo de inundaciones constantes. Luego de investigar la situación problema e investigar el marco teórico, se desarrollaron simulaciones de dos escenarios (red proyectada y red con Low Impact Development-LID), con el programa PCSWMM (ChiWater), que trabaja con procesos hidrológicos en cuencas urbanas. Como resultado se verificó que la red proyectada en ambos escenarios se dimensiona adecuadamente de acuerdo a la pluviometría de diseño, ya que no se identificaron desbordamientos en los pozos de registro. El escenario 1 presentó un caudal máximo compatible con la red proyectada y el escenario 2 hubo una reducción del caudal máximo en la retención de escurrimiento superficial con el uso de LIDs. La comparación de los escenarios demostró las ventajas de la contribución de la infraestructura verde para crear espacios de integración para la población.*

**Palabras clave:** Drenaje urbano, infraestructura verde, pasillos verdes multifuncionales, sustentabilidad.

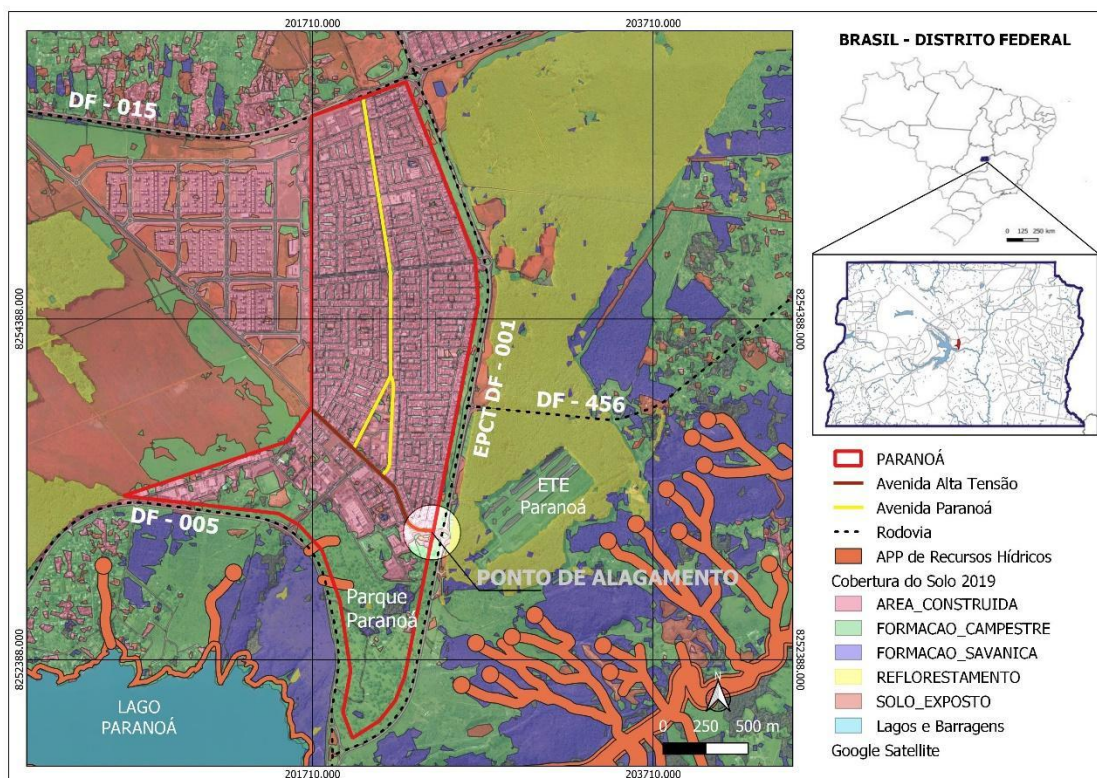
## 1. Introdução

Áreas urbanas densas com altos índices de impermeabilização do solo enfrentam desafios relacionados ao manejo inadequado das águas pluviais, causados por constantes enchentes e alagamentos. Esses problemas são agravados pelas mudanças climáticas e pela falta de planejamento adequado. A incapacidade dos sistemas de drenagem existentes em lidar com o volume crescente de água das chuvas leva ao transbordamento dos sistemas de escoamento, prejudicando a qualidade de vida da população (ARAÚJO, 2018).

A área de estudo, cidade do Paranoá-DF, se originou a partir do acampamento criado para abrigar os primeiros trabalhadores que chegaram na região em janeiro de 1957, para a construção da Barragem do Paranoá. Essa ocupação se desenvolveu no entorno daquela obra, em área próxima à barragem, onde hoje se localiza a orla do Lago Paranoá. Após a inauguração de Brasília, em 1960, os pioneiros permaneceram no local, e naquela época, o acampamento de operários denominado Vila Paranoá já abrigava cerca de 3 mil moradores, abrigados em 800 barracos assentados ao norte da Barragem. Em 1980, a população da Vila Paranoá já aparecia como a maior área de ocupação espontânea no DF, com 25 mil habitantes (CODEPLAN, 2018).

A cidade do Paranoá, classificada como Área de Regularização de Interesse Social - ARIS Núcleo Urbano do Paranoá (PDOT, 2009), surgiu de forma planejada, caracterizada por ser uma ocupação consolidada provida de equipamentos públicos, espaços de áreas verdes e infraestrutura básica. Assim como em outras cidades adensadas, ela enfrenta alguns problemas como a impermeabilização do solo, a falta de urbanização ou aproveitamento adequado dos espaços verdes, e o consequente surgimento de pontos de alagamentos, principalmente à jusante das Avenida Paranoá e Alta Tensão.

**Figura 1:** Mapa de Uso e Ocupação do solo da cidade do Paranoá-DF.



Fonte: Geoportal. Autor (2021).



Conforme mostra a Figura 1, as Avenidas Paranoá e Alta Tensão são eixos viários estruturadores da cidade. Destinadas às atividades comerciais, bens de serviço, habitação e institucional, se estendem tanto no sentido longitudinal (norte-sul), quanto no sentido transversal (leste-oeste), respectivamente. Possuem alta concentração de edificações ocupando inteiramente os terrenos, largas vias carroçáveis impermeáveis, bem como arborização urbana esparsa ou nenhuma nas calçadas e canteiro central. Estes fatores da urbanização sobrepostos ao meio ambiente natural, acarretam uma diminuição da infiltração de água no solo, e o aumento do escoamento superficial, alterando drasticamente o ciclo natural da água (ARAÚJO, 2018).

Diante deste cenário, vê-se a necessidade de mudança de paradigmas quanto à avaliação de uma ocupação consolidada e seus impactos sobre as águas urbanas. Segundo Polidori (2005), os encarregados dos planejamentos urbano e ambiental têm sido desafiados, a cada dia mais, a integrar dados urbanos e dos ambientes naturais para compreender as cidades e planejar o seu futuro. Logo, os problemas urbanos estão inter-relacionados e devem ser estudados e planejados de forma conjunta, pautados não só nas ações da Agenda 21 como também na participação popular, a fim de proporcionar a todos o direito à cidade justa e ambientalmente equilibrada.

Este estudo tem como Objetivo Geral, analisar a possibilidade de integrar soluções de infraestrutura verde ao projeto de revitalização da Avenida Paranoá em andamento, com o intuito de formar uma rede de corredores verdes multifuncionais, e viabilizar a retenção das águas provenientes do escoamento superficial ao longo do Trecho 4 (Avenidas Paranoá e alta Tensão), evitando assim pontos de alagamento detectado à jusante, mais especificamente no poço de visita (PV-1.72).

A proposta dos corredores verdes neste artigo está relacionada aos princípios do planejamento ecológico da paisagem, integrando a infraestrutura verde à drenagem urbana. Segundo Medeiros (2008), numa perspectiva do paisagismo ecológico, o sistema hidrológico e as relações criadas pela paisagem têm um papel crucial na alocação dos usos do solo. De fato, a configuração urbana consolidada da cidade do Paranoá traz grandes desafios para a implementação da infraestrutura verde. Contudo, a topografia local possibilita a criação de um ou mais corredores verdes multifuncionais interligando vias, parque e o Lago Paranoá, com o intuito de promover atividades sociais, qualidade de vida e respeitar os fluxos naturais.

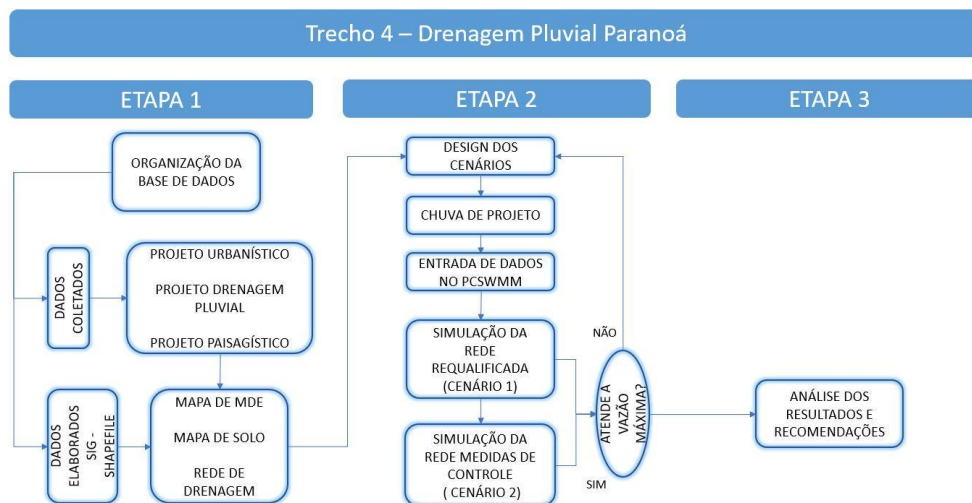
## 2. Metodologia

A metodologia foi organizada em três etapas distintas. A primeira foi a investigação da situação-problema de transbordamento do PV-1.72 em momentos críticos de precipitação, e sua possível mitigação. Conversas com técnicos e entidades públicas foram de grande importância para a compreensão da situação e posterior obtenção de dados de projetos para iniciar as análises, em conjunto com pesquisas de referencial teórico.

Na segunda etapa foram desenvolvidas as simulações dos Cenários 1 e 2 com o programa PCSWMM, que requer a entrada (*input*) de uma grande quantidade de dados (ARAÚJO, 2018). Esses *inputs* são acompanhados dos seguintes dados: (i) arquivos SIG referente ao sistema de drenagem pluvial (*subcatchments, conduits, junctions*); (ii) arquivos SIG do Modelo de Elevação - MDE; e (iii) chuva de projeto. O método adotado é o SCS (*Soil Conservation Service*) conforme o Programa, para o cálculo do escoamento de água superficial, baseado na Curva-número - CN, indicado em bacias urbanas, tendo sido amplamente utilizado e com êxito nas simulações. (COSTA, 2013).

Já na terceira etapa foram analisados os resultados obtidos e elencadas as recomendações gerais com vistas à melhoria tanto no sistema de drenagem pluvial como no projeto paisagístico, consideradas as contribuições da infraestrutura verde.

**Figura 2:** Fluxograma do procedimento metodológico.



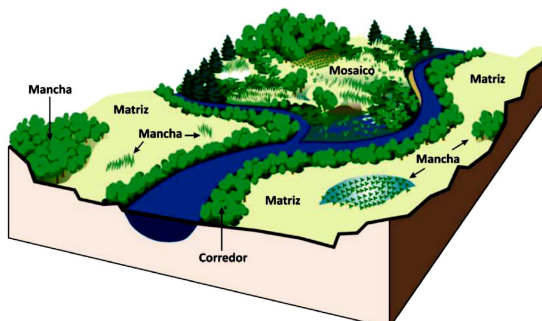
Fonte: Autor (2021).

### 3. Infraestrutura verde

O termo “infraestrutura verde” surgiu em decorrência da evolução da abordagem ecológica da paisagem. Segundo Bonzi (2015), o norte-americano Frederick Law Olmsted pode ser considerado o precursor do planejamento da paisagem, surgido na segunda metade do século XIX, exemplificando seus ideais no projeto do Parque Emerald Necklace, (Boston e Brookline, Massachusetts), desenvolvido entre 1878 e 1895.

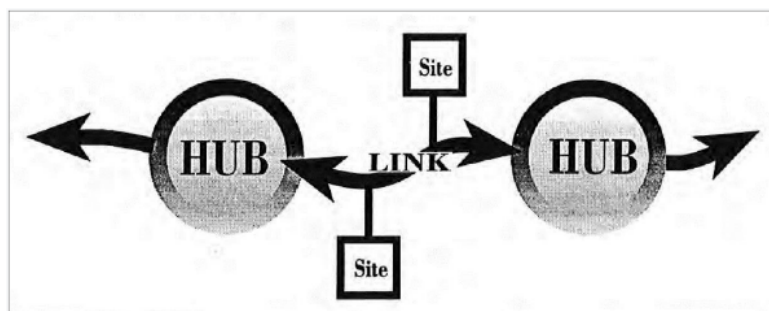
Nos períodos seguintes, outros pensadores consolidaram o campo de estudo da ecologia da paisagem, como por exemplo Forman e Gordon (1986), que definiram a paisagem como um sistema, e propõem a unidade de análise “Mosaico Territorial” composto por três morfologias espaciais: manchas, corredores e matriz (MEDEIROS, 2015). As “manchas” são superfícies homogêneas, não lineares, que se diferem em aparência de seu entorno; os “corredores” são faixas estreitas e longas que se diferem dos lados adjacentes; e a “matriz” é o elemento paisagístico predominante da paisagem, com maior extensão e de maior conectividade (FORMAN, 1995).

**Figura 3:** Modelo do “Mosaico Territorial” de Forman e Gordon.



Fonte: adaptado de Rudolpho, 2002, p.31 apud FISRWG, 1998, p.05.

**Figura 4:** Componentes genéricos de sistemas de corredores verdes, Florida, 1994.



Fonte: Florida Greenways Commission, 1994, p.09.

Nessa linha de pensamento, Mark Benedict concluiu o relatório chamado “Criando um Sistema Estadual de Corredores Verdes – para pessoas, para vida selvagem e para Florida” (1994). No conteúdo do relatório, os corredores verdes são conceituados como uma composição de: blocos ecossistêmicos tais como florestas, reservas e parques (*hubs*); corredores estabelecendo ligações (*links*); e blocos locais (*sites*), compostos de recursos naturais com foco nos aspectos históricos, culturais e recreativos. Observa-se na figura 3, a correlação com os elementos do Mosaico de Forman (1986), entre as manchas e os blocos ecossistêmicos (*hubs*); entre os corredores e as ligações (*links*); e entre as manchas menores e os blocos locais (*sites*) (GUIMARÃES, 2019).

Benedict e McMahon (2002), seguindo o mesmo sistema idealizado no movimento dos corredores verdes, afirmam que uma rede de infraestrutura verde conecta ecossistemas e paisagens em um sistema de *hubs, links e sites*.

Comier e Pellegrino (2008) consideram que uma escala regional, composta por “parques, corredores verdes e espaços naturais preservados” pode ser a base de um sistema de Infraestrutura Verde que, se expandido até a escala local, pode readequar contextos da infraestrutura urbana implantada, em especial os relativos à drenagem sustentável (Figuras 5 a 8). Em convergência com esta concepção, diversos autores incluem na escala local dispositivos de sistemas de drenagem sustentável, como jardim de chuva, canteiro pluvial, biovaleta, lagoa pluvial, teto verde, entre outros, compondo a rede interconectada da Infraestrutura Verde (HERZOG, 2010; VASCONCELLOS, 2011; BENINI, 2015; GUIMARÃES, 2019).

**Figura 5:** Exemplos esquemáticos de jardins de chuva e suas aplicações.



Fonte: Comier e Pellegrino, 2008, p.128 (esquerda); e, fluxus.eco.br/portfolio/jardim-de-chuva-largo-das-araucarias (direita)

**Figura 6:** Exemplos esquemáticos de canteiro pluvial (célula de birretenção) e suas aplicações.



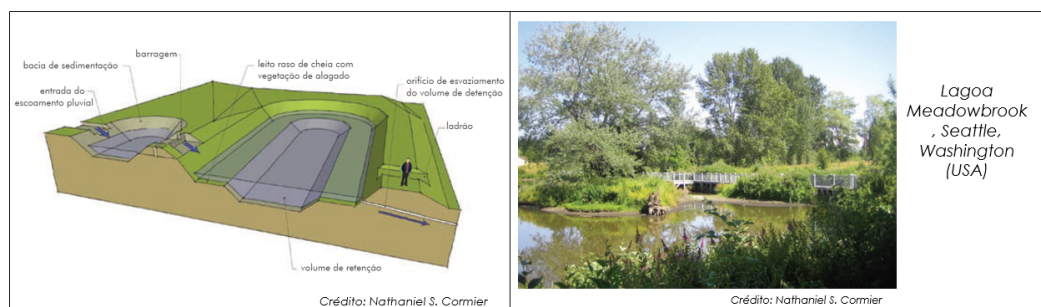
Fonte: Cormier e Pellegrino, 2008, p. 131.

**Figura 7:** Exemplos esquemáticos de biovaletas e suas aplicações.



Fonte: Cormier e Pellegrino, 2008, p. 132 e 133.

**Figura 8:** Exemplos esquemáticos de lagoa pluvial (*wetlands*) e suas aplicações.



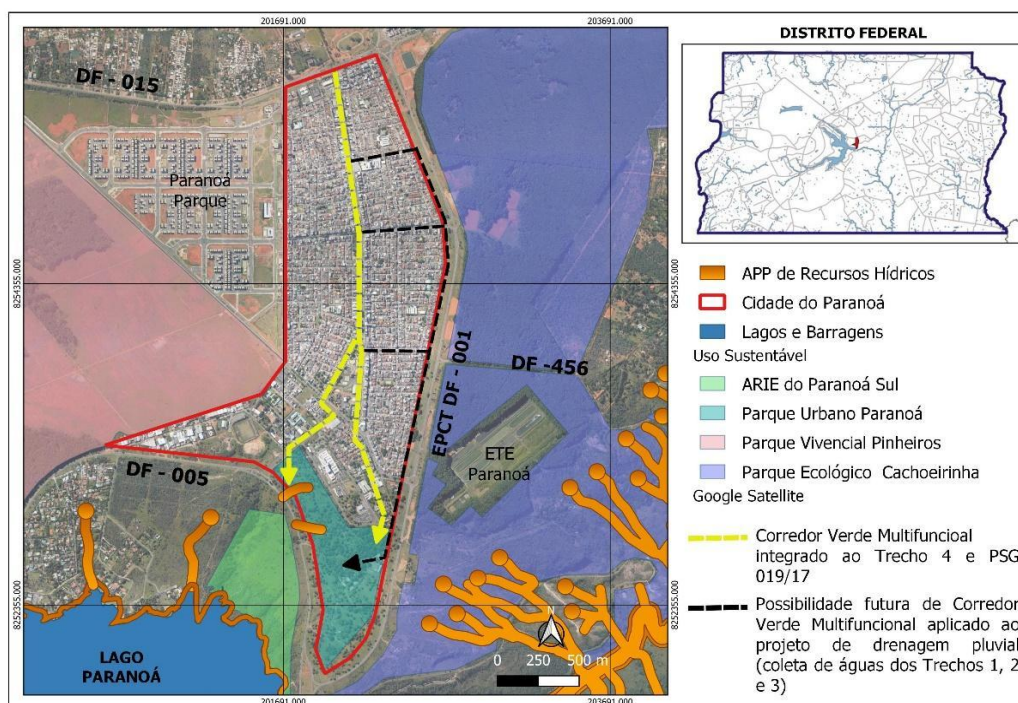
Fonte: Cormier e Pellegrino, 2008, p. 134.

Para Ahern, Pellegrino e Becker (2014), essa infraestrutura híbrida com abordagem paisagística busca compor serviços ecossistêmicos junto aos sistemas convencionais e à malha urbana, apropriada para manter a integridade ecológica das paisagens das periferias urbanas. Com base nisso, é possível identificar esse cenário de infraestrutura híbrida, na qual a infraestrutura cinza, as *Best Management Practices* - BMP e a infraestrutura verde funcionam integradas. Nesse sentido é possível dizer que os sistemas de drenagem compostos pelas técnicas do *Low Impact Development* - LID, ao simular as condições de pré-desenvolvimento da área urbana, visam garantir que a vazão a ser lançada nos corpos hídricos seja compatível com a capacidade de suporte da Infraestrutura Verde impactada. Por isso, infere-se que a utilização das BMPs, propostas no LID, podem se constituir em soluções de drenagem urbana, visando garantir a sustentabilidade e a efetividade do funcionamento ecológico da Infraestrutura Verde (GUIMARÃES, 2019).

A partir da evolução das experiências com metodologias de projeto para estabelecimento de redes de estrutura ecológica, Benedict e MacMahon (2006), sintetizaram e propuseram os seguintes passos e ações voltados ao planejamento: (i) elaborar objetivos - selecionar o foco do design e os atributos naturais e/ou artificiais desejados para a rede de espaços; (ii) diagnosticar paisagem - coletar e analisar os atributos da paisagem, relacionando-os aos objetivos e atributos desejados, indicando áreas sensíveis voltadas à conservação; (iii) identificar e conectar os elementos de rede - identificar *hubs*, *links* e *sites* existentes ou a serem criados, coerentes com os passos anteriores, conectando elementos e elaborando *design* da rede; (iv) revisar o projeto (GUIMARÃES, 2019).

Logo, observando o mapa de uso sustentável da Cidade do Paranoá (Figura 9), verifica-se que o Parque Urbano Paranoá (*site*), por ser lindeiro à área urbana, apresenta potencial para a criação e um corredor ecológico com as avenidas Paranoá e Alta Tensão (*links* locais), e consequentemente, a integração de espaços públicos com soluções sustentáveis de infraestrutura verde.

Figura 9: Mapa de Uso Sustentável da cidade do Paranoá-DF.



Fonte: Geoportal. Autor (2021).

#### 4. Urbanização da Cidade do Paranoá

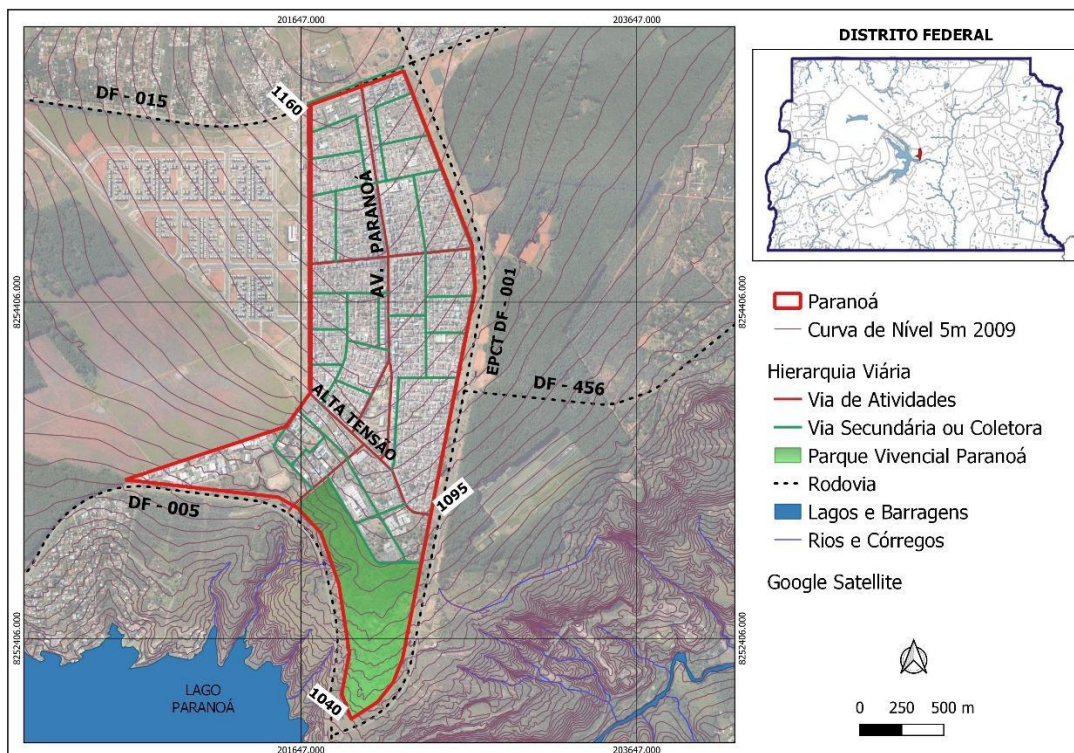
A Cidade Paranoá está situada na Região Administrativa do Paranoá - RA VII e inserida na bacia hidrográfica do Lago Paranoá. Confronta-se: ao norte com a rodovia DF-015; ao sul com a rodovia DF-005 e a Área de Relevante Interesse Ecológico - ARIE do Paranoá; a leste com a rodovia EPCT DF-001, o Parque Ecológico da Cachoeirinha e a Estação de Tratamento de Esgoto - ETE do Paranoá; e a oeste com o Paranoá Parque e o Parque Vivencial Pinheiros.

A fixação da Vila Paranoá, se deu após recomendações do Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental - EIA/RIMA (1989), que desaconselhou a ocupação urbana abaixo da cota 1.100m, por fatores geomorfológicos que dificultariam a execução de redes de esgotamento sanitário e drenagem pluvial.



Dessa forma, a locação da Vila foi, então, ajustada para local com solo mais adequado, a montante da ocupação existente, com a elaboração do projeto urbanístico (1988) pela equipe do Departamento de Urbanismo (DeU/GDF) no âmbito do Programa de Assentamento Habitacional do DF, que permitiu a distribuição de lotes semi-urbanizados, com área de 125 m<sup>2</sup>, pelo sistema de Concessão de Uso (CODEPLAN, 2018). Já a área da ocupação antiga foi transformada em um parque ecológico denominado “Parque Urbano Paranoá”.

**Figura 10:** Mapa de Curvas de Níveis (5m) e o sistema viário estruturante da Cidade do Paranoá-DF.



Fonte: Geoportal. Autor (2021).

Do ponto de vista ambiental, algumas recomendações de implantação do RIMA (1989) foram acatadas, porém outras ainda necessitam ser implementadas, como: (i) programa ambiental nas áreas liberadas das invasões; (ii) plano de recuperação ambiental do entorno do assentamento; (iii) substituição da orla de floresta de pinus ao redor do assentamento por árvores frutíferas e nativas, que deve ser feita em regime de mutirão.

As obras de urbanização relacionadas às redes de drenagem pluvial realizadas no local datam da década de 70, e o último projeto de drenagem pluvial da Cidade do Paranoá foi elaborado em 1991 pela empresa Consultoria Engenharia e Projetos Ltda (CEP), segundo o cadastro do sistema de drenagem proporcionado pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP). Haja visto o tempo de uso dos dispositivos drenantes e alagamentos na região, a NOVACAP se viu obrigada a adequar a rede existente às atuais exigências do Termo de Referência da NOVACAP (2019) e da Resolução nº 09/2011, da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do DF (ADASA). Consequentemente, procedeu-se com a contratação da empresa Extrema Construção Ltda para a elaboração do Projeto Executivo de Revitalização da Avenida Paranoá, de forma integrada, para solucionar os problemas de urbanização, composto pelo Projeto Executivo de Requalificação da Drenagem Pluvial do Paranoá - DRN-2015 e pelo Projeto de Paisagismo - PSG 019/17.

## 5. Situação-Problema

As avenidas Paranoá e Alta Tensão são classificadas como Vias de Atividades (PDOT, 2009), sendo duas das principais vias no sentido norte-sul e leste-oeste, respectivamente, compostas por atividades institucionais e de uso misto, tais como: residência, comércio e serviços.

**Figura 11:** Avenida Paranoá.



Fonte: Autor (2021).

**Figura 12:** Avenida Alta tensão.



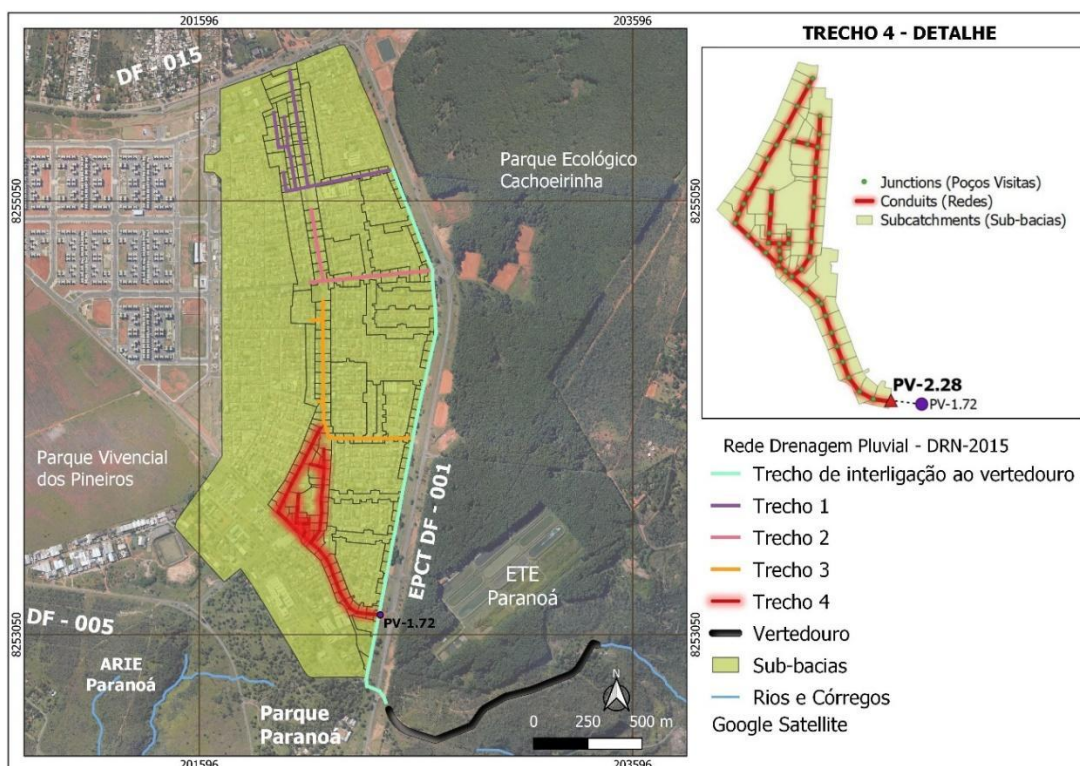
Fonte: Autor (2021).

Essas avenidas apresentam precárias condições de mobilidade e de degradação da paisagem, e atualmente não atendem aos preceitos de acessibilidade. Contam com um canteiro central para contribuir com a permeabilidade do solo, porém a arborização urbana acontece de forma esparsa nas vias. As redes do sistema de drenagem antiga sob as avenidas calculadas à época para um tempo de retorno de 5 anos, contam com tubulações cujos diâmetros variam entre 400 e 1500 mm, dispositivos que em função do seu baixo desempenho, provocam pontos de alagamento à jusante na Avenida Alta Tensão, principalmente no poço de visita PV-1.72, próximo ao 1º balão da via marginal, conforme Figura 14.

O Projeto Executivo de Requalificação da Drenagem Pluvial do Paranoá - DRN-2015 abrange os Trechos 1, 2, 3 e 4 (Figura 13), porém o recorte da análise se limitará ao Trecho 4 até o PV-2.28, anterior ao poço de visita transbordado (PV-1.72). Sua área de contribuição é de 230,06 hectares, composto pela rede antiga reprojeta, acrescida da rede projetada, tendo o coletor tronco requalificado como dispositivo de controle de cheias.

O coletor tronco (Vertedouro) teve sua obra concluída em 2017, com cerca de 980 metros de extensão. Ele conduz a maior parte do deflúvio ao Rio Paranoá, projetado com a utilização de barramentos em cascata, orifícios de controle e vertedouros de segurança, que retardam a velocidade do escoamento, e favorecem a amortização da vazão de pico. Apesar do coletor tronco estar em operação, os demais trechos de rede requalificada de drenagem pluvial, ainda não tiveram suas obras concluídas.

**Figura 13:** Rede de drenagem requalificada da cidade do Paranoá-DF.



Fonte: NOVACAP (2021). Adaptado.

**Figura 14:** Fotos do PV-1.72 transbordado (Avenida Alta Tensão). Data: 16/10/2021. Horário: 12:53h.



Fonte: Autor (2021).

O Projeto de Paisagismo - PSG 019/17 propôs ao longo da avenida Paranoá a redução das faixas de rolamento das vias e do espaço contíguo das vagas de estacionamento, para viabilizar uma melhor estruturação dos elementos que compõem os modais de mobilidade, e garantir a acessibilidade aos espaços públicos. Propôs também a requalificação da praça central, além da criação de oito pequenos espaços de convívio, interligando a área comercial à residencial, sem a circulação dos automóveis. A arborização é composta por árvores nativas e não-nativas, como por exemplo a palmeira Areca de Locuba (*Dypsis madagascariensis*), o Oiti (*Licania tomentosa*) e a Pata de Vaca (*Bauhinia fotficata*). Porém, percebe-se que o projeto de paisagismo se atentou apenas à estética, à mobilidade e à acessibilidade, sem observar os preceitos de sustentabilidade e resiliência aplicados à paisagem urbana.

**Figura 15:** Projeto de Paisagismo - PSG 019/17 da Avenida Paranoá e detalhe da Praça Central.



Fonte: RA VII - Paranoá (2021). Adaptado.

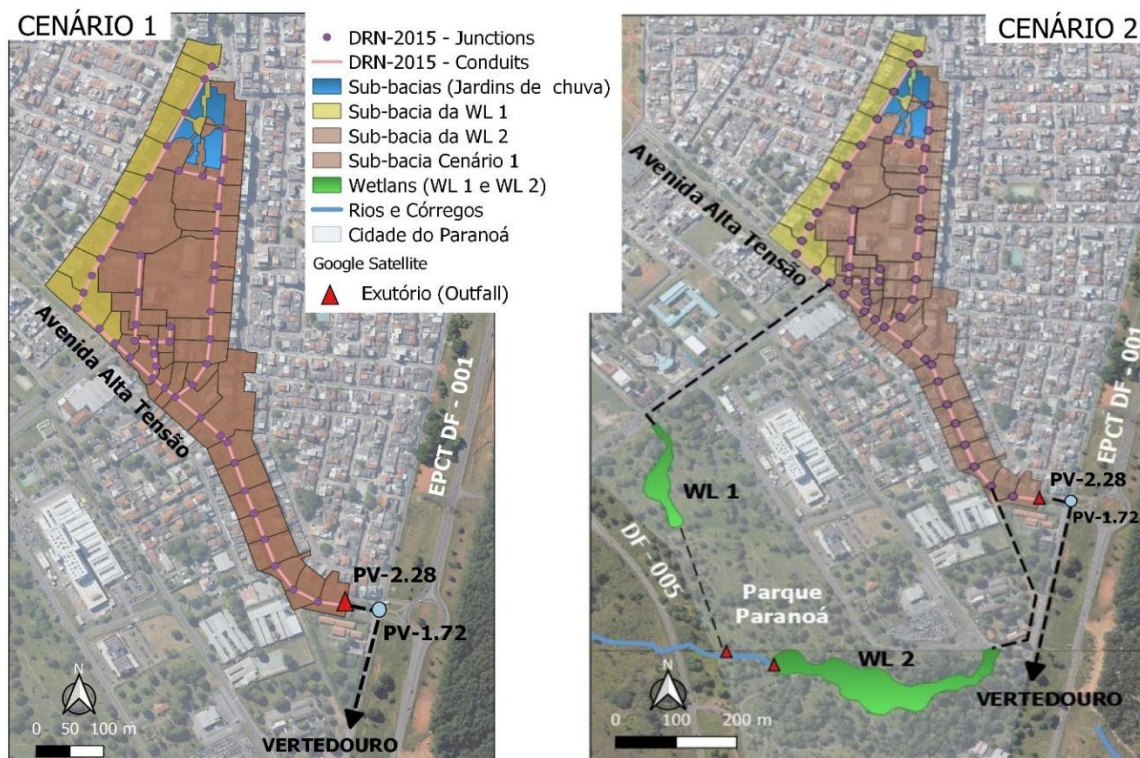
Após análise dos projetos de PSG 019/17 e de DRN-2015, foi constatado que ambos os projetos, apesar de serem objetos da mesma contratação (Contrato nº 17/2014), não foram produzidos de forma integrada, e com isso perdeu-se a oportunidade de viabilizar conceitos mais sustentáveis aos processos de projetos integrados.

Ante o exposto, esse artigo pretende analisar soluções de infraestrutura verde integradas ao projeto de drenagem urbana do Trecho 4, por meio de simulações hidrológica-hidráulica (cenários 1 e 2), a fim de contribuir para a viabilidade de criação de corredores verdes integrando drenagem e paisagismo. Utilizou-se a versão 7.4.3240 do programa PCSWMM 2021 desenvolvido pela *Computational Hydraulics International* (Chiwater), que implementa o modelo *SWMMStorm Water Management Model* em sua versão 5.1.015.

O Cenário 1 compreende a rede requalificada de drenagem pluvial do Paranoá no Trecho 4, até o poço de visita (PV-2.28) anterior ao PV-1.72 transbordado. Esse trecho possui uma área de contribuição de 12,94 ha, e abrange 5,62% da rede de drenagem pluvial projetada (230,41 ha).

O Cenário 2 abrange a mesma área de contribuição da rede projetada, porém modificada em duas sub-bacias para se adaptar às infraestruturas verdes (WL 1 e WL 2) propostas. Essa repartição foi baseada em uma análise que observou as cotas de nível da rede projetada e das áreas escolhidas para amortecimento de vazão e lançamento nos exutórios (OF 1 e OF 2), a fim de minorar as áreas de contribuição destinadas ao local mais sensível, o Parque Urbano Paranoá. Este cenário inclui também 5 (cinco) jardins de chuva inseridos na praça central localizada no início do Trecho 4, com a função de amortecer o escoamento superficial à montante do trecho.

Figura 16: Croqui esquemático dos Cenários 1 e 2.



Fonte: Autor (2021).

## 6. Resultados

As simulações do processo hidrológico-hidráulica dos Cenários 1 e 2 no programa PCSWMM, permitiram a análise da contribuição da infraestrutura verde no amortecimento da vazão na rede de drenagem pluvial projetada, conforme variáveis fornecidas pelo programa.

O método utilizado para o cálculo da infiltração no modelo SWMM foi Soil Conservation Service-SCS, que requer o Curva Número - CN, considerando o tipo de solo grupo A (latossolo-vermelho). Adotou-se o valor do CN 39 para as sub-bacias integralmente compostas de jardins de chuva (LID) e os valores ponderados de CN 76 e 81 nas sub-bacias sem LID, por se tratarem de áreas com diferentes tipos de coberturas. Também foram utilizados dados de chuva de projeto com tempo de retorno de 10 anos, método da onda dinâmica para transporte e condição de umidade do antecedente II (condição média).

**Figura 17: Tabela de Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.**

Cálculo do valor de CN - Cenários 1 e 2	ha	%	CN*
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>12,94</b>	<b>100</b>	<b>–</b>
impermeável (pavimentação)	1,99	15,41	98
Impermeável (área altamente urbanizada)	9,62	74,38	77
permeável (gramado)	1,32	10,22	<b>39</b>
<b>CN ponderado</b>	–	–	<b>76</b>
<b>CN ponderado sem a área permeável</b>			<b>81</b>

---> Cenário 2 para sub-bacias com LIDs  
---> Cenário 1  
---> Cenário 2 para sub-bacias sem LIDs

Fonte: Tucci (2015).

**Figura 18: Art. 8º da Resolução nº 09/2011.**

Área de Contribuição até 200 ha		Condicionantes
Vazão Máxima – L/(s.ha)	Q = 24,4 L (s.ha)	Modelo chuva/vazão; TR 10 anos; Chuva de projeto ≥ 24 h; Simulação.
Volume – m <sup>3</sup>	V = (4,705 Ai) . Ac Onde: V - volume da bacia Ai - percentual de área impermeável Ac – área de contribuição (ha)	

Fonte: ADASA (2021).

As *wetlands*, foram calculadas considerando o atendimento da vazão máxima de lançamento de 24,4 L(s.ha), para áreas de contribuição de até 200 ha, estabelecida na Resolução nº 09/2011 da ADASA, ao valor correspondente à vazão de pré-desenvolvimento no corpo hídrico, conforme mostrado na tabela abaixo da Figura 19.

**Figura 19: Tabela de cálculo da área contribuição das *wetlands* (WL 1 e 2).**

Wetlands	Área de contribuição (ha)	Cálculo do Volume Reservatório (m <sup>3</sup> ) V=4,705*Ai*Ac	Cálculo da área Reservatório (m <sup>2</sup> ) V/0,50	Cálculo da vazão de pré-desenvolvimento (m <sup>3</sup> /s) 24,4*Ac/1000
WL 1	2,55	971,82	1.943,64	0,06
WL 2	10,39	3.959,68	7.917,36	0,25

Fonte: Autor (2021).

Após as simulações no PCSWMM foram analisados os resultados de duas variáveis (vazão máxima e altura de água nas tubulações) com 3 enfoques: avaliação do exutório da rede projetada, avaliação dos jardins de chuva e avaliação da atuação das *wetlands*, sendo que nós dois primeiros foram utilizados de comparações entre os cenários 1 e 2.

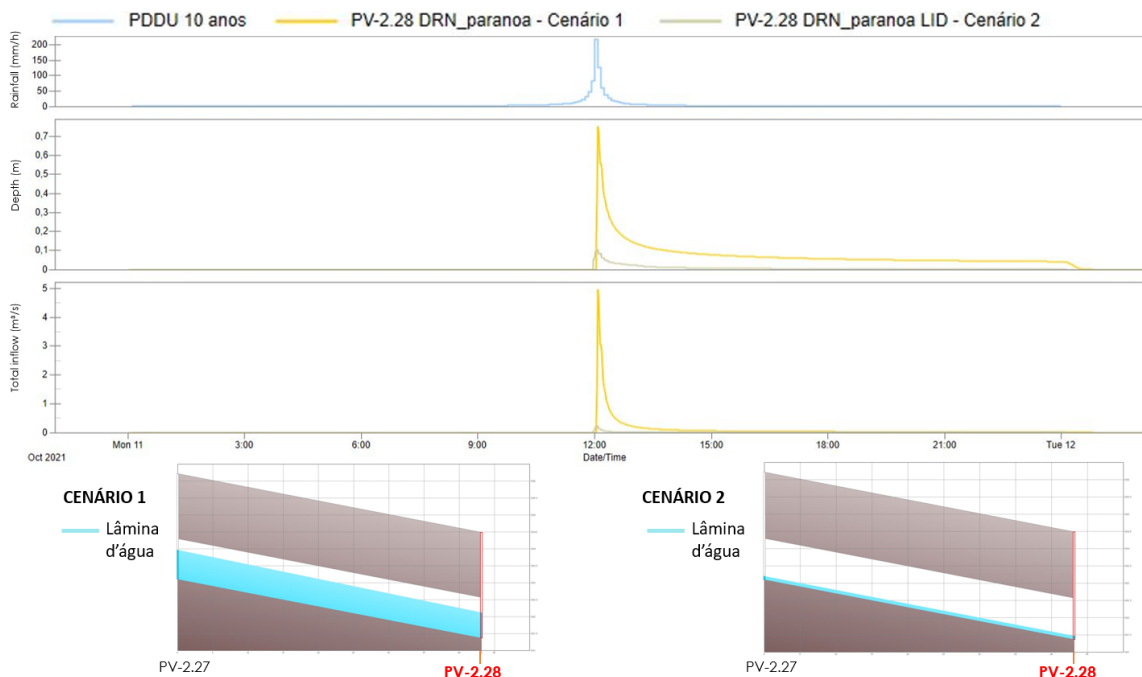
O primeiro enfoque comparou a vazão máxima e a altura de água no exutório PV-2.28 para o Cenário 1 e 2, por meio de perfis longitudinais da tubulação e gráficos, e observou-se que a rede comportou volume e vazão de pico compatíveis com o da chuva de projeto, pois em ambos os cenários, não houve extravasamento em nenhum dos poços de visita. O PV- 2.28 do Cenário 1 cumpre a sua função de conduzir as águas para o PV 1.72, sabendo que a condução final será o vertedouro mais à jusante localizado às margens da rodovia DF-001. No Cenário 2, a redução da vazão e altura da lâmina d’água é devido ao amortecimento do escoamento superficial, nos jardins de chuva e nas duas *wetlands*, e que não chega ao PV 2.28. Dessa forma, é possível visualizar a redução dos picos das vazões do Cenário 2 para o Cenário 1 no PV-2.8, sendo de 86,84%.

**Figura 20: Cenários 1 e 2 - Comparação de dados da vazão e profundidade para o PV-2.28 - TR - 10 anos.**

PV-2.28	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s)	Altura máx. d'água - Y (m)	Dimensão do tubo circular - D (m)	Y/D (%)
Cenário 1	4,987	0,76	1,2	63,33
Cenário 2	0,218	0,10	1,2	8,33

Fonte: Autor (2021).

**Figura 21: Resultados da simulação da vazão no PV-2.28. 10/11/2021 (12:05h).**



Fonte: PCSWMM (2021).

O segundo enfoque comparou os dados de vazão máxima e altura d'água nos exutórios (PV-2.4 e PV-6.3) à jusante dos conjuntos de jardins de chuva, por meio de perfis longitudinais da tubulação e gráficos, observou-se que a rede comportou volume e vazão de pico compatíveis com o da chuva de projeto, pois em ambos os cenários, não houve extravasamento em nenhum dos poços de visita. Também é possível visualizar a redução dos picos das vazões do Cenário 2 para o Cenário 1 tanto no PV-2.4 quanto no PV-6.3, sendo de 39,47% e 42%, respectivamente.

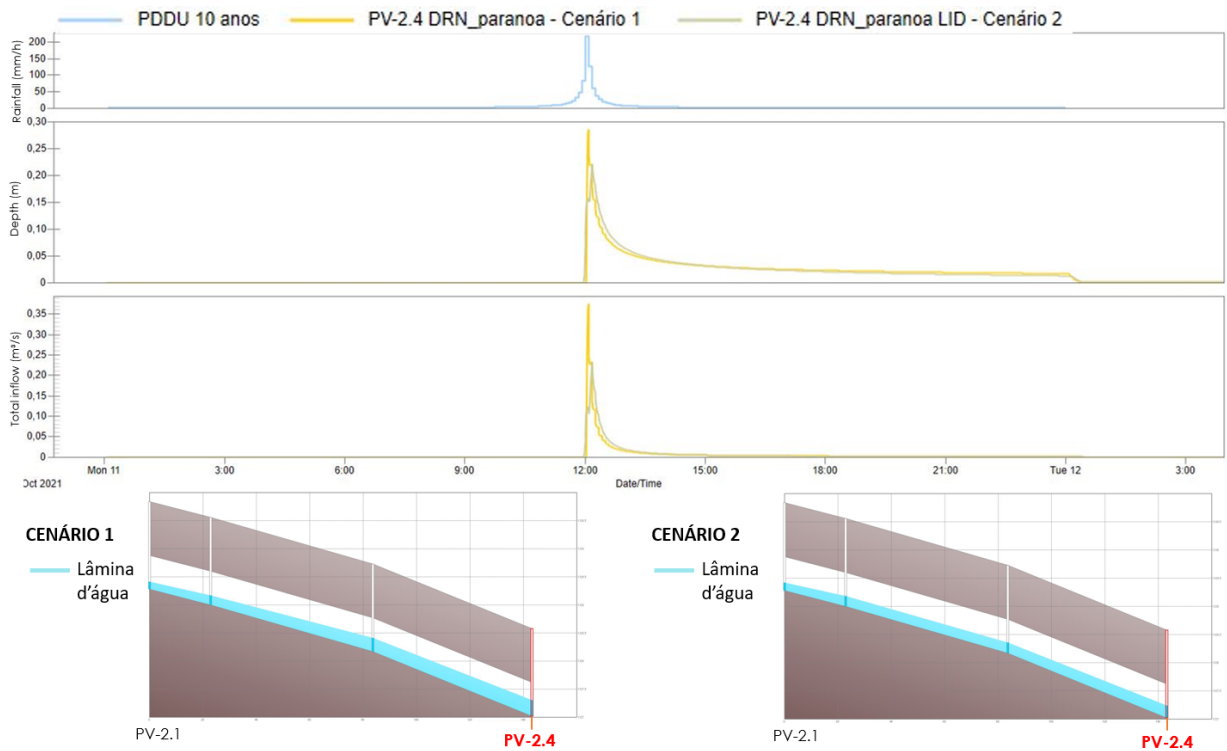
**Figura 22: Cenários 1 e 2 - Comparação de dados da vazão nos PVs (PV-2.4 e PV-6.3) à jusante dos conjuntos de jardins de chuva - TR - 10 anos.**

PV-2.4	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s)	Altura máx. d'água - Y (m)	Dimensão do tubo circular - D (m)	Y/D (%)
Cenário 1	0,38	0,29	0,60	48,33
Cenário 2	0,23	0,22	0,60	36,67
PV-6.3	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s)	Altura máx. d'água - Y (m)	Dimensão do tubo circular - D (m)	Y/D (%)
Cenário 1	0,50	0,28	0,60	46,67
Cenário 2	0,29	0,21	0,60	35,00

Fonte: Autor (2021).

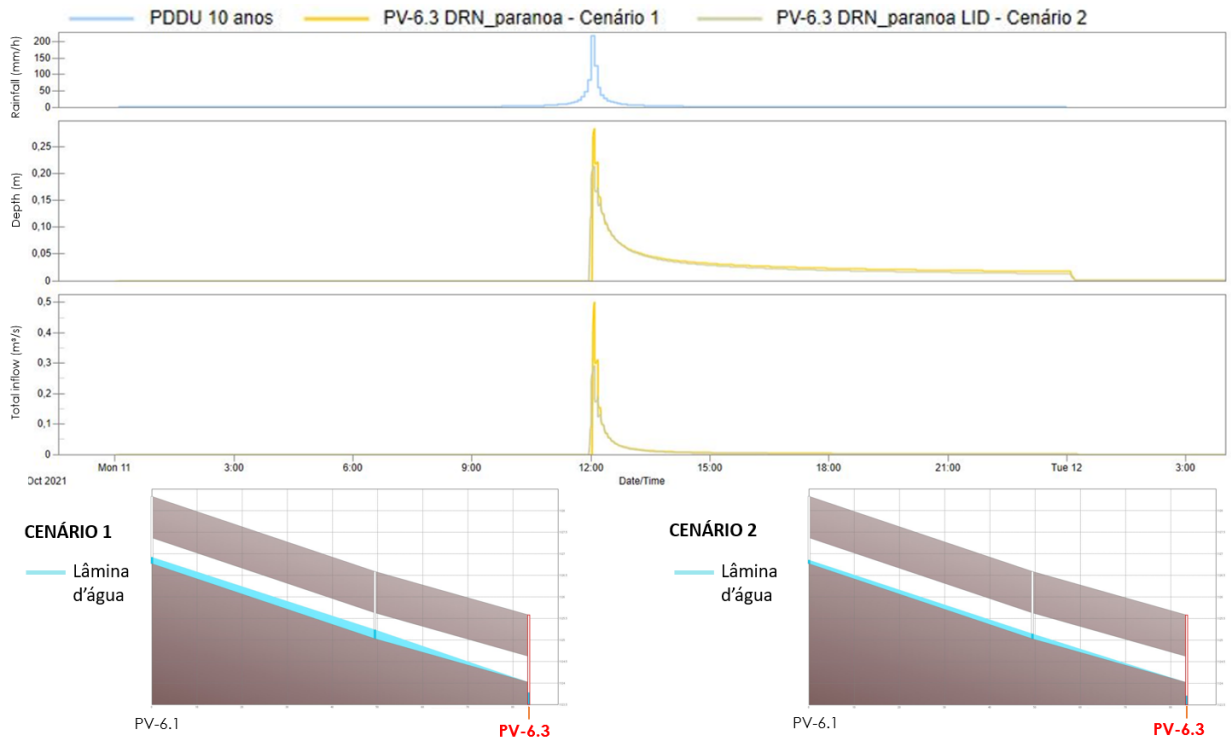


**Figura 23: Resultados da simulação da vazão no PV-2.4. 10/11/2021 (12:05h).**



Fonte: PCSWMM (2021).

**Figura 24: Resultados da simulação da vazão no PV-6.3. 10/11/2021 (12:05h).**



Fonte: PCSWMM (2021).



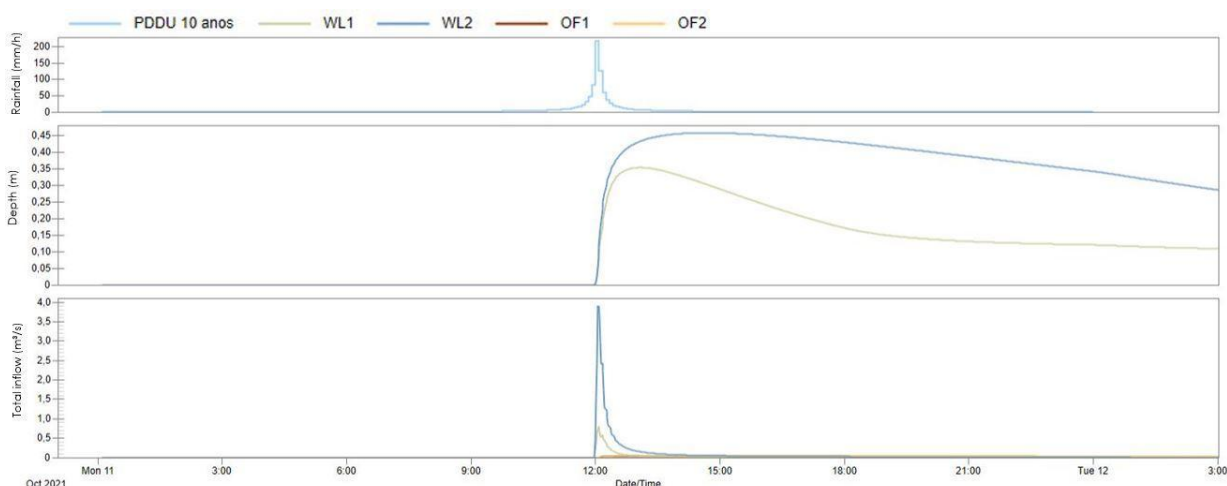
O terceiro enfoque, o cenário das *wetlands* compara não só a vazão de entrada e de saída, mas também a altura d'água na lagoa construída. Nota-se que a vazões de saída em ambas as *wetlands*, conforme orifício calculado de 100mm, obedecem à Resolução nº 09/2011 da ADASA quanto à vazão máxima de lançamento no corpo hídrico de 24,4 L(s.ha), sendo WL 1 de 15,67 L(s.ha) e WL 2 de 4,81 L(s.ha). Também é possível verificar que a profundidade máxima de água no reservatório atinge a marca de 0,35 metros (WL 1) e 0,46 metros (WL 2), não ultrapassando a altura máxima proposta de 0,50 metros para as *wetlands*.

**Figura 24: Cenário 2 - Dados do lançamento da sub-bacia W1 e W2 – Infraestrutura Verde - TR - 10 anos.**

Wetlands	Profundidade Wetland (m)	Profundidade máx. d'água (m)	Percentual (%)	Vazão de entrada (m³/s)	Vazão de saída (m³/s)
WL 1	0,50	0,35	95	0,80	0,04
<b>Lançamento (Área de contribuição - 2,55 ha)</b>					<b>15,69</b>
WL 2	0,50	0,46	98	3,92	0,05
<b>Lançamento (Área de contribuição - 10,39 ha)</b>					<b>4,81</b>

Fonte: Autor (2021).

**Figura 25: Resultados da simulação da vazão nas *wetlands* (W1 e W2) e exutórios (OF1 e OF2).**



Fonte: PCSWMM (2021).

## 7. Conclusão

Após coleta dos dados das simulações para o Cenário 1 da rede projetada e para o Cenário 2 da inserção da infraestrutura verde, foi verificado que a rede está dimensionada adequadamente de acordo com a chuva de projeto, uma vez que não foram identificados extravasamentos nos poços de visita, apesar de no caso do cenário da rede projetada a vazão específica no exutório não estar de acordo com a vazão de pico regulada pela Adasa para lançamento direto em corpos hídricos superficiais.

As lagoas (*wetlands*) propostas, simuladas no PCSWMM, evidenciaram um resultado de pico de vazão menor no lançamento final no corpo receptor (exutórios - *outfalls*) do que a vazão máxima constante da Resolução nº 09/2011 (ADASA), pois a eficiência de amortecimento de pico de vazão variou de 95% a 98%. Dessa forma, foi verificada a contribuição da utilização de infraestrutura verde interligada à rede convencional na redução de quantidade de escoamento, e promoção dos processos ecológicos.



Já com os dados de vazão nos poços de visitas (PV-2.4 e PV-6.3) à jusante dos conjuntos de jardins de chuva, foram observados resultados que evidenciam a atuação dos mesmos no controle do escoamento na fonte, com a diminuição da vazão entre os cenários 1 e 2.

Com relação ao atendimento dos objetivos elencados, a comparação dos cenários demonstrou as vantagens da contribuição da Infraestrutura Verde, na possibilidade de integrar diversas demandas e criar espaço de integração para a população, por meio de corredores verdes multifuncionais. Cabe ressaltar que a metodologia utilizada nesse artigo pode ser aplicada em diferentes trechos da rede de drenagem urbana do Paranoá e em outras áreas densamente ocupadas, bem como auxiliar outros estudos similares. Dessa forma, recomenda-se a continuidade do estudo a fim de compreender o desempenho do processo de biorretenção e indicar ações de reabilitação voltadas à drenagem das águas pluviais urbanas.

## 8. Referências

AHERN, J.; PELLEGRINO P.; BECKER N. Performance, Appearance, Economy, and Working Method. Universidade de Massachusetts, 2014. Disponível em: [https://works.bepress.com/ahern\\_jack/14/](https://works.bepress.com/ahern_jack/14/).

ARAÚJO, A. S. (2018). Análise e proposição de medidas sustentáveis em drenagem urbana na região do Lago Norte - DF por meio de modelagem hidrológica-hidráulica. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 80 p.

BENEDICT, M. A.; McMAHON; E. T. Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century. Washington: The Conservation Fund, 2002.

BENEDICT, M. A.; McMAHON, E. T. Green Infrastructure – Linking Landscapes and Communities. Washington: Island Press, 2006.

BENINI, S. M. Infraestrutura Verde como Prática Sustentável para Subsidiar a Elaboração de Planos de Drenagem Urbana: estudo de caso da cidade de Tupã/SP. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/123900/000831443.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

BONZI, R. S. EMERALD NECKLACE – INFRAESTRUTURA URBANA PROJETADA COMO PAISAGEM. Revista LABVERDE, [S. l.], n. 9, p. 106-127, 2015. DOI: 10.11606/issn.2179-2275.v0i9p106-127. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/84547>.

COSTA, M.E.L. Monitoramento e modelagem das águas da drenagem urbana na bacia do lago Paranoá. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF: UnB, 2013.

FLORIDA GREENWAYS COMMISSION, Creating a Statewide Greenways System Report. Florida, 1994. Disponível em: <https://floridadep.gov/sites/default/files/1994FloridaGreenwaysCommissionPlan.pdf>.

FORMAN, R. T.; GODRON, M. Landscape ecology. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619p.

FORMAN, R. T. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 1995.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. ADASA. Resolução nº 09 de 8 de abril de 2011. Disponível em: <https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Diario/ee6e96ed-4811-3515-aa63-b3d37cf67a1a/d42e46d2.pdf>

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. CODEPLAN. Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílio –



Paranoá. Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2018. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/Parano%C3%A1.pdf>.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009. Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT e dá outras providências. Disponível em: [https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/60298/Lei\\_Complementar\\_803\\_25\\_04\\_2009.html](https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/60298/Lei_Complementar_803_25_04_2009.html).

GUIMARÃES, L. G. (2019). Estratégias de Infraestrutura Verde Aplicadas à Drenagem Urbana em Áreas Densamente Ocupadas: O Caso do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM – 229/2019, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 112p.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. Revista LABVERDE, [S. l.], n. 1, p. 92-115, 2010. DOI: 10.11606/issn.2179-2275.v0i1p92-115. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281>.

PELLEGRINO P.; COMIER, N. S. Infraestrutura Verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. Paisagem Ambiente: ensaios - n. 25 - São Paulo - 2008. Disponível em: <http://www.espiral.fau.usp.br/arquivos-artigos/2008-Nate&Paulo.pdf>.

POLIDORI, M. C. Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. Tese (Doutorado em Ecologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

TUCCI, C.E.M. (2008) Águas urbanas. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97-112.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4. ed. 7ª reimp. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental. Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas, Ação "Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental", INPE, 2000.

VASCONCELLOS, A. Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana na Bacia ambiental do Córrego D'Antas, Nova Friburgo – RJ. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro-RJ, 2011.



## **Valéria Barroso da Silveira**

Especialista em Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística pela Universidade de Brasília, Distrito Federal (PPG-FAU, Unb). Arquiteta e Urbanista graduada na Universidade de Uberaba, Minas Gerais. Áreas de atuação: regularização fundiária, planejamento urbano, desenho urbano, requalificação de espaços públicos, diagnósticos e estudos ambientais.

Contribuição de coautoria: Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Validação; Visualização; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição.

## **José Marcelo Martins Medeiros**

Professor efetivo do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Tocantins e Professor convidado do mestrado/doutorado em Ciências Ambientais da UFT (PPG - CIAMB). Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (2005), mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (2008) e doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (2016).

Contribuição de coautoria: Concepção; Metodologia; Supervisão; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição.

Editores responsáveis: Caio Silva, Teresa Santos e Paula Rabelo.