

Paisagem urbana natureza & pessoas

Maria do Carmo de Lima Bezerra
(organizadora)

EDITORA



UnB



Pesquisa,
Inovação
& Ousadia



Universidade de Brasília

Reitora : Márcia Abrahão Moura
Vice-Reitor : Enrique Huelva

EDITORA



UnB

Diretora : Germana Henriques Pereira

Conselho editorial : Germana Henriques Pereira (Presidente)
: Fernando César Lima Leite
: Beatriz Vargas Ramos Gonçalves de Rezende
: Carlos José Souza de Alvarenga
: Estevão Chaves de Rezende Martins
: Flávia Millena Biroli Tokarski
: Jorge Madeira Nogueira
: Maria Lidia Bueno Fernandes
: Rafael Sanzio Araújo dos Anjos
: Sely Maria de Souza Costa
: Verônica Moreira Amado



Paisagem urbana

Natureza & pessoas

Maria do Carmo de Lima Bezerra
(organizadora)



Coordenação de produção editorial : Equipe editorial
: Luciana Lins Camello Galvão
Preparação e revisão : Denise Silva Macedo
Projeto gráfico : Wladimir de Andrade Oliveira
Diagramação : Haroldo Brito

: © 2020 Editora Universidade de Brasília

: Direitos exclusivos para esta edição:
: Editora Universidade de Brasília

: SCS, quadra 2, bloco C, nº 78, edifício OK,
: 2º andar, CEP 70302-907, Brasília, DF
: Telefone: (61) 3035-4200
: Site: www.editora.unb.br
: E-mail: contatoeditora@unb.br

: Todos os direitos reservados. Nenhuma parte
: desta publicação poderá ser armazenada ou
: reproduzida por qualquer meio sem a autorização
: por escrito da Editora.

: Esta obra foi publicada com recursos provenientes do
: Edital DPI/DPG nº 3/2019.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília

P149 Paisagem urbana : natureza & pessoas / Maria do Carmo de Lima
Bezerra (organizadora). – Brasília : Editora Universidade de
Brasília, 2021.
242 p. ; 23 cm. – (Pesquisa, inovação & ousadia).

ISBN 978-65-5846-006-0

1. Infraestrutura verde. 2. Drenagem urbana sustentável. 3.
Qualidade ambiental urbana. I. Bezerra, Maria do Carmo de Lima
(org.). II. Série.

CDU 711.4

Sumário

Prefácio 9

Introdução 13

Parte I

Capítulo 1

Qualidade de vida e qualidade ambiental: como comparecem no planejamento das cidades? 19

Maria do Carmo de Lima Bezerra

Marly Santos da Silva

Introdução **19**

1 Sustentabilidade e qualidade ambiental: derivações da qualidade de vida? **22**

2 Definições de qualidade de vida e ambiental urbana **25**

3 Atributos que traduzem a qualidade de vida e ambiental das cidades **33**

Considerações finais **43**

Capítulo 2

Contribuições da infraestrutura verde para o planejamento da paisagem urbana 45

Camila Gomes Sant'Anna

Maria do Carmo de Lima Bezerra

Introdução **45**

1 Diferentes visões de uma mesma abordagem conceitual **51**

2 Princípios da infraestrutura verde **57**

3 Elementos configuracionais da infraestrutura verde para planejamento da paisagem **65**

4 Estratégias metodológicas de infraestrutura verde para planejamento da paisagem **68**

Considerações finais **69**

Parte II

Capítulo 3

Paisagem urbana integrada às técnicas de infraestrutura verde para drenagem: solução para os alagamentos em Brasília 73

Maria do Carmo de Lima Bezerra
Mariana Arrabal
Vitor Camuzi

Introdução **73**

1 Manejo sustentável das águas no meio urbano **75**

2 O papel das áreas verdes para promoção da drenagem sustentável **79**

3 Sistema de drenagem de Brasília e as razões para os alagamentos **89**

Considerações finais **107**

Capítulo 4

Conexões entre elementos da forma urbana e infiltração natural para o planejamento em áreas de recarga de aquíferos 109

Ana Paula Seraphim
Aline Oliveira

Introdução **109**

1 Fatores do processo de ocupação urbana com implicações na infiltração natural **112**

2 Diretrizes de urbanização facilitadoras da infiltração natural **117**

3 Construção do quadro metodológico de análise da forma urbana quanto à sua interferência na infiltração natural **127**

4 Aplicabilidade da metodologia utilizando estratégias de baixo impacto na recarga em parcelamento urbano na Bacia do Lago Paranoá – DF **131**

Considerações finais **142**

Parte III

Capítulo 5

Articulação entre proteção ambiental e urbanização: estudo da ARIE JK no Distrito Federal 147

Anna Carollina Palmeira

Tatiana Chaer

Introdução 147

1 Espaço urbano e preservação ambiental: principais desafios e potenciais interfaces 149

2 Estudo dos usos de articulação entre áreas urbana e de preservação: o caso da ARIE JK no Distrito Federal 155

3 Aplicação do método de planejamento ambiental para definição de usos urbanos compatíveis com a preservação ambiental 164

Considerações finais 173

Capítulo 6

Discutindo as lógicas que fundamentam os instrumentos de gestão urbana e de gestão ambiental 175

Maria do Carmo de Lima Bezerra

Introdução 175

1 Preservacionismo e conservacionismo: conceitos que explicam o conflito ambiental urbano 179

2 As Áreas de Preservação Ambiental (APA) no Brasil foram concebidas como áreas de uso sustentável? 182

3 Gestão urbana e compatibilidade com preservação ambiental 189

Considerações finais 193

Parte IV

Capítulo 7

Brasília e a configuração de sua paisagem metropolitana: o cerrado e os vazios urbanos 199

Carolina Pescatori

Luciana Saboia

Tauana Ramthum do Amaral

Introdução **199**

1 O Planalto Central e a construção da paisagem da nova capital **201**

2 A sub-bacia do Paranoá como unidade de planejamento e a configuração dos espaços “entre” **209**

Considerações finais **215**



Parte II



Saída

ATENCIÓN
El cliente debe mantenerse dentro del espacio
Reservado. No se permite el acceso a otros
espacios ni a las instalaciones de la empresa.

oda
& Rosa



3

Capítulo 3

Paisagem urbana integrada às técnicas de infraestrutura verde para drenagem: solução para os alagamentos em Brasília¹

Maria do Carmo de Lima Bezerra
Mariana Arrabal
Vitor Camuzi

Introdução

As intervenções urbanas que consideram a lógica de funcionamento dos ecossistemas em que se inserem têm recebido a denominação de

¹ O capítulo faz parte de pesquisa realizada com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), no período de 2017 a 2019, e desenvolvida no âmbito do grupo de pesquisa de Gestão Ambiental Urbana CNPq/UnB, integrante do PPGFAU/UnB.



soluções baseadas na natureza e se caracterizam por agregar as funcionalidades dos sistemas naturais às necessidades de funcionamento das cidades. Essa abordagem encontra respaldo na noção de sustentabilidade que, a partir dos anos de 1990, assume o papel de um paradigma em construção para responder às mais diferentes inadequações de caráter social, ambiental e econômico que caracterizam o atual modelo civilizatório. Entre os diferentes focos do debate revisionista que abarca a temática da sustentabilidade, o fenômeno urbano possui papel preponderante, dadas a concentração de população e a influência desse espaço no consumo de recursos, assim como a geração de resíduos no nível global.

A urbanização, como marca no nosso tempo, está associada, em diferentes graus, aos impactos socioambientais negativos, como a poluição do ar, da água e do solo; desmatamento; redução da biodiversidade; e mudanças climáticas (GUERRA; DA CUNHA, 2001; HOGAN, 2000). No que se refere à forma de ocupação do solo predominante nas cidades, esta não considera as características climáticas e os condicionantes do meio físico, ou seja, as decisões sobre como ocupar e expandir as cidades não avaliam suas consequências ambientais, o que tem, entre outros aspectos, contribuído para um desequilíbrio do ciclo hidrológico tanto no que tange à qualidade, quanto à quantidade de água.

Sendo assim, o estudo ecológico da paisagem urbana se faz necessário para ampliar o alcance do conhecimento do fato urbano e de seu equilíbrio com a natureza, em que o entendimento do conceito de serviços ecossistêmicos urbanos se impõe, para que fiquem claros os benefícios da valorização das questões ambientais para o funcionamento das cidades. Bolund e Hunhammar (1999) apontam que, em especial, os serviços ecossistêmicos estão diretamente relacionados à existência e à qualidade da estrutura ecológica da cidade, pois é com a correta manipulação do solo urbano que se garante sua manutenção.

Nesse contexto, o conceito de *ecologia urbana* pode contribuir para um planejamento urbano que mantenha o comportamento natural da água por propiciar: *i*) maior compreensão sobre os impactos da urbanização sobre clima, hidrogeologia, biota e solos, o que contribui para maior assertividade na escolha de áreas a urbanizar; *ii*) entendimento

sobre as relações entre os padrões espaciais da urbanização com a lógica dos ecossistemas; *iii*) percepção de como as funções ecossistêmicas sustentam o estoque de capital necessário para produzir bens e serviços para a sociedade humana.

A abordagem sobre serviços ecossistêmicos urbanos e soluções baseadas na natureza encontra, no conceito de infraestrutura verde, uma ferramenta tangível de ordenamento do solo urbano e uma resposta às funcionalidades que a cidade demanda. Assim, é pertinente identificar técnicas baseadas na lógica da infraestrutura verde que, associadas ao sistema de drenagem urbana, favoreçam o processo de infiltração das águas e, conseqüentemente, mantenham o ciclo da água no ambiente urbano.

A infraestrutura verde apresenta metodologias para diversas funcionalidades da cidade e possui atuação centrada na estruturação da paisagem urbana, em que as áreas verdes constituem elemento essencial para suas intervenções. Nesse contexto, o estudo analisa as funcionalidades e as potencialidades das áreas verdes do Plano Piloto de Brasília para contribuição no sistema de drenagem e aumento no processo de infiltração para além das reconhecidas funções estéticas e paisagísticas que possuem.

1 Manejo sustentável das águas no meio urbano

A urbanização é um processo inerente à sociedade atual e, ao contrário de outros tempos, em que as estratégias de planejamento urbano buscaram controlar o surgimento e o crescimento das cidades, hoje, entende-se que não se deve evitá-la, mas, sim, discutir seus processos. Entre estes, destacam-se as articulações entre as lógicas da natureza e da ocupação urbana para minimização dos impactos ambientais negativos que, no ciclo da água, são vivenciados na forma de alagamentos, de enchentes² e de inundações.³

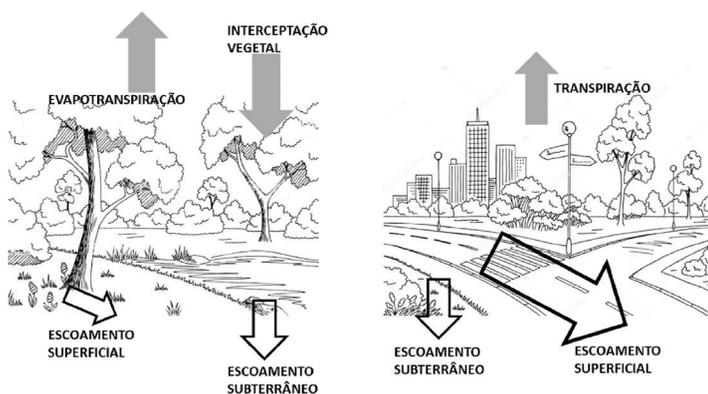
² “A enchente é um fenômeno natural do regime do rio, e todo rio tem sua área de inundação” (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2006, p. 8).

³ “As inundações passam a ser um problema para o homem quando ele deixa de respeitar os limites naturais dos rios ocupando suas áreas marginais” (FUNDAÇÃO

As alterações no ciclo hidrológico das cidades decorrem, principalmente, da redução da cobertura vegetal e do aumento das superfícies impermeabilizadas, inerentes aos padrões morfológicos da urbanização convencional. Seus principais efeitos podem ser descritos como: *i)* aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização; *ii)* rebaixamento do nível do lençol freático devido à falta de infiltração; *iii)* aumento da velocidade de escoamento devido à impermeabilização e às próprias galerias de drenagem que levam vazões maiores, em tempos mais curtos, a serem lançadas nos cursos hídricos. Como resultado, uma sequência de aspectos qualitativos e quantitativos será incitada: assoreamento de corpos d'água, aumento da poluição dos cursos d'água, redução da disponibilidade hídrica, perda da biodiversidade, entre outros prejuízos.

De acordo com Christofidis (2010), em locais sem urbanização, cerca de 50% da água precipitada infiltra, e 10% esco superficialmente. Em contrapartida, em áreas urbanizadas, a taxa de infiltração cai para 30%, enquanto o escoamento superficial aumenta na mesma proporção. A figura 1 mostra o impacto da urbanização no balanço hídrico com uma comparação entre as situações pré e pós-urbanização.

Figura 1: Situações pré e pós-urbanização



Fonte: Elaboração dos autores.

A drenagem urbana tradicional, ou infraestrutura cinza, tem como características: rápido escoamento das precipitações, concentração dos volumes e vazões e lançamento pontual dos efluentes coletados nos corpos receptores. O problema é que, com as alterações do uso do solo urbano, nem sempre planejadas, esse sistema tende a entrar em obsolescência, o que leva aos problemas já referidos. É um sistema de drenagem que não estabelece uma relação causal com a forma de ocupação do solo, sendo este considerado apenas na etapa inicial para o fim de cálculos de dimensionamento do sistema de dutos de escoamento. Nesse sistema, cada vez que a ocupação urbana é alterada, todo o sistema entra em obsolescência, requerendo atualização e ampliação. Sem isso, ocorrerão os alagamentos.

O manejo sustentável das águas de chuva tem como meta reduzir os impactos ambientais gerados pelo modelo tradicional por meio de soluções que visam a: favorecer a infiltração da água no solo, diminuir os picos de cheia, retardar o escoamento pluvial, aumentar o tempo de concentração, reduzir a poluição nos corpos receptores. Essas estratégias mantêm o ciclo hidrológico sem deixar de atender às necessidades funcionais das cidades.

A infraestrutura verde, como ferramenta de planejamento da paisagem de fundamentos ecológicos, oferece diversas soluções que favorecem o metabolismo circular nas cidades em alternativa ao modelo tradicional de drenagem, como se pode observar na citação de Gomes:

Dentro da nova concepção de projeto de drenagem, onde se pretende não somente livrar-se o mais rápido possível da água precipitada, mas fazer com que seja controlado o deságue a jusante, existem medidas alternativas de controle de enchente. Essas medidas, em geral, reúnem diferentes soluções, envolvendo equipes multidisciplinares. Dentre essas podem ser citadas as bacias de percolação, os planos, trincheiras de infiltração, os pavimentos porosos, os armazenamentos em cobertura, estacionamentos e micro reservatórios e as bacias de amortecimento de cheias. (GOMES, 2004, p. 8).

Na linha do planejamento da paisagem, assim como a infraestrutura verde, outras abordagens foram sendo desenvolvidas em diferentes centros de pesquisa, para lidar com o ciclo da água nas cidades desde meados da década de 1970. Essas abordagens adotam uma visão abrangente e têm como objetivo integrar o uso e a ocupação do solo ao manejo da água, fornecendo uma gama de soluções para reduzir o impacto do volume, da frequência e da qualidade da drenagem de águas pluviais por meio de medidas de preservação do sistema natural de drenagem existente, de simulação do sistema natural de infiltração nas áreas antropizadas e de proteção do solo durante processos de urbanização (ANDJELKOVIC, 2001; BROWN; KEATH; WONG, 2009; SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Denominadas *soluções de drenagem sustentável*, as técnicas mais difundidas para ajuste do escoamento superficial gerado pela impermeabilização do solo urbano foram desenvolvidas na década de 1980 pela Agência de Proteção Ambiental Americana (US-EPA). São conhecidas pelo nome de Low Impact Development (LID), ou Desenvolvimento de Baixo Impacto. O objetivo principal do LID é permitir, por meio de planejamento e de desenho urbano integrados a práticas de retenção, de infiltração e de tratamento da água, a manutenção das funções hidrológicas (HINMAN, 2012; PRINCE GEORGES COUNTY, 2000).

As práticas de LID podem ser adotadas tanto em novas urbanizações, quanto em áreas a serem urbanizadas, para proporcionar benefícios ambientais, entre eles: redução no número de eventos de enchentes e alagamentos, melhoria na recarga dos aquíferos e embelezamento da paisagem urbana. Além disso, o LID proporciona vantagens econômicas, uma vez que os custos de manutenção em longo prazo são, normalmente, menores do que os do sistema tradicional. Enquanto o LID apresenta soluções para drenagem, as estratégias de infraestrutura verde garantem tratamento integrado à paisagem urbana, ou seja, a adoção de LID integrada aos princípios de infraestrutura verde resulta na multifuncionalidade e na conexão dos espaços urbanos, obtendo não apenas uma drenagem sustentável, mas uma cidade mais integrada à natureza.

Nesse contexto, as estratégias de gestão sustentável das águas pluviais urbanas devem ser integradas às áreas verdes da cidade, com soluções que tenham comportamento aproximado às condições hidrológicas do ambiente natural, com maior tempo de detenção do escoamento pluvial, maior infiltração e recarga dos aquíferos, menor escoamento superficial, menores níveis de erosão e de poluição das águas e, conseqüentemente, menores impactos negativos.

Para atingir os objetivos da drenagem sustentável, cinco principais funções devem ser observadas quanto ao manejo das águas pluviais: purificação, detenção, retenção, condução e infiltração. A purificação das águas pluviais escoadas acontece, naturalmente, por meio da sedimentação, da filtração e da absorção. A detenção desacelera o fluxo das águas pluviais e, conseqüentemente, não sobrecarrega a drenagem. Sua principal função é retardar o escoamento. A retenção é o ato de acumular e de reter a água por um período (em bacias ou em lagoas), para ser utilizada e, posteriormente, lançada para o sistema de drenagem ou corpos d'água. A condução é o modo como a água pluvial é deslocada e transportada do seu ponto inicial (onde choveu) até o seu ponto de descarga final. A infiltração é o processo no qual a água penetra no solo, recarrega os lençóis freáticos e aquíferos e sofre a ação da purificação.

A eficácia dessas soluções deve, entretanto, ser avaliada frente ao tamanho dos problemas instalados nas cidades. No âmbito dos conceitos, o caminho para uma gestão sustentável da drenagem estaria em encontrar equilíbrio entre a utilização de soluções de infraestrutura verde e tradicionais.

2 O papel das áreas verdes para promoção da drenagem sustentável

Existe certo consenso de que basta a existência de áreas livres e verdes para promover a permeabilidade urbana. Entretanto, essa não é exatamente uma assertiva correta, pois se faz necessário que seja considerada a relação entre solo, clima e vegetação, para afirmar que as

áreas verdes estão exercendo seu papel ecossistêmico de regulação, ou seja, permitir a fácil infiltração e retenção da água da chuva.

Esse é um tema de grande importância para discutir quando se pesquisa drenagem sustentável e infraestrutura verde: como tratar as áreas verdes para que exerçam sua multifuncionalidade? Destaca-se como necessário: *i*) identificar a problemática de drenagem e avaliar a técnica de drenagem de baixo impacto LID mais eficiente em função da área disponível, da localização e do tipo de problema (alagamento ou inundação, por exemplo); *ii*) estudar as funções urbanas que se desenvolvem na área e articular sua funcionalidade com a drenagem; *iii*) conhecer os solos e a vegetação mais adequada para facilitar a infiltração e mais adaptável ao ecossistema, de modo a propiciar sua manutenção.

No quadro 1, estão exemplificadas soluções de infraestrutura verde que têm sido mais utilizadas para favorecer a regulação do ciclo hidrológico em articulação com funcionalidades urbanas:

Quadro 1: Síntese dos elementos de infraestrutura verde que favorecem a drenagem

Componentes da infraestrutura verde	Função	Elementos	Atributos
Áreas verdes	Manter a permeabilidade e a fertilidade do solo, diminuir o escoamento superficial	Praças, parques urbanos, jardins públicos	Predomínio de vegetação
Corredores verdes (greenways)	Facilitar fluxos hídricos e biológicos. São refúgios para fauna	Parques lineares, ruas arborizadas, faixas de preservação nos cursos d'água, faixas de servidão de linhas de transmissão de energia	Estruturas lineares da paisagem que ligam ao menos dois fragmentos de ecossistemas

Componentes da infraestrutura verde	Função	Elementos	Atributos
Stepping stones	Facilitar o movimento das espécies na paisagem, favorecer a chegada de animais e de sementes, garantir o fluxo gênico	Praças, parques urbanos, jardins públicos	Pequenas áreas de hábitat dispersas pela cidade. Podem ser conectadas aos corredores ecológicos
Alagados construídos (constructed wetlands)	Aumentar a área de filtragem e a superfície de contato; estabilizar o meio de suporte; aumentar a diversidade, a densidade biológica e a condutividade hidráulica; promover beleza paisagística; melhorar a qualidade da água; e controlar cheias	Lagos e lagoas, bacias de retenção	Áreas encharcadas ou de acumulação de águas pluviais com vegetação aquática
Telhados verdes	Permitir a gestão racional de água, reduzir ilhas de calor, contribuir para eficiência energética	Tetos construídos com uma camada de isolamento, membrana impermeável e uma camada de meio crescimento	Telhados cobertos de plantas que permitem a gestão das águas pluviais
Bioengenharias ou engenharia soft	Reforçar locais instáveis, como encostas e margens	Gabiões vegetados, estacas vivas, muros de pedra vegetados	Estruturas que mimetizam a natureza por meio de técnicas ecológicas voltadas à estabilização do solo. Combinam o uso da vegetação com materiais tradicionais
Biovaleta ou vala biorretentora	Técnicas de drenagem pluvial direcionadas para a restauração dos processos naturais de escoamento e de infiltração das águas em áreas antropizadas	Valas vegetadas ou jardins lineares em cotas mais baixas, que recebem a água do escoamento superficial. Essas valas promovem ainda purificação das águas pela sedimentação	Estruturas que utilizam a matriz orgânica do solo com preenchimentos inertes, manta geotêxtil e vegetação, para controlar escoamentos, envolvendo ainda sedimentação e filtragem

Compo- nentes da infraestrut- tura verde	Função	Elementos	Atributos
Canteiro pluvial ou jardins de chuva	Técnicas de drenagem pluvial para reduzir o escoamento e permitir a infiltração das águas em áreas antropizadas	Podem ser colocados junto do meio-fio, para receber o escoamento superficial do leito carroçável das vias	Jardins em cotas mais baixas, que recebem as águas provenientes do escoamento superficial das áreas impermeáveis
Interseções viárias	Técnicas de drenagem pluvial para reduzir o escoamento e permitir a infiltração das águas em áreas antropizadas	Organizam o fluxo viário e coletam água da chuva	Ilhas de distribuição de trânsito com áreas vegetadas em seu interior, que podem funcionar como jardins de chuva
Lagoa pluvial (ou bacia de retenção)	Técnicas de drenagem pluvial direcionadas para a restauração dos processos naturais de escoamento e infiltração das águas em áreas antropizadas	Podem ser colocadas nos pontos mais baixos de uma rede de drenagem ou em áreas, como parques	Lagoa que possui a capacidade superior à sua área permanente. Seu armazenamento total é entre o nível permanente de água e o nível de transbordo
Lagoa seca (ou bacia de detenção)	Técnicas de drenagem pluvial direcionadas para a restauração dos processos naturais de escoamento das águas em áreas antropizadas	Pode se localizar ao longo de vias, de parques e de jardins. Na época de seca, pode propiciar outros usos, como, por exemplo, campo de futebol	Depressão que pode ou não ser vegetada. Durante as chuvas, recebe a água de escoamento superficial
Pavimentos porosos ou drenantes	Tipo de pavimentação formada por blocos que permite, por entre seus espaçamentos ou poros, a infiltração da água nas camadas de solo subjacentes	Podem ser colocados em qualquer área pública, como vias locais, calçadas, estações	Reduz a impermeabilidade das superfícies urbanas, pois permite a infiltração propiciando a recarga de aquíferos

Componentes da infraestrutura verde	Função	Elementos	Atributos
Ruas verdes	Ruas com presença de verde que propiciam a atração da fauna; da regulação da temperatura, da drenagem e têm beleza cênica	Ruas densamente arborizadas, mais indicadas para o fluxo de pedestres, de ciclistas e de veículos leves	A vegetação existente deve ser associada a tratamentos no nível do solo com elementos de infraestrutura verde para permitir a drenagem, como: jardins de chuva, biovaleta
Trincheiras de infiltração	Técnicas de drenagem pluvial direcionadas para a restauração dos processos naturais de escoamento das águas em áreas antropizadas	Valas vegetadas ou jardins lineares em cotas mais baixas, que recebem a água do escoamento superficial. Podem ainda promover a purificação da água pela sedimentação	Dispositivos de controle do escoamento superficial na origem. Têm a função de coletar, de armazenar e de infiltrar as águas de chuva
Telhados azuis	Ajudar a reduzir a água a ser escoada no sistema viário e, ainda, a demanda de água do edifício com a reutilização da água coletada da chuva	Telhados não vegetados, mas que retêm a água através de calhas que, posteriormente, liberam lentamente a água a um dispositivo drenante	Telhados de onde a água percorre um sistema natural de escoamento até uma área de biorretenção

Fonte: Elaboração dos autores.

Para ampliar a discussão entre espaços verdes urbanos e sua potencialidade de promover infiltração, é relevante enfatizar que, para atingir os objetivos da infraestrutura verde, faz-se necessário que a rede de espaços verdes urbanos seja planejada para a promoção dos benefícios sinérgicos⁴ que demandam os serviços ecossistêmicos urbanos.

⁴ Efeito ativo e retroativo do trabalho ou do esforço coordenado de vários subsistemas na realização de uma tarefa complexa ou função.

Um dos indicadores da funcionalidade ambiental das áreas verdes, segundo várias pesquisas destacadas por Amaral (2015), é sua capacidade de sequestro de carbono. No solo, o acúmulo gradual e lento da deterioração do material orgânico promove o acúmulo do carbono e gera substâncias húmicas que representam o estoque de carbono no solo. A presença de tais substâncias proporciona o sequestro de carbono no solo, que assegura os serviços ecossistêmicos, entre eles, a infiltração.

Essa camada superficial formada pela deposição e pelo acúmulo de matéria orgânica morta, em diferentes estágios de decomposição, que reveste a superfície do solo em ecossistemas terrestres é denominada *serrapilheira*. Segundo Amaral (2015, p. 131)

a formação e estabilização dessa camada é condição *sine quanon* para o eficiente sequestro de carbono na área, instalação do ciclo paralelo de nutrientes, fluxo vertical de energia e matéria e o provimento de serviços ecossistêmicos florestais.

O estrato arbóreo também é capaz de descompactar o solo por meio de seu vasto sistema radicular, o que favorece a infiltração da água da chuva, aumenta a recarga de aquíferos e reduz o escoamento superficial (AMARAL, 2015). Em adição, a cobertura vegetal tem a capacidade de reter parte da precipitação acima da superfície do solo em seu próprio organismo, volume esse que, posteriormente, evapora, também reduzindo o escoamento superficial.

Assim, por um lado, infere-se que os componentes de infraestrutura verde discriminados no item anterior se tornarão ainda mais eficazes se forem construídos com a presença de vegetação tratada com serrapilheira. Por outro lado, deve-se considerar que o acúmulo de serrapilheira sem a manutenção adequada pode acarretar problemas, como o entupimento de bocas de lobo, o que também é um fator que contribui para os problemas de drenagem urbana.

2.1 As áreas verdes em Brasília e seu papel na manutenção do ciclo da água

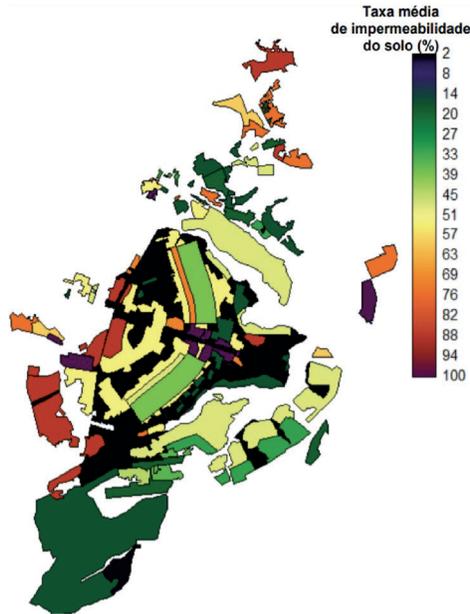
A área do estudo de caso, Brasília, é reconhecida tanto por seus grandes espaços verdes e livres, quanto por sua arquitetura, que fazem com que a cidade tenha um diferencial entre as demais cidades brasileiras. São espaços com todo tipo de vegetação (árvores, palmeiras, arbustos, forrações), que conferem identidade à cidade, em especial, às superquadras do Plano Piloto.

Cabe destacar que, na maior parte das obras modernistas, os espaços verdes, quando presentes, possuem função de pano de fundo para as edificações. Nas palavras de Sutherland Lyall (1991 *apud* CESAR, 2003 p. 123):

[...] os arquitetos do movimento moderno nunca se sentiram cómodos com a paisagem, os inquietava principalmente o progresso, a geometria, a técnica, a ordem e a imagem da máquina. Em tal marco de referência, era muito difícil incorporar a natureza tão orgânica e viva à paisagem da cidade.

Para se ter uma ideia do antagonismo entre a função ecológica e estética das áreas verdes no modernismo, verifica-se que, no Plano Piloto de Brasília, estas superam, em área, os espaços pavimentados. Portanto, era de se supor que deveriam favorecer a infiltração das águas pluviais e apresentar pouco escoamento superficial, o que não se verifica, dado que ocorrem diversos pontos de alagamento no Plano Piloto. Assim, o que está errado? Avaliar as áreas verdes de Brasília quanto ao desempenho de seus serviços ecossistêmicos é um primeiro caminho para responder a essa questão.

Figura 2: Taxa média de impermeabilidade do solo nas zonas urbanas do Distrito Federal



Fonte: GDF (2008, p. 89).

Por tudo isso, estudar o Plano Piloto de Brasília se reveste de características ímpares para a discussão do tema da drenagem sustentável, seja pela grande quantidade de áreas verdes, seja pelo tombamento da cidade, o que implica poucas alterações na ocupação do solo desde a implantação de sua rede de drenagem original. Trata-se, portanto, de um laboratório para estudo das relações necessárias que se desejam verificar entre o tratamento das áreas verdes para promoção da infiltração e entre mudanças de uso do solo e de alagamentos.

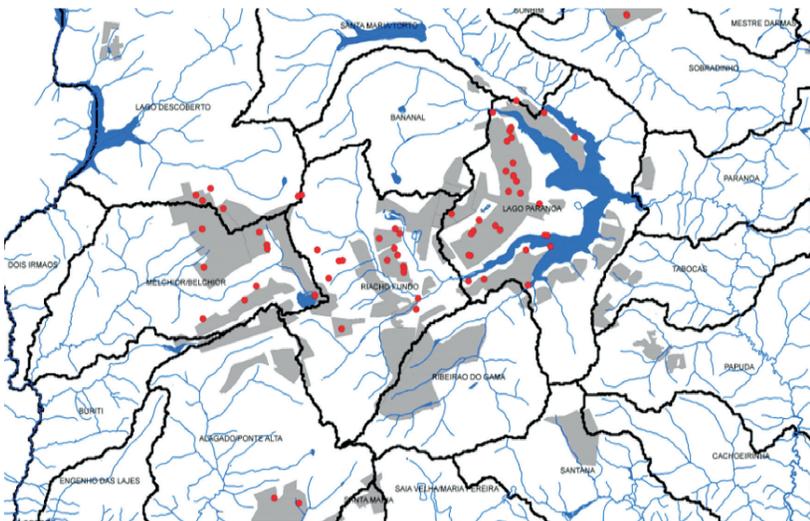
O Plano Diretor de Drenagem do Distrito Federal (PPDU), do GDF (2008), avalia essa questão quando apresenta as áreas impermeabilizadas do DF e as compara com os pontos de alagamento. Consta que, independentemente da quantidade de áreas impermeabilizadas ou verdes, os alagamentos ocorrem de forma indiscriminada, como se vê na figura 2.

Segundo o PPDU (GDF, 2008), as áreas de maior impermeabilização são aquelas mais afastadas do Plano Piloto. Enquanto nas asas Sul

e Norte, a média é de cerca de 40% de impermeabilização, em Ceilândia e em Taguatinga, essa média chega a mais de 80%. Vale destacar que o estudo considera que área verde é área permeável, sem discutir que tipo de infiltração ela propicia. As condições de compactação do solo não se encontram nessa avaliação.

Esse fato é importante, pois, ao analisar a figura 3 – que mostra os locais de ocorrência de patologias causadas por falhas ou por problemas na rede de drenagem – constata-se que o Plano Piloto sofre com vários pontos de alagamentos.⁵ Essas observações reforçam a hipótese de que as áreas verdes não têm se comportado como áreas de infiltração, ou seja, não reduzem o escoamento superficial. Isso ocorre devido ao alto grau de compactação das áreas verdes e ao tratamento dado ao manejo do solo pelos serviços de ajardinamento.

Figura 3: Locais de ocorrência de patologias causadas por falhas ou por problemas na rede de drenagem



Fonte: Elaboração dos autores, com base em GDF (2008).

⁵ “Evento caracterizado pelo acúmulo de água decorrente da ausência de ou precariedade da drenagem” (TUCCI, 2007, p. 357).

Diante desses fatos, devem-se discutir as diretrizes paisagísticas utilizadas no manejo das áreas verdes do Plano Piloto para entender esse fenômeno. No paisagismo da capital, predomina uma composição entre árvores espaçadas entre si sobre vastos gramados. A presença desses espaços não proporciona a formação da serrapilheira e nem a biomassa viva no solo. Soma-se a isso o fato de o sistema radicular das gramíneas ser superficial, impedindo que o substrato se torne aerado, o que facilitaria a infiltração.

Por essas razões, os gramados da capital são áreas com solo compactado, com baixa capacidade de infiltração e, portanto, com grande escoamento superficial, o que configura precariedade da drenagem. Uma diretriz de manejo paisagístico que facilmente pode ser implementada é deixar que as folhas das árvores das superquadras permaneçam no solo, evitando a visão de “limpeza urbana” na qual são removidos resíduos vegetais de forma corriqueira. Essa prática, com o passar do tempo, formará a serrapilheira, que favorecerá a infiltração e a diminuição do escoamento.

No caso do Plano Piloto de Brasília, outro fato que torna os gramados desfavoráveis para a infiltração é o fato de eles serem convexos. Esse formato faz com que as águas pluviais escoem rapidamente para a via e, portanto, para as galerias do sistema tradicional de drenagem, levando à sua sobrecarga. Uma solução simples e viável é torná-los côncavos, pois, assim, as águas advindas das precipitações ficariam retidas por mais tempo, permitindo sua absorção pelo solo.

Como visto, as áreas verdes brasilienses possuem potencialidades paisagísticas para tratamento de ordem ecológica e não apenas funcional. Em relação aos elementos de drenagem da infraestrutura verde, é viável implementá-los, dada a grande quantidade de espaços livres, o que não ocorre em outras cidades brasileiras.

3 Sistema de drenagem de Brasília e as razões para os alagamentos

Brasília encontra-se na bacia hidrográfica do Lago Paranoá, e o Plano Piloto possui seus lançamentos de drenagem nesse curso hídrico. De acordo com o PDDU (GDF, 2008), seu sistema de drenagem é composto da seguinte forma:

Essa localidade foi hidrologicamente dividida em 28 macrobacias, de acordo com as condições das redes de macrodrenagem da região. Essas 28 macrobacias foram, então, subdivididas em 189 sub-bacias, obedecendo à topologia das redes de macrodrenagem (GDF, 2008, p. 480).

Os principais problemas da drenagem do Plano Piloto de Brasília são ocasionados pelas alterações do uso e da ocupação do solo, somadas ao planejamento tradicional do sistema de infraestrutura urbana. No Plano Piloto, existem, cadastrados como recorrentes, 16 pontos críticos de alagamentos na Asa Norte⁶ e seis na Asa Sul.⁷ O diagnóstico do PDDU (GDF, 2008) indica o grau de comprometimento da capacidade hidráulica das galerias de macrodrenagem, que pode ser visto na figura 4.

⁶ Asa Norte: saída da Avenida L2 Norte para o Eixo Monumental; Setor Bancário Norte, em frente ao prédio sede dos Correios e à parada da Galeria; via de ligação Eixinho Norte/Leste à L2 Norte, ao lado do DNIT; Eixinho Norte/Oeste entre o Setor Comercial Norte e o HRAN; Avenida W3 Norte, em frente ao Setor de Rádio Televisão Norte; tesourinha da SQN 202; rotatória ou balão da SQN 202/402; SQN 402, blocos F e G; tesourinha da 203/204 norte; Avenida W2 Norte, entre a SQN 311 e a SEPN 511; tesourinha da 211/212 norte; Via W1 Norte e SQN 115; tesourinha 215/216 norte; Setor Terminal Norte, em frente ao Hipermercado Extra; Setor Terminal Norte, portaria da Embrapa; VIA EPAA, balão de acesso ao SAAN e RCG.

⁷ Asa Sul: SQS 416 – estacionamento do Bloco S; Avenida W3, Setor Médico Hospitalar Local Sul (716); passagem de níveis do Eixo Rodoviário Sul, altura da 110/210; passagem de níveis do Eixo Rodoviário Sul, altura da 111/211; tesourinha da 202 sul; Avenida L2 Sul, em frente ao Setor de Autarquias; Avenida W3 Sul, entre a TV Nacional e o Pátio Brasil.

Figura 4: Pontos de alagamento no Plano Piloto



Fonte: Elaboração dos autores.

Na Asa Sul, o ponto mais crítico de alagamento é a passagem de níveis do Eixo Rodoviário Sul, altura da SQS 110/SQS 210. Na Asa Norte, os pontos mais críticos estão localizados na Bacia do Iate, na altura das SQN 202/SQN 203, na bacia que contém a Avenida W2 Norte, entre a SQN 311 e a SEPN 511, e na tesourinha da SQN 211/SQN 212. Parte desses alagamentos acontece pelo aumento da impermeabilização do solo ocasionada pelas alterações nas taxas de ocupação dos lotes situados a Oeste, em pontos mais altos, na faixa das quadras 900 e, no caso da Bacia do Iate, pelas alterações realizadas no Estádio Mané Garrincha, que significaram grande área impermeabilizada. Essas alterações ocasionam sobrecarga nos condutos de drenagem e, por consequência, geram alagamentos e maior carreamento de detritos para o curso d'água receptor, o Lago Paranoá. Além dos transtornos com alagamentos, outra consequência é o assoreamento do lago e a perda de qualidade das águas que hoje são de abastecimento.

Na perspectiva de avaliar as técnicas de retroadaptação (*retrofit*) nas áreas verdes do Plano Piloto para desempenho de suas funções ecossistêmicas, urbanísticas e de solução de drenagem, foram testadas soluções do sistema de LID. Elas, como visto neste capítulo, utilizam-se de processos naturais para incentivar a infiltração no solo, em vez de permitir seu escoamento para condutos do sistema de drenagem de águas pluviais, o que contribui para enchentes e para a poluição das águas superficiais.

Para definição das técnicas a serem utilizadas na construção de cenários na bacia de drenagem onde se pretende implantar técnicas de retroadaptação, faz-se necessária uma avaliação em relação à localização dos problemas existentes e das áreas disponíveis para localização de LID. Assim, é relevante destacar que, entre diferentes técnicas, existem as denominadas *lineares* ou *pontuais*, que apresentam a dimensão longitudinal mais significativa do que sua largura e profundidade e costumam ser implantadas nos sistemas viários, como pátios, estacionamentos e arruamentos. Há também as chamadas *técnicas de controle centralizadas*, que são usualmente associadas a áreas de drenagem de maior porte e possuem, como representantes desse grupo, as bacias de detenção, de retenção e de pavimentos permeáveis. O quadro 2 indica as características de cada tipo de LID.

No que se refere ao controle na fonte, está prevista, pelo Manual da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA, 2018), uma série de dispositivos a serem instalados no sistema de drenagem com a função de reduzir a vazão e o escoamento superficial por meio do armazenamento temporário e da infiltração. Esses elementos podem ser localizados nos lotes privados e em áreas públicas.

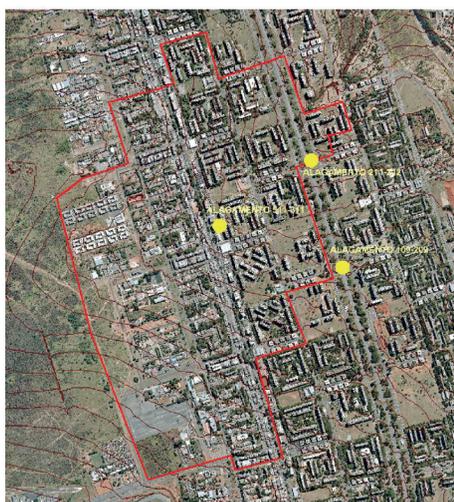
Quadro 2: Dispositivos de abatimento de vazão do Manual de Drenagem do DF

Dispositivo	Processo de abatimento de vazão		Características geométricas	
	Por infiltração	Por armazenamento	Linear	Localizada ou pontual
Pavimento permeável				
Trincheira de infiltração				
Vala de infiltração				
Poço de infiltração				
Microrreservatório				
Telhado reservatório				
Reservatório de detenção aberto				
Reservatório de retenção aberto				
Reservatório subterrâneo pontual				
Reservatório subterrâneo linear				
Faixa gramada				

3.1 Definição da bacia de drenagem para elaboração dos cenários no Plano Piloto de Brasília

Entre os pontos mais críticos de alagamento já identificados, foram considerados os locais que possuem projetos elaborados pelo GDF com abordagem convencional para efeito comparativo do impacto na solução da paisagem urbana, bem como com possibilidade de se dispor de mapeamento e de modelagem das bacias; todos dados importantes para realização das simulações hidrológicas. Utilizado esse critério, o recorte da área para estudo recaiu na bacia de macrodrenagem do Plano Piloto de Brasília, conhecida como Faixa 10-11 Norte. Essa área possui 3,5 km² e compreende zonas urbanizadas e áreas verdes que englobam as seguintes superquadras norte: 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 509, 510, 511, 512, 513, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 110, 111, 112, 113 e 212, conforme figura 5.

Figura 5: Curvas de nível e pontos de alagamento da macrobacia de estudo

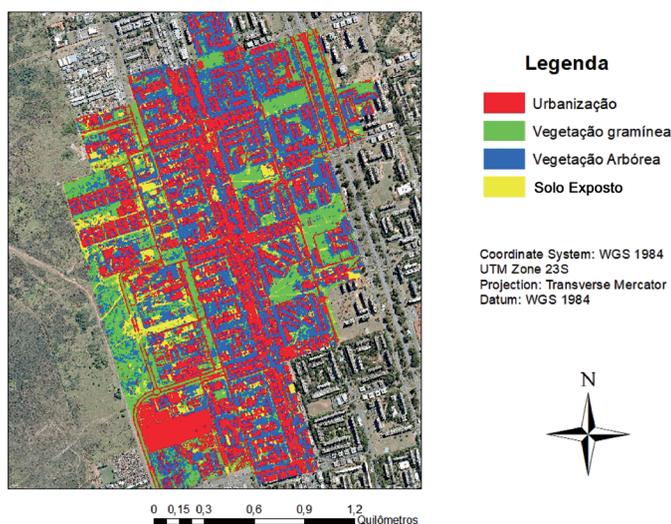


Fonte: Elaboração dos autores.

A topografia da bacia tende a formar uma depressão alongada – uma espécie de vale que se evidencia na área de mata nativa do exutório.

Esse caimento natural do terreno é um dos fatores que ocasionam o alagamento no Setor de Edifícios Públicos Norte (SEPN) 511, ponto que fica na convergência das curvas de nível. Assim, percebe-se que, independentemente da existência da impermeabilização do solo gerada pela urbanização ou do possível subdimensionamento da rede de drenagem, a topografia da região já constituía fator de contribuição para acúmulo de águas pluviais nos pontos identificados como problemáticos.

Figura 6: Mapa de uso e de ocupação da macrobacia de estudo



Fonte: Elaboração dos autores.

O próximo passo foi o estudo dos espaços verdes públicos localizados em áreas onde se poderiam alocar técnicas de LID que melhor contribuíssem para minorar os alagamentos. O grau de ocupação do solo na bacia, uma característica do Plano Piloto de Brasília, é de apenas 37% de área com edificações e sistema viário e 63% de espaços livres com vegetação, como: campos abertos, vegetação rasteira e bosque. Como já referido, não se podem considerar todas as áreas verdes como totalmente permeáveis devido ao grau de compactação em várias regiões. A figura 6 mostra um mapa de uso e de ocupação da macrobacia de drenagem.

Foi procedida análise das áreas críticas ou de maior extravasamento da rede, quando se detectaram três pontos, especificamente, na Avenida W2 Norte (entre a SQN 311 e a SEPN 511), na tesourinha da SQN 211 e SQN 212 e outro na via que liga às quadras SQN 109 e SQN 209. Para compreensão dos pontos críticos de alagamento, é necessária uma leitura do percurso natural das águas pluviais na superfície da bacia de macrodrenagem, sendo a topografia o elemento natural para esse entendimento. Assim, verifica-se que a cota do alagamento mais crítico acontece entre a SQN 311 e a SEPN 511 e é de aproximadamente 1.058 m. No segundo ponto crítico, a tesourinha entre a SQN 211 e SQN 212, a cota é de 1.032,17 m. No terceiro ponto, na tesourinha entre a SQN 209 e SQN 210, a cota é de 1.050,74 m. A figura 7 mostra um mapa de uso e de ocupação da macrobacia de drenagem com as áreas verdes livres e os pontos de maior alagamento.

Figura 7: Espaços livres que podem amortecer e reter as águas pluviais



Fonte: Elaboração dos autores.

Para avaliar quais os espaços disponíveis, adotaram-se, como procedimento: *i*) apreciação física do terreno (de carro e a pé) e; *ii*) análise de ortofotos e de mapeamento aerofotográfico do DF feito em 2009 e disponibilizados pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEDUH). Em síntese, consideraram-se, inicialmente, a topografia, as redes existentes e seus gargalos e o uso do solo na bacia de drenagem para alocação dos elementos de drenagem compensatórios mais adequados. A análise constatou os seguintes espaços públicos livres: *i*) canteiros entre as vias W4 e W5 Norte; *ii*) canteiros da via W3 Norte; *iii*) entrequadras norte; e *iv*) canteiros do Eixo Rodoviário Norte (DF-002).

Foram construídos cinco cenários para testar a eficiência das LID. Em quatro deles, utilizam-se tipos de técnicas diferentes, de modo a se obter o resultado individual do desempenho de cada uma delas. O quinto cenário contempla o conjunto de todas as LID utilizadas. Os critérios de avaliação dos cenários foram: *i*) vazão de pico no exutório (m^3/s); *ii*) amortecimento total causado pelo cenário (%); *iii*) excedente na superfície/extravasamento (m^3); *iv*) capacidade total de um conduto de análise (%); *v*) vazão máxima em um conduto de análise (l/s); *vi*) extravasamento nos poços de visita em um trecho da rede (m^3).

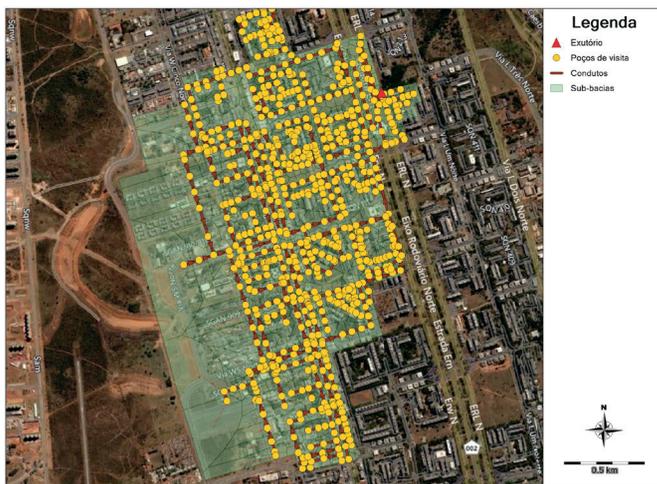
Aplicando o estudo de adequação das LID às condições de alagamentos identificadas e também às condições das áreas verdes públicas que poderiam receber as diferentes técnicas, chegou-se aos seguintes cenários: *i*) valas de infiltração nos canteiros da W4 Norte; *ii*) valas de infiltração nos canteiros da W3 Norte; *iii*) valas de infiltração nos canteiros do Eixão; *iv*) bacias de detenção e de retenção nas entrequadras norte; *v*) alocação de todas as técnicas simultaneamente.

Posteriormente, foram avaliadas as vantagens e as desvantagens sobre a capacidade de infiltração e de dimensionamento, de cada técnica, para possibilitar as simulações sobre a capacidade de infiltração do escoamento superficial, de modo que se pudesse verificar o grau de solução que representaria para os problemas de drenagem instalados. Todas as etapas foram retroalimentadas até que se encontrasse o equilíbrio ideal entre as interferências na paisagem e a eficiência em termos de drenagem das técnicas adotadas.

Após a elaboração dos cenários, utilizou-se método de simulação, que se mostra uma boa ferramenta para se avaliar uma rede de drenagem e o seu comportamento durante um evento de precipitação. Na simulação das diferentes técnicas, o programa computacional utilizado realiza o balanço hídrico, determinando o que escoar de uma camada para a outra e o que é armazenado em uma camada.

Optou-se pela simulação hidrológica dos cenários utilizando uma versão universitária gratuita do programa Personal Computer Stormwater Management Model (PCSWMM) na versão 7.1.2480, disponibilizado pela Computational Hydraulics International Water (CHWater). O programa é capaz de representar o comportamento de um sistema de drenagem por meio de uma série de fluxos de água entre os principais compartimentos do ambiente, que são: *i*) o atmosférico, onde ocorrem precipitação e depósito dos poluentes sobre a superfície do solo; *ii*) a precipitação sob a forma de chuva ou neve; *iii*) o compartimento de transporte, que exporta o fluxo de água por meio da infiltração pelo escoamento superficial e pelo carreamento de poluentes; *iv*) as águas subterrâneas, que recebem infiltração da superfície do solo, podendo transferir parte dela para o compartimento de transporte (SOUZA, 2014, p. 39).

Figura 8: Mapa da rede de drenagem (cenário atual)



Fonte: Elaboração dos autores.

Com o lançamento da rede de drenagem existente na bacia estudada – composta por 758 condutos⁸ e 726 poços de visita,⁹ com área total de 353,98 ha –, com a posição dos condutos, com poços de visita, com exutório, foi possível iniciar a aplicação do programa de simulação que dividiu a área da macrobacia de estudo em sub-bacias pelo método Voronoi,¹⁰ como se vê na figura 8.

Para realizar as simulações, é necessário determinar o nível de infiltração do solo na região. Para isso, usou-se o método Soil Conservation Service (SCS), também conhecido como CN (curva número). Esse é um índice que representa a combinação empírica de três fatores: grupo do solo, cobertura do solo e condições de umidade antecedente do solo (McCUEN, 1998 *apud* TOMAZ, 2011a). O CN varia de 0 a 100. Quanto maior o valor, menor é a capacidade de infiltração de determinado tipo de solo.

Com base em estudos realizados por Tucci (1993) para a realidade brasileira (uma vez que não existe um estudo específico para o Distrito Federal), determinou-se o CN de cada uso do solo da macrobacia estudada. São eles: *i*) urbanização: CN = 88; *ii*) vegetação gramínea: CN = 68; *iii*) vegetação arbórea: CN = 45; *iv*) solo exposto: CN = 72. De acordo com recomendação do PDDU (GDF, 2008), o presente estudo adotou a chuva de projeto¹¹ baseada na Equação IDF do Distrito Federal com período de retorno de 10 anos, duração de 24 horas e

⁸ Tubulações que interligam as captações (bocas de lobo) aos poços de visita.

⁹ “São caixas subterrâneas, visitáveis, de concreto ou alvenaria, que interligam dois ou mais trechos de rede e condutos de ligação. São dotados de um fuste com o topo no nível da superfície que é fechado com um tampão metálico, ou de concreto, removível.” (ADASA, 2018, p. 95). Os poços de visita têm também a função de possibilitar o acesso de equipamentos para limpeza e manutenção da rede.

¹⁰ O Diagrama de Voronoi considera que, em um plano, existem pontos que estão mais próximos de uma fonte geradora do que de outra fonte. O resultado é, então, um polígono cujas distâncias entre fonte e ponto são as menores possíveis.

¹¹ Chuva de projeto é definida como: “evento meteorológico capaz de gerar o maior valor de vazão a ser considerado (maximização de pico de cheia) no dimensionamento das estruturas de drenagem e das obras de retenção” (ADASA, 2011, n. p.).

discretizado de cinco em cinco minutos. Essa chuva de projeto é demonstrada pela equação:

$$i = \frac{1574,5xTr^{0,207}}{(tc+11)^{0,884}}$$

em que:

i = intensidade em mm/h;

tr = tempo de retorno em anos;

tc = duração da chuva em minutos.

Chuva simulada é aquela de elevada intensidade, que testa o sistema em uma situação pouco convencional, porém, determina, para um adequado período de retorno, a eficiência da rede de drenagem. Com esses procedimentos concluídos, foi possível iniciar as simulações dos cenários.

4 Parametrização das técnicas compensatórias utilizadas nos cenários

A fase da parametrização, como exposto na tabela 1, faz-se necessária à obtenção dos dados, para informar ao programa as variações espaciais das características da área de estudo. Foi necessário, antes, inserir parâmetros para cada tipo de LID utilizado na construção dos diferentes cenários, de modo que o PCSWMM pudesse simular a redução do escoamento superficial gerado. Para a definição desses parâmetros além dos dados do projeto proposto, foram utilizados o suporte on-line do programa (PCSWMM SUPPORT, 2019), bem como artigos científicos que tratam do tema, como o estudo intitulado *Vegetated swale* (PENNSYLVANIA STORMWATER MANAGEMENT MANUAL, 2019).

A entrada da água pluvial nas valas acontece por meio de aberturas nas guias, ou seja, as valas recebem o escoamento superficial. A saída de águas se dá por infiltração e por comunicação por meio de drenos com as valas a jusante. A vala localizada no ponto mais baixo do terreno é conectada ao poço de visita mais próximo com tubulações de fundo.

Tabela 1: Parâmetros das valas de infiltração

Local das valas (cenário)	Parâmetros das valas de infiltração				
	Altura da borda (mm)	Rugosidade da superfície	Volume da vegetação (m ³)	Declividade	Dimensão das bordas da vala
valas na W4 Norte (cenário 1)	1.200	0,033	0,00	1%	5,66
valas na W3 Norte (cenário 2)	700	0,033	0,00	2%	2,5
valas no Eixão (cenário 3)	300	0,033	0,00	1%	7,5

Fonte: Elaboração dos autores.

Para otimizar o uso do LID, direcionou-se o escoamento superficial das vias para as valas de infiltração (três cenários) por meio de espaços/aberturas nas guias. Foi necessário também alimentar o PCSWMM com a informação de que as valas da W4 e da W3 funcionariam em série, ou seja, como enchimento de uma vala que extravasaria o volume de água excedente para a vala seguinte. Isso acontece porque, na modelagem desse tipo de LID, não é possível inserir um dreno de fundo.

4.1 Parametrização das quadras gramadas (bacias de retenção)

Para simular o comportamento hidrológico das quadras gramadas, que funcionarão como bacias de retenção propostas nas EQN 309/310, 110/111 e 313/314, foi necessário informar, ao PCSWMM, a cota em que cada degrau-arquibancada está em relação ao terreno e à área que a água ocupará em cada um deles. A tabela 2 mostra a cota e a área considerada para cada degrau-arquibancada.

Tabela 2: Parâmetros das quadras gramadas (bacias de detenção)

Parâmetros quadra gramada/bacia de detenção				
Arquibancada/ local	EQN 309/310	EQN 110/111	EQN 313/314	área (m²)
fundo	1.063,4	1.048,4	1.063,4	1.800
1° degrau	1.063,8	1.048,8	1.063,8	1.946,56
2° degrau	1.064,2	1.049,2	1.064,2	2.098,24
3° degrau	1.064,6	1.049,6	1.064,6	2.2550,4
4° degrau (topo)	1.065	1.050	1.065	

Fonte: Elaboração dos autores.

As bacias de detenção devem ser alimentadas pela rede de drenagem. Suas descargas também são na rede existente, em um ponto a jusante das bacias, por meio de orifícios de fundo e de vertedores. Além disso, foi proposto que essa bacia de detenção fosse conectada à rede de drenagem com uma entrada e duas saídas, com a entrada de água por meio de condutos ligados à rede de drenagem. Para a saída, prevê-se um orifício de fundo (com 30 cm de diâmetro), que permite uma vazão menor e controlada. No caso de uma grande chuva, o volume de água não extrapola a bacia caso haja um vertedor no último degrau-arquibancada (com 3,00 x 0,40 m). Isso impedirá a água de ultrapassar a altura de coroamento da bacia (1,20 m).

4.2 Parâmetros das lagoas pluviais (bacias de retenção)

Os parâmetros demandados para as lagoas pluviais, necessários para alimentar o PCSWMM, referem-se a: *i)* cota de fundo, *ii)* cota da lâmina de água permanente, *iii)* cota de topo (quando a lagoa estiver retendo as águas pluviais), *iv)* área da lagoa. Esses dados podem ser vistos na tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros da lagoa pluvial (bacia de retenção)

PARÂMETROS DA LAGOA PLUVIAL		
PARÂMETRO/LOCAL	EQN 311/312	EQN 112/113
cota de fundo	1.052	1.042
cota da lâmina de água permanente	1.053	1.043
cota de topo	1.055	1.045
Área da lagoa (m ²)	6.338	7.437

Fonte: Elaboração dos autores.

As bacias de retenção são alimentadas pela rede de drenagem por uma tubulação de entrada. A descarga acontece por tubulação de saída também conectada à rede (mesma cota da lâmina de água permanente). A figura 9 mostra a posição das bacias de detenção e de retenção na área de estudo, assim como evidencia os condutos que as ligam à rede de drenagem. Os dispositivos de descarga (orifício de fundo e vertedor) estão conectados aos PV a jusante das bacias.

Figura 9: Localização das bacias de retenção e de detenção (cenário 4)



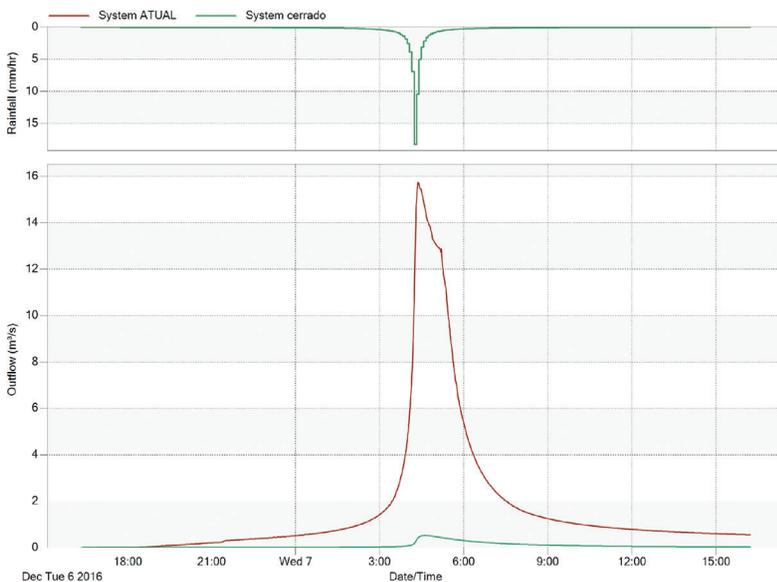
Fonte: Elaboração dos autores.

5 Análise dos resultados das simulações hidráulico-hidrológica

Os resultados foram analisados no que se refere aos seguintes aspectos: *i*) vazão de pré e de pós-desenvolvimento; *ii*) vazão máxima no exutório em que se considerou o parâmetro definido nas normas da Adasa; *iii*) percentual de amortecimento de cada cenário.

Para comprovar os problemas de drenagem do cenário atual (rede existente), foi feita uma comparação com um cenário sem urbanização denominado *cenário cerrado*. Para a construção de cenário, retirou-se a rede de drenagem da área mantendo apenas o exutório e se utilizou o CN = 45, que é compatível com a cobertura de cerrado. Assim, foi possível simular o comportamento das águas pluviais para uma condição de pré-urbanização. O resultado é apresentado no gráfico 1.

Gráfico 1: Vazão de pico em situações pré e pós-urbanização

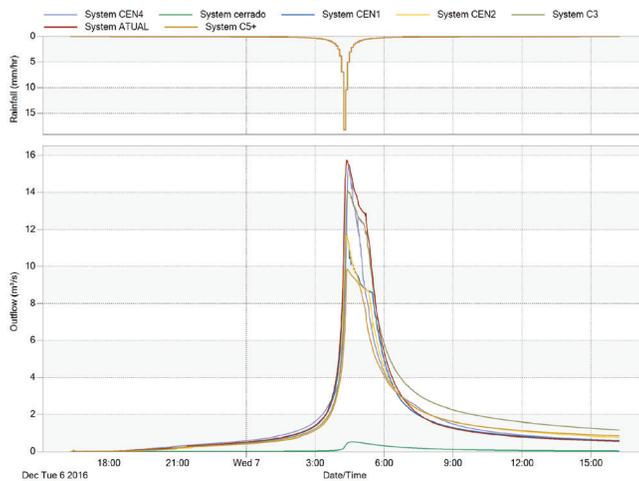


Fonte: Elaboração dos autores.

Assim, hoje, a vazão máxima no exutório é de 15,73 m³/s, em um cenário que representa a vazão de pré-urbanização¹² de apenas 0,521 m³/s. Essa discrepância demonstra a alteração que o processo de urbanização causa no comportamento do escoamento superficial e da infiltração.

O desenvolvimento urbano reduziu a cobertura vegetal original e aumentou área impermeabilizada. Com isso, o escoamento superficial aumentou e a infiltração diminuiu. Com a implantação de galerias de águas pluviais tradicionais, acelerou-se a velocidade de escoamento, reduzindo o tempo de deslocamento das ondas de cheias. Isso fez com que as vazões máximas aumentassem e seus picos fossem antecipados. Têm-se, então, vazões maiores em tempos mais curtos.

Gráfico 2: Comparativo de vazão de pico no exutório



Fonte: Elaboração dos autores.

A Adasa publicou a Resolução nº 9, de 8 de abril de 2011, que tem o objetivo de estabelecer as diretrizes e os critérios gerais para a outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos superficiais do Distrito Federal. Essa resolução determina que o lançamento

¹² É a “vazão estimada de escoamento superficial calculada considerando-se a situação natural de cobertura do solo” (ADASA, 2011, n. p.).

de águas pluviais em corpo hídrico superficial limite-se à vazão específica de até 24,4 l/seg. Assim, para a macrobacia de estudo – que tem 353,98 ha – a vazão outorgada¹³ é de 8.637,112 l/s ou 8,63 m³/s. Com base nesse parâmetro, houve a avaliação das vazões de pico no exutório de cada cenário, que pode ser observada no gráfico 2. Ele mostra a vazão no cenário atual e nos outros cinco cenários propostos. A representação se dá para intervalo de quatro horas, que mostra o momento das vazões de pico.

Os dados de vazão de pico, fruto da modelagem e da simulação, estão descritos na tabela 4.

Tabela 4: Vazão máxima no exutório de todos os cenários simulados

LANÇAMENTO NO EXUTÓRIO	
CENÁRIO	VAZÃO DE PICO NO EXUTÓRIO (M³/S)
Cenário atual	15,73
Cenário cerrado	0,52
Cenário 1 (valas na W4)	11,72
Cenário 2 (valas na W3)	11,69
Cenário 3 (valas no Eixão)	14,07
Cenário 4 (bacias nas EQN)	15,39
Cenário 5 (todas as LID)	9,87

Fonte: Elaboração dos autores.

Como visto, na situação atual, a vazão final gerada é de 15,73 m³/s, muito superior ao que a Adasa permite (até 8,63 m³/s). Em contrapartida, todos os cinco cenários proporcionam a redução da vazão de pico no exutório, com destaque para o desempenho do cenário 5, conjunto de todas as técnicas utilizadas trabalhando em conjunto, que apresenta a menor vazão de pico: apenas 9,87 m³/s. Esse é o que mais se aproxima da

¹³ Volume máximo que se poderá lançar no corpo hídrico receptor por um determinado período.

vazão de pré-urbanização, mas ainda muito acima dela. O cenário 5 não atende à Resolução nº 9/2011, mas é o que mais se aproxima da vazão preconizada pela Adasa, ficando apenas 14,4% além do recomendado. Com esses dados, é possível avaliar o amortecimento que cada cenário pode gerar na macrobacia. Eles se referem à porcentagem da onda de cheia que foi atenuada. Esses valores são representados na tabela 5.

Tabela 5: Amortecimento total

CENÁRIO	AMORTECIMENTO (%)
Cenário cerrado	96,69
Cenário 1 (valas na W4)	25,49
Cenário 2 (valas na W3)	25,68
Cenário 3 (valas no Eixão)	10,55
Cenário 4 (bacias nas EQN)	2,16
Cenário 5 (todas as LID)	37,27

Fonte: Elaboração dos autores.

Constata-se que, de forma individual, os cenários 1 e 2 são os mais eficientes, seguidos pelo cenário 5 (todas as LID), que apresenta maior eficácia, visto ser capaz de neutralizar 37,27% das águas da urbanização existente. Além do comportamento no exutório, pode-se avaliar a efetividade das características do LID nos principais pontos de alagamento. Para essa avaliação, observou-se o comportamento hidrológico em um conduto próximo do pior problema de extravasamento na macrobacia de drenagem estudada, localizado nas imediações da SCLRN 712 (a montante do alagamento). Os valores simulados podem ser vistos na tabela 6.

Na avaliação do extravasamento total de rede, nota-se que, no cenário atual, esse valor é de 85.420 m³ e trata-se de um extravasamento que ocorre em pouco mais de uma hora. Esse dado demonstra como é grande o volume de água que vai para as ruas em uma chuva crítica. Ressalte-se que, em todos os cenários propostos, ainda haveria extravasamento da rede. Entretanto, com o funcionamento de todas as técnicas de LID de forma simultânea (cenário 5), os alagamentos gerados

seriam menores e aconteceriam em menos poços de visita, visto que o volume total de água extravasada cairia para 56.410 m³.

Tabela 6: Extravasamento total da rede (m²)

Cenário atual	85.420
Cenário 1 (valas na W4)	99.720
Cenário 2 (valas na W3)	81.740
Cenário 3 (valas no Eixão)	45.310
Cenário 4 (bacias nas EQN)	88.430
Cenário 5 (todas as LID)	56.410

Fonte: Elaboração dos autores.

Apesar de o estudo ser em uma área específica, seus resultados contribuem para a afirmação de um novo paradigma na área da drenagem urbana e sua integração à arquitetura da paisagem.

Considerações finais

O estudo sobre o papel das áreas verdes urbanas quanto ao desempenho da permeabilidade e sua função como elemento de drenagem urbana leva ao entendimento de que não basta que existam espaços livres e verdes nas cidades se esses não forem adequadamente manejados com técnicas paisagísticas e de infraestrutura verde, pois funcionarão como se fossem compactados e, portanto, impermeáveis. Na pesquisa referente ao Plano Piloto de Brasília, área com grande percentual de áreas não pavimentadas, verificou-se, por um lado, que tais espaços verdes foram projetados apenas com o intuito estético e com a intenção de atender às necessidades antropocêntricas, como lazer e conforto ambiental. Ao contrário do que possa parecer, as questões ecológicas e ambientais não são o foco da paisagem arborizada de Brasília. Por outro lado, a existência dessas vastas áreas livres permite um redesenho da paisagem urbana com utilização de técnicas de LID, para promover uma alteração do funcionamento do metabolismo da cidade de modo a solucionar os problemas de drenagem instalados. As simulações hidrológicas

permitiram testar cenários comprovando que a mudança de paradigma de drenagem resultante da implantação de elementos que propiciam a infiltração associados à rede tradicional já existente é factível e pode, além promover soluções para alagamentos com redução de escoamento superficial, contribuir com a recarga de aquíferos. São soluções fundamentadas nos processos naturais que contribuem para que as cidades possam oferecer melhor qualidade ambiental e de vida a seus moradores.

Este livro foi composto em UnB Pro e Liberation Serif.

Paisagem urbana

natureza & pessoas

Paisagem urbana: natureza & pessoas reúne o resultado de pesquisas acerca da inserção da dimensão ambiental nas decisões de ordenamento territorial urbano. Desenvolve abordagem teórico-prática tendo o Distrito Federal como objeto de análise, com achados que podem ser replicados em outros contextos.

Inicialmente, trata dos conceitos de qualidade de vida e ambiental e de sua tradução em atributos espaciais para subsidiar as intervenções na paisagem. Segue investigando as manifestações conceituais sobre Arquitetura da Paisagem, quando destaca a infraestrutura verde como método de abordagem para estruturação da paisagem urbana multifuncional.

Dedica atenção às relações entre cidade e água, com ênfase na drenagem sustentável por meio de estudo dos alagamentos de Brasília, utilizando métodos de simulação que demonstram efetividade em comparação às soluções tradicionais. Trata ainda da ocupação urbana em áreas de recarga de aquíferos, indicando a relação entre padrões urbanísticos e infiltração, gerando subsídio para revisão dos Planos Diretores.

Considerando que mais de 90% do território do Distrito Federal é constituído por unidade de conservação, apresenta estudo da base normativa do tema. Com métodos de planejamento ambiental urbano, mostra alternativas de redução de conflitos e de gestão entre Planos de Manejo e Planos Diretores Urbanos.

O último capítulo traz um ensaio sobre o ordenamento territorial na macroescala, utilizando o conjunto de cidades do Distrito Federal, suas articulações e interdependências na relação entre espaços naturais e construídos.

Foto ao fundo:

Interior da
Biblioteca
Central/UnB.
Por Alexandra
Martins.



EDITORA



UnB