

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTRATÉGIAS DE INFRAESTRUTURA VERDE
APLICADAS À DRENAGEM URBANA EM ÁREAS
DENSAMENTE OCUPADAS: O CASO DO TRECHO 3 DO
SETOR HABITACIONAL SOL NASCENTE**

LUIZ GUILHERME ARANTES GUIMARÃES

**ORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE
ALVES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

**PUBLICAÇÃO: PTARH. DM – 229/2019
BRASÍLIA/DF: OUTUBRO/2019**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTRATÉGIAS DE INFRAESTRUTURA VERDE
APLICADAS À DRENAGEM URBANA EM ÁREAS
DENSAMENTE OCUPADAS: O CASO DO TRECHO 3 DO
SETOR HABITACIONAL SOL NASCENTE**

LUIZ GUILHERME ARANTES GUIMARÃES

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

**Profa. Conceição de Maria Albuquerque Alves, PhD (FT-UnB)
(Orientadora)**

**Prof. Sergio Koide, PhD (ENC-UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Maria do Carmo De lima Bezerra, Dra. (FAU-UnB)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 21 DE OUTUBRO DE 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

GUIMARÃES, LUIZ GUILHERME ARANTES

Estratégias de Infraestrutura Verde Aplicadas à Drenagem Urbana em Áreas Densamente Ocupadas: O Caso do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente [Distrito Federal] 2019.

xii, 112p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2019).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Infraestrutura verde

2. Drenagem sustentável

3. Ecologia da paisagem

4. Urbanismo sustentável.

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Luiz Guilherme Arantes Guimarães.

TÍTULO: Estratégias de Infraestrutura Verde Aplicadas à Drenagem Urbana em Áreas Densamente Ocupadas: O Caso do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente.

GRAU: Mestre

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Luiz Guilherme Arantes Guimarães
lgsg1971@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Em toda jornada percorrida em nossa vida existe o tempo para cada coisa, o grau de dificuldade e de facilidade, as pessoas fundamentais, os obstáculos, as derrotas, as vitórias, o polimento, enfim, as circunstâncias na medida certa, no Ponto Grau. No cenário da minha vida durante essa travessia, agradeço ao Criador que, com seus mistérios, vem me acompanhando e auxiliando na caminhada. Agradeço as minhas queridas filhas, Sabrina, Samanta e Sarah, pela compreensão, apoio, confiança e torcida alegre e presente. A meus pais, Moacyr e Celia, pela sempre presença amiga, apoiadora e compreensiva.

Nesse caminho desafiador encontrei várias pessoas de grande importância que serão para mim sempre lembrados: meus professores. E, aqui, agradeço a todos destacando dois nomes: a minha orientadora, Conceição, e o professor Koide, que foram as primeiras pessoas com quem conversei no Programa. Conhecimento, compromisso com o ensino, a superação de obstáculos, a amizade e a confiança de que sempre podemos fazer algo melhor são as qualidades dessas pessoas que levarei comigo na lembrança. Agradeço também a Tamara e Daniela Junqueira, anjos que me ensinaram a manipular o programa PCSWMM. Aos meus colegas do Mestrado, com quem sempre aprendi bastante, agradeço pelo auxílio e pela companhia nessa história em comum.

Presto meu reconhecimento também às instituições que, com seus servidores e funcionários, me prestaram apoio fundamental com o fornecimento de dados e informações sem os quais este trabalho não seria viável: Instituto Brasília Ambiental (Ionise, Mônica e Simone), ADASA (Caroline), NOVACAP (Juliane e Humberto), SINESP (Jessica) e CODHAB (Maiara). A ChiWater pela licença do programa PCSWMM, com o qual foi possível obter os resultados deste trabalho.

RESUMO

ESTRATÉGIAS DE INFRAESTRUTURA VERDE APLICADAS À DRENAGEM URBANA EM ÁREAS DENSAMENTE OCUPADAS: O CASO DO TRECHO 3 DO SETOR HABITACIONAL SOL NASCENTE

Autor: Luiz Guilherme Arantes Guimarães

Orientadora: Conceição de Maria Albuquerque Alves

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, 21 de Outubro de 2019

Este trabalho aborda a aplicação de estratégias da Infraestrutura Verde às soluções de drenagem em parcelamentos do solo densamente ocupados visando a sua sustentabilidade. O arcabouço teórico da Infraestrutura Verde defende que a conservação e a recuperação de sistemas naturais promovem serviços ecossistêmicos capazes de oferecer benefícios socioambientais, econômicos e culturais. Com base no estudo de referencial teórico específico, esta pesquisa investiga os conceitos e métodos dessa abordagem e seu potencial de contribuição, aplicado ao projeto de drenagem do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente, no Distrito Federal, uma ocupação urbana periférica com pouca disponibilidade de espaços, mas com áreas de grande sensibilidade ambiental em seu entorno imediato. Nesse contexto, foram avaliadas alternativas para o sistema de amortecimento de vazão de lançamento nos corpos hídricos, por meio de modelagem matemática com simulações realizadas com o programa PCSWMM, desenvolvido pela ChiWater (*Computational Hydraulics International*), amplamente utilizado para modelagem de sistemas de drenagem urbana. Os cenários avaliados foram o da própria rede de drenagem projetada para a ocupação urbana, contando com reservatórios de armazenamento convencionais e outro cenário considerando a aplicação de estratégias de Infraestrutura Verde em espaços multifuncionais no interior de parques. Os resultados da modelagem indicaram a viabilidade e os benefícios da implantação de espaços multifuncionais nos parques atendendo às diversas demandas socioambientais envolvidas, entre estas os valores máximos estabelecidos para a vazão máxima de lançamento de drenagem no Distrito Federal.

Palavras-chave: Infraestrutura verde; Drenagem sustentável; Ecologia da paisagem; Urbanismo sustentável

ABSTRACT

GREEN INFRASTRUCTURE STRATEGIES APPLIED TO URBAN DRAINAGE IN HIGH-DENSITY AREAS: THE CASE OF THE SECTION 3 OF THE HOUSING SECTOR RISING SUN

Author: Luiz Guilherme Arantes Guimarães

Supervisor: Conceição de Maria Albuquerque Alves

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, 21th October of 2019

This research addresses the application of Green Infrastructure strategies to drainage solutions in high-density urban areas, aiming at its sustainability. The conceptual basis of Green Infrastructure argues that the conservation and restoration of natural systems promote ecosystem services capable of promoting social, environmental, economic and cultural benefits. Based on the study of specific bibliography, this research investigates the concepts and methods of this approach and their potential contribution applied to the drainage project of the Section 3 of the Rising Sun Housing Sector in the Federal District, a peripheral urban occupation with large soil sealing and little availability of spaces, but with great environmental sensitivity in its immediate surroundings. In this context, alternatives to the damping system for stormwater release were evaluated through mathematical modeling with simulations performed with the PCSWMM program developed by ChiWater (Computational Hydraulics International), widely used for modeling urban drainage systems. The scenarios evaluated were the drainage network itself designed for urban occupation, with conventional storage reservoirs and another scenario considering the application of Green Infrastructure strategies in multifunctional spaces within parks. The modeling results indicated the feasibility and benefits of the implementation of multifunctional spaces in the parks, meeting the various social and environmental demands involved, among them the maximum values established for the maximum drainage discharge flow in the Federal District.

Key-words: Green Infrastructure; Sustainable Drainage; Landscape Ecology; Sustainable Urbanism

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVO.....	6
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1 - A EVOLUÇÃO DO PLANEJAMENTO ECOLÓGICO DA PAISAGEM.....	7
3.2 - O PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA VERDE.....	13
3.3 - APLICAÇÃO DO DESIGN DA INFRAESTRUTURA VERDE NA DRENAGEM URBANA.....	28
3.4. REGULAÇÃO DA DRENAGEM URBANA NO DISTRITO FEDERAL.....	46
3.5 - AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROGRAMA PCSWMM	49
4 - METODOLOGIA.....	53
4.1 - DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DA ETAPA 1.....	54
4.2 - DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DA ETAPA 2.....	56
4.3 - DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DA ETAPA 3.....	57
5 - ESTUDO DE CASO – SETOR HABITACIONAL SOL NASCENTE TRECHO 3	58
5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	59
5.2 - DADOS DO PROJETO URBANÍSTICO.....	66
5.3 - DADOS DO PROJETO DE DRENAGEM.....	71
6 - ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
6.1 - ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS.....	72
6.2 - PARAMETRIZAÇÃO.....	85
6.3 - ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES NO PCSWMM.....	89
7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	103
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Mapa do Parque Linear Emerald	8
Figura 3.2 - Fenway Victory Gardens em 2015.....	8
Figura 3.3 - Constelação de cidades.....	9
Figura 3.4 - Cidade-Jardim.....	9
Figura 3.5 - Suitability Analysis: modelo de adequação ao uso da terra.....	10
Figura 3.6 - Estrutura do modelo "Mozaico Territorial" de Forman.....	12
Figura 3.7 - Componentes genéricos de sistemas de corredores verdes.....	14
Figura 3.8 - Corredor verde no Gordon River	14
Figura 3.9 - Componentes genéricos de sistemas de Infraestrutura Verde	19
Figura 3.10 - Ilustração exemplificativa da interligação em escalas	21
Figura 3.11 - Ilustração indicativa da análise multiescalar	22
Figura 3.12 - Fluxograma da metodologia proposta por Ahern	25
Figura 3.13 - Ilustração do plano de Infraestrutura Verde do município de Webster/EUA.....	30
Figura 3.14 - Lagoa de retenção em parque no bairro High Point na cidade de Seattle	36
Figura 3.15 - Wetland no parque Tanner Springs na cidade de Portland.....	36
Figura 3.16 - Jardim de chuva e vala de infiltração.....	39
Figura 3.17 - Jardim de chuva em Portland/OR e em Seattle/WA.....	39
Figura 3.18 - Vala de infiltração e telhado verde	39
Figura 3.19 - Lagoa de detenção e de retenção	40
Figura 3.20 - Lagoa de retenção no Parque São Lourenço em Curitiba/PR.....	40
Figura 3.21 - Lagoa de retenção em Guimarães/Portugal.....	41
Figura 3.22 - Lagoa de detenção em Taboão da Serra/SP.....	41
Figura 3.23 - Lagoa de detenção no Parque Burle Marx em Brasília/DF.....	42
Figura 3.24 - Lagoa de detenção no Parque Veredinha em Brazlândia, DF.....	42
Figura 3.25 - Parc du Chemin de I'lle, Nanterre/França.....	43
Figura 3.26 - Renaissance Park, Tenesse/EUA.....	44
Figura 3.27 - Houtain Park, Shangai/China.....	44
Figura 4.1 - Quadro com a metodologia de pesquisa.....	53

Figura 5.1 - Localização do Setor Habitacional Sol Nascente.....	59
Figura 5.2 - Localização do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente.....	60
Figura 5.3 - Mapa da hidrografia e vegetação da área de estudo.....	61
Figura 5.4 - Hipsometria da área de estudo.....	62
Figura 5.5 - Declividade da área de estudo.....	63
Figura 5.6 - Mapa de restrição de ocupação em borda de chapada.....	63
Figura 5.7 - Pedologia da área de estudo.....	64
Figura 5.8 - Mapa síntese da área de estudo com poligonal de regularização.....	65
Figura 5.9 - Distribuição de equipamentos públicos e parques.....	67
Figura 5.10 - Fotografia de logradouro público em Ceilândia.....	68
Figura 5.11 - Fotografia de logradouro público no SHSN.....	68
Figura 5.12 - Imagem de satélite de Ceilândia.....	69
Figura 5.13 - Imagem de satélite do SHSN.....	69
Figura 5.14 - Percepção da Infraestrutura de lazer no PDAD/2018.....	70
Figura 5.15 - Rede de drenagem para o Trecho 3 do SHSN.....	71
Figura 6.1 - Ilustração representativa do cenário da rede projetada no PCSWMM.....	73
Figura 6.2 - Fotografia da área das bacias de detenção da sub-bacia L1.....	74
Figura 6.3 - Imagem de satélite da área das bacias de detenção da sub-bacia L1 e L2.....	74
Figura 6.4 - Fotografia da área das bacias de detenção da sub-bacia L1.....	74
Figura 6.5 - Estratégias - Infraestrutura Verde.....	77
Figura 6.6 - Estratégias - Infraestrutura Verde - Interligação com entorno.....	78
Figura 6.7 - Ilustração representativa do cenário da infraestrutura verde.....	79
Figura 6.8 - Comparação da proposta com foto aérea de 1964.....	80
Figura 6.9 - Imagem de satélite de 2018 das áreas úmidas remanescentes.....	81
Figura 6.10 - Ilustração do cenário de Infraestrutura Verde com proposta de parque.....	83
Figura 6.11 - Declividade na área das lagoas do cenário de Infraestrutura Verde.....	83
Figura 6.12 - Perfil do terreno e cotas de nível das lagoas das sub-bacias L1 e L2.....	84
Figura 6.13 - Ilustração comparativa mostrando sub-bacias dos cenários avaliados.....	85
Figura 6.14 - Fluxograma do processo de modelagem executada no PCSWMM.....	86
Figura 6.15 - Imagens de satélite com as áreas estudadas por Fileni (2017).....	88
Figura 6.16 - Ilustração com esquema dos lançamentos da rede projetada.....	89
Figura 6.17 - Hidrograma da rede projetada da sub-bacia L1.....	91
Figura 6.18 - Hidrograma da rede projetada da sub-bacia L2.....	92

Figura 6.19 - Ilustração com esquema docenário de Infraestrutua Verde.....	93
Figura 6.20 - Hidrograma da sub-bacia L1 - Infraestrutura Verde.....	95
Figura 6.21 - Hidrograma da sub-bacia L1A - Infraestrutura Verde.....	96
Figura 6.22 - Hidrograma da sub-bacia L1B - Infraestrutura Verde.....	97
Figura 6.23 - Hidrograma da sub-bacia L2 - Infraestrutura Verde.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Princípios da Infraestrutura Verde.....	20
Tabela 3.2 - Passos para elaboração do design da Infraestrutura Verde.....	24
Tabela 3.3 - Exemplos de aspectos funcionais abióticos, bióticos e culturais.....	26
Tabela 3.4 - Estratégias de planejamento para a Infraestrutura Verde	27
Tabela 3.5 - Princípios para a resiliência de sistemas de Infraestrutura Verde	28
Tabela 3.6 - Componentes da Infraestrutura Verde por escalas	31
Tabela 3.7 - Técnicas de wetlands construídos quanto ao tipo de fluxo e vegetação	45
Tabela 3.8 - Dimensionamento das bacias de quantidade no DF.....	48
Tabela 5.1 - Quadro de lotes do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente	66
Tabela 5.2 - Áreas para Parques no Trecho 3 do Setor Habitacional SolNascente	67
Tabela 6.1 - Elaboração de Cenários	72
Tabela 6.2 - Estratégias para o cenário de Infraestrutua Verde.....	75
Tabela 6.3 - Valores de CN para as áreas residenciais em bacias urbanas e suburbanas.....	87
Tabela 6.4 - Dados do lançamento da sub-bacia L1 - rede projetada.....	90
Tabela 6.5 - Dados de entrada e saída das bacias de detenção L1 - rede projetada	91
Tabela 6.6 - Dados do lançamento da sub-bacia L2 - rede projetada.....	92
Tabela 6.7 - Dados de entrada e saída das bacias de detenção L2 - rede projetada	92
Tabela 6.8 - Dados do lançamento da sub-bacia L1 - infraestrutura verde	94
Tabela 6.9 - Dados de entrada e saída das lagoas L1 - infraestrutura verde	95
Tabela 6.10 - Dados do lançamento da sub-bacia L1A - infraestrutura verde.....	95
Tabela 6.11 - Dados de entrada e saída da lagoa L1A - infraestrutura verde.....	96
Tabela 6.12 - Dados do lançamento da sub-bacia L1B - infraestrutura verde.....	97
Tabela 6.13 - Dados de entrada e saída da lagoa L1B - infraestrutura verde.....	97
Tabela 6.14 - Dados do lançamento da sub-bacia L2 - infraestrutura verde.....	98
Tabela 6.15 - Dados de entrada e saída das lagoas L2 - infraestrutura verde	99
Tabela 6.16 - Comparação dos benefícios gerados pelos cenários.....	100
Tabela 6.17 - Comparação das áreas ocupadas e volumes dos dispositivos.....	101

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
APP – Área de Preservação Permanente
ARIS – Área de Regularização de Interesse Social
BMP – Best Management Practices
CHIWATER - Computational Hydraulics International
CN – Curva Número
CODHAB - Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal
EIA – Estudo Prévio de Impacto do Meio Ambiente
GDF – Governo do Distrito Federal
IBRAM - Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal
IDF – Curva Intensidade-Duração-Frequência
IV – Infraestrutura Verde
LID – Low Impact Development
MDE – Memorial Descritivo
NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
ONU – Organização das Nações Unidas
PCSWMM – Personal Computer Storm Water Management Model
PDOT – Plano Diretor de Ordenamento Territorial
PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana
PEC – Ponto de Encontro Comunitário
PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
PV – Poço de visita
RIMA – Relatório de Impacto do Meio Ambiente
SBN – Soluções baseadas na natureza
SCS - Soil Conservation Service
SHSN – Setor Habitacional Sol Nascente
SWMM - Storm Water Management Model
TR – Tempo de retorno
UC – Unidade de Conservação
UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USEPA – United States Environmental Protection Agency
USFS – United States Forestal Service

1. INTRODUÇÃO

Nos ambientes naturais, uma parte da precipitação da água da chuva é interceptada pela vegetação e outra chega ao solo, onde as condições de relevo direcionam o escoamento superficial até o corpo hídrico, favorecendo processos de infiltração, evaporação e retenção nesse percurso. A infiltração aumenta o escoamento de base dos rios na época de seca e diminui o acréscimo de vazão nos eventos de precipitação. Com isso, apenas uma parte das águas pluviais alcançam o córrego ou rio, aumentando sua vazão dentro do equilíbrio estabelecido pelos processos ecológicos locais. Nos ambientes urbanos, as intervenções antrópicas feitas nas características naturais impermeabilizam o solo e diminuem a infiltração e, portanto, o fluxo subterrâneo de água, aumentando o volume, acúmulo e a velocidade do escoamento superficial para jusante. Esta situação é agravada proporcionalmente ao grau de impermeabilização urbana que, quando elevado, pode produzir diversos prejuízos socioambientais. Neste cenário, existe uma elevação da vazão de cheia acima da capacidade do corpo hídrico receptor causando inundações, gerando erosão e deteriorando a qualidade da água com o carreamento de poluentes oriundos da lavagem das superfícies urbanas. (Tucci, 2008; Tucci 2016; Canholi, 2014; Martins, 2012)

A urbanização da maioria das cidades brasileiras ainda está baseada na impermeabilização massiva e na perda de áreas naturais com desmatamento, retificações e canalizações de rios, criando ou agravando o quadro descrito acima, contribuindo também para a escassez e perda de qualidade dos recursos hídricos, uma vez que essa realidade diminui a recarga dos aquíferos e o potencial de biorretenção das áreas naturais. No entanto, algumas cidades brasileiras, diante dos problemas de drenagem que esses fatores causam e das mudanças climáticas, têm buscado melhores soluções de drenagem que reproduzam, dentro do possível, as condições naturais, em especial, referentes à infiltração. Essas soluções têm se baseado em experiências exitosas de outros países, na direção de soluções baseadas em processos naturais e ecológicos. (Tucci et al, 2012; Canholi, 2014; Martins, 2012)

Segundo a Organização das Nações Unidas/ONU, a percepção atual é de que as soluções baseadas em processos naturais são mais eficazes se analisarmos o seu custo-benefício¹. A UNESCO², converge em seu Relatório “Soluções Baseadas na Natureza

¹ Conforme o coordenador e diretor do Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos da UNESCO (WWAP), Stefan Uhlenbrook”. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/relatorio-da-unesco-indica-solucoes-baseadas-na-natureza-para-uma-melhor-gestao-da-agua/>.

(SbN) para a Gestão da Água”, lançado no Fórum Mundial da Água em Brasília-DF, no dia 19/03/2018, sugerindo que:

Alguns dos melhores exemplos de utilização de SbN ocorrem onde elas são capazes de melhorar o desempenho da infraestrutura cinza. A situação atual, com infraestruturas cinzas envelhecidas, inadequadas ou insuficientes em todo o mundo, cria oportunidades para as SbN como soluções inovadoras que incluem perspectivas de serviços ecossistêmicos, maior resiliência e considerações relativas aos meios de subsistência no âmbito do planejamento e da gestão da água. (UNESCO, 2018)

Pellegrino (2000) afirma que os processos naturais não deixam de existir nas cidades por causa das modificações antrópicas, mas são alterados negativamente pela modificação ou supressão das características naturais. E que, sendo assim, o planejamento da paisagem urbana pode mitigar os impactos do uso do solo, moldando o desenvolvimento territorial com a manutenção e expansão das áreas naturais conectadas em rede. Metzger (2001) afirma que a ciência da ecologia da paisagem se baseia nas interações espaciais entre ambientes naturais e antrópicos, analisando os potenciais de serviços ecossistêmicos nas trocas entre os dois ambientes, o que a torna campo fértil para o planejamento de soluções para equalização dos processos naturais urbanos.

No contexto da ecologia da década de 1990, ganha destaque no cenário Norteamericano o conceito da paisagem como estrutura ecossistêmica, surgindo o termo Infraestrutura Verde, representando uma abordagem estratégica baseada na ecologia da paisagem, por meio da qual é possível projetar e proteger uma rede de espaços abertos, naturais e antrópicos, com objetivo de manter o funcionamento ecológico dessas áreas e prestar serviços ecossistêmicos (Firehock, 2010). Segundo Benedict e McMahon (2002), a abordagem da Infraestrutura Verde, definida como uma “rede de espaços abertos, florestas, habitats silvestres, reservas, parques e outras áreas naturais que mantêm o ar e a água limpos, os recursos naturais e qualidade de vida”, pode ser aplicada tanto no planejamento da paisagem urbana voltado para proteção de espaços naturais existentes, como para sua ampliação e interconexão em rede, formando a “estrutura ecológica necessária para a sustentabilidade ambiental, social e econômica”. A Infraestrutura Verde

2 A Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) foi criada em 16 de novembro de 1945, logo após a Segunda Guerra Mundial, com o objetivo de garantir a paz por meio da cooperação intelectual entre as nações, acompanhando o desenvolvimento mundial e auxiliando os Estados-Membros – hoje são 193 países – na busca de soluções para os problemas que desafiam nossas sociedades.

também é considerada como um componente urbano, trazendo a ideia de integração com a infraestrutura cinza (vias, redes, equipamentos, etc.) e, com isso, passível de ser protegida, expandida e recuperada como objeto de planejamento (Firehock, 2010).

A ideia é que a expansão da ocupação urbana seja acompanhada pela proteção e expansão da rede de espaços naturais que compõem a Infraestrutura Verde na busca pela equalização entre as áreas de meio ambiente, urbanismo e infraestrutura. Para Benini (2015), o desenho urbano, quando em harmonia com os princípios da Infraestrutura Verde, oportuniza a utilização de processos de detenção, retenção e infiltração para controlar e purificar os corpos hídricos. Considerando que os efluentes de drenagem são lançados em cursos d'água por redes ou para estes escoam superficialmente, é possível estabelecer uma relação potencial entre os serviços ecossistêmicos e a mitigação dos impactos da drenagem pluvial.

Para tanto, a adoção da Infraestrutura Verde, como qualquer infraestrutura em área urbana, necessita de espaço para sua implantação. Nos casos relacionados a planejamento prévio (empreendimentos novos), no qual as definições e relações espaciais serão definidas *a priori*, existe um contexto favorável ao estabelecimento de uma estratégia de ocupação baseada nesses princípios. Em contexto de *retrofit*³, a disponibilização de espaço depende tanto das características da malha urbana como do âmbito de ações corretivas que possam reorganizar espacialmente a área objeto, *a posteriori*, podendo apresentar obstáculos sensíveis na proporção do grau de ocupação e consolidação do cenário urbano em questão.

Atualmente, existem no mundo vários exemplos de *retrofit* com aplicação dos princípios da Infraestrutura Verde em áreas que ofereceram potencial para intervenções efetivas em contexto favorável às ações. Em contraponto, o contexto brasileiro apresenta diversos desafios à aplicação desses princípios. Apesar do potencial do capital natural do País, em nossas áreas urbanas predominam tipologias de ocupação do solo caracterizadas pela impermeabilização, escassez de vazios urbanos para uso público, canalização de corpos hídricos, ocupação de Áreas de Preservação Permanente/APP, dificuldade de estabelecer conexões entre áreas verdes, falta de prioridade na alocação de recursos, irregularidade na ocupação do solo, entre outros desafios. Nesse cenário, torna-se um desafio a aplicação dos princípios de Infraestrutura Verde em áreas onde existem poucas

³ *Retrofit* indica um projeto de modernização. Significa "colocar o antigo em forma" (retro do latim "movimentar-se para trás" e *fit* do inglês, adaptação, ajuste). Fonte: <https://www.portalvgv.com.br/site/o-que-e-retrofit-saiba-o-significado-desta-importante-acao-no-mercado-imobiliario/>

oportunidades de espaços abertos disponíveis e remanescentes de áreas naturais, quase sempre caracterizados por alto grau de perturbação ambiental (Bonzi, 2015).

Considerando a hipótese de aplicação no contexto das cidades brasileiras, **esta pesquisa investiga os princípios do planejamento da Infraestrutura Verde e seu potencial de contribuição com soluções de drenagem em áreas com elevado grau de impermeabilização que não venham a impactar cursos hídricos receptores.** O objeto de pesquisa definido foi o Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente/SHSN, Região Administrativa de Ceilândia-DF. O SHSN é um loteamento irregular surgido no final da década de 90 na região conhecida como “Bordas da Ceilândia”, em função da ruptura de relevo em forma de escarpas nas áreas próximas aos corpos hídricos. A definição do objeto foi motivada pelos desafios relacionados ao tamanho da área (40% do Setor) e da população residente de mais de vinte mil habitantes (Saint-Germain, 2009), às características do uso e da ocupação do solo e à sensibilidade ambiental da área ocupada e de seu entorno. O Trecho 3 envolve as nascentes de córregos que compõem as cabeceiras do Rio Melchior (Unidade Hidrográfica), com sobreposição urbana em Áreas de Preservação Permanente/APP, elevado grau de impermeabilização, ocupação do solo com 97,8% de residências unifamiliares em casas (Codeplan, 2018), precariedade na oferta de equipamentos e mobiliários urbanos e logradouros públicos com dimensão de largura insuficiente para os padrões normativos do DF.

Em 2017, foi elaborado e licenciado o projeto de drenagem do Trecho 3 do SHSN, nele computados 245,36 hectares de área de contribuição do próprio setor e incorporando redes existentes em 328,72 hectares da cidade de Ceilândia, num total de 574,08 hectares de área de contribuição a serem drenados e lançados na malha hidrográfica adjacente. O projeto estabeleceu sete reservatórios de amortecimento para controle de vazão dos efluentes próximos aos lançamentos em corpo hídrico, com capacidade total de 108.702,00 m³, ocupando cerca de 70.000,00 m² de superfície divididas em dois pontos de lançamentos. A localização desses reservatórios de amortecimento, de característica monofuncional, impacta uma área destinada a parque e outra área com declividade acentuada no entorno do loteamento, com desmatamento e movimentação de terra, considerando o porte da obra e os riscos ambientais envolvidos.

No Distrito Federal, a adoção sistemática de reservatórios de amortecimento para a concessão de outorga⁴ para lançamento de drenagem foi instituída na Resolução nº 09 (ADASA, 2011). Durante a sua vigência, pela falta de espaço na malha urbana, diversos reservatórios foram projetados e executados em áreas entre o meio urbano e os corpos hídricos impactando Áreas de Preservação Permanente/APP e seu entorno, em alguns casos no interior de Parques Urbanos e Unidades de Conservação/UC do DF. Essas soluções com uma visão apenas de engenharia de drenagem dificultam a criação das redes de espaços verdes a que se refere a abordagem da infraestrutura verde que, por sua vez, apresenta soluções que aliam as duas funções urbanas. A implantação dos reservatórios demanda a utilização de grandes espaços segregados da população, criando situações negativas em aspectos sanitários, de segurança à vida e ociosidade em tempos de seca, com danos relacionados a desmatamento e movimentação de terra.

Considerando todo o contexto relatado do cenário urbano objeto deste trabalho, é possível levantar algumas questões específicas para o Trecho 3 do SHSN: (1) Quais os obstáculos e limitações ao planejamento da Infraestrutura Verde associada ao sistema de drenagem? (2) A Infraestrutura Verde apresenta soluções aplicáveis à compatibilização entre a função de dispositivos de amortecimento de vazão e a criação de parques multifuncionais, de modo a reduzir o potencial de impactos negativos? (3) Se sim, quais os elementos aplicáveis e as contribuições efetivas?

A pesquisa pretende estudar alternativas de concepção de sistemas sustentáveis multifuncionais baseados nos princípios da Infraestrutura Verde, envolvendo os parques urbanos e elaborar cenários que serão modelados com o programa PCSWMM, largamente utilizado para simulações de processos hidrológicos em bacias urbanas. O estudo de caso busca avaliar as três áreas de contribuição do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente e das áreas de contribuição da Ceilândia Tradicional a serem interligadas num total de 5,74 km².

O trabalho foi estruturado em seis itens. O item 1 de Introdução do tema da pesquisa, o 2 apresenta os objetivos do trabalho, o 3 estuda o referencial teórico da Infraestrutura Verde e da modelagem com o PCSWMM, o 4 explica a metodologia adotada, o 5 apresenta a caracterização da área objeto de estudo e a organização da base de dados, o 6 aborda os Resultados e a Discussão e o 7 apresenta as conclusões e recomendações.

⁴ Exigida no âmbito do licenciamento ambiental no Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal – IBRAM.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo da presente pesquisa é avaliar a contribuição da abordagem da Infraestrutura Verde para soluções de drenagem de menor impacto sobre os recursos hídricos em áreas urbanas com elevado grau de ocupação do solo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Aplicar os conceitos de planejamento da paisagem ao Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente, selecionando os elementos de Infraestrutura Verde que contribuam com soluções de drenagem urbana de menor impacto sobre os recursos hídricos;
2. Conceber cenários de soluções de amortecimento da drenagem urbana com elementos de Infraestrutura Verde, envolvendo as áreas de Parques do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente, formando uma rede de espaços verdes e públicos de uso múltiplo;
3. Avaliar o desempenho dos cenários elaborados frente à proposta atualmente em implementação no trecho 3 da ARIS Sol Nascente por meio da aplicação do modelo PCSWMM;
4. Identificar oportunidades e desafios na aplicação dos princípios de planejamento da Infraestrutura Verde voltados à drenagem urbana em áreas com elevado grau de impermeabilização e ocupação do solo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item tem como objetivo revisar a literatura relacionada a abordagem de estruturação da paisagem denominada Infraestrutura Verde na intenção de identificar sua contribuição às soluções de drenagem urbana sustentável. E, no sentido de verificar sua efetividade, estudar a contribuição do programa PCSWMM para a modelagem de soluções de drenagem.

3.1. A EVOLUÇÃO DO PLANEJAMENTO ECOLÓGICO DA PAISAGEM

Para compreender o cenário atual dos conceitos do planejamento da Infraestrutura Verde, é relevante fazer um retrospecto evolutivo com os principais nomes e respectivas contribuições da temática ecologia da paisagem. O planejamento da paisagem pode ser definido como a prática do planejamento para o uso sustentável de recursos bióticos, abióticos e antrópicos. Objetiva a proteção de recursos raros, escassos ou únicos, conservação de recursos limitados para uso controlado e prevenção contra riscos, definindo locais apropriados para o desenvolvimento (Fabos 1985).

Segundo Herzog (2009), o norte-americano Frederick Law Olmsted pode ser considerado o precursor do planejamento da paisagem, surgido na segunda metade do século XIX. Seus conhecimentos agrícolas foram aprimorados quando morou na Inglaterra, trazendo a ideia de se criar plantios em contexto ecológico voltado à recreação e também às questões de controle sanitário. Como resultado e continuidade deste cenário, foi um dos principais responsáveis pelo movimento de parques nos Estados Unidos e, de certa forma, segundo Fabos (1985), expandiu o conceito do planejamento e da função do planejador para além das atribuições de criação, com a ideia de intervenção em aspectos naturais com objetivos específicos. Esse ideário pode ser exemplificado com o projeto do Parque Emerald Necklace (Colar de Esmeraldas, figura 3.1), desenvolvido por Olmsted entre 1878 e 1895 com a colaboração do arquiteto Charles Eliotem, em Boston (Massachusetts). Trata-se de um equipamento urbano com 10 quilômetros de extensão que concilia com multifuncionalidade, soluções de drenagem, equilíbrio climático, sistema viário, lazer e conservação ambiental. A figura 3.2 mostra os “Fenway Victory Gardens” ou Jardins da Vitória de Fenway. Neste local, no bairro Fenway, em Boston, no Emerald Necklace, foram cultivados alimentos durante a Segunda Guerra Mundial para aumentar e facilitar a oferta de alimentos durante a guerra. Os jardins Fenway estão entre os poucos que permanecem em cultivo contínuo.



Figura 3.1: Mapa do Emerald Necklace. O círculo vermelho localiza a foto da figura 3.2.
 Fonte: <https://www.emeraldnecklace.org>.



Figura 3.2: Fenway Victory Gardens em 2015. Fonte: Bonzi, 2015.

Diversos autores, como Herzog (2009), Baleiro (2017) e Bonzi (2015) indicam também a importância de Ebenezer Howard em seu trabalho “Cidades-Jardim do Amanhã” (Garden-cities of Tomorrow), do ano de 1902, no movimento pré-urbanista, tendo inspirado diversas propostas pontuais no mundo e no Brasil, em bairros de cidades brasileiras e no projeto de Lúcio Costa para Brasília, sobretudo no Plano Piloto. Nas figuras 3.3 e 3.4, croquis identificam princípios para as chamadas Cidades-jardim, com se-

melhanças nas ideias de zoneamento, espaços verdes em parques, a relação cidade/campo e o crescimento urbano em constelação de cidades (cidades satélites), tendo o espaço entre essas preenchido por reservas naturais e vias rápidas de ligação.

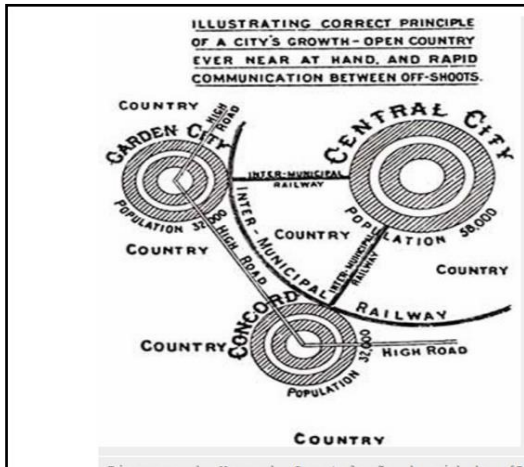


Figura 3.3: Constelação de cidades. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/>

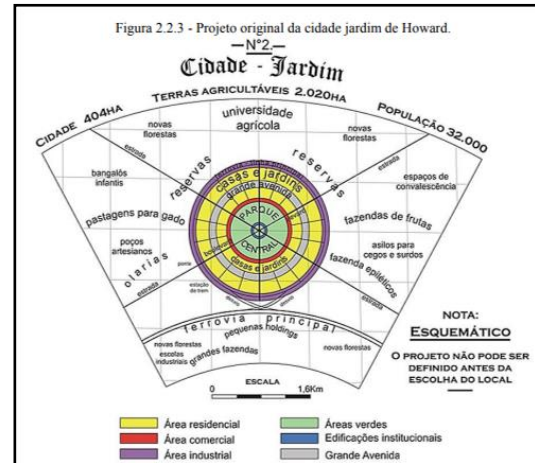


Figura 3.4: Cidade-Jardim. Disponível em: <http://cidadejardimecidadeindustrial.blogspot.com.br/>

No mesmo cenário de evolução do pensamento a respeito do planejamento territorial, Patrick Geddes publicou o livro *“Cities in Evolution”* em 1915, no qual compara a expansão urbana de Londres com o crescimento de um coral e propunha o planejamento das cidades em cenário sistêmico com participação social e associado com o meio natural, considerando aspectos culturais e históricos. Assim, ele lançou a base do Urbanismo moderno com a proposição de levantamentos prévios das características socioambientais, econômicas e culturais envolvidas (Herzog, 2009; Bonzi, 2015).

Na sequência, já na década de 1960, destaca-se o trabalho do arquiteto paisagista escocês Ian McHarg, professor da Universidade da Pensilvânia, desenvolveu diversos projetos de expansão urbana nos Estados Unidos utilizando mapas temáticos para vários tipos de análises territoriais. Por meio do desenvolvimento desta metodologia, chamada por ele de *“Suitability Analysis”*, um modelo de adequação do uso e ocupação do solo com transparências sobrepostas, avaliava os potenciais e restrições para empreendimentos. As transparências continham mapas com temas diversificados: topografia, geomorfologia, flora, fauna, bacias hidrográficas, alagados, lençóis subterrâneos, ventos, ocupação rural e urbana, rodovias, ferrovias, pontos de relevância histórica, cultural e/ou turística, sítios arqueológicos, resíduos sólidos, poluição, trânsito entre outros dados que caracterizassem a área como exemplificado na figura 3.5 (Herzog, 2009).

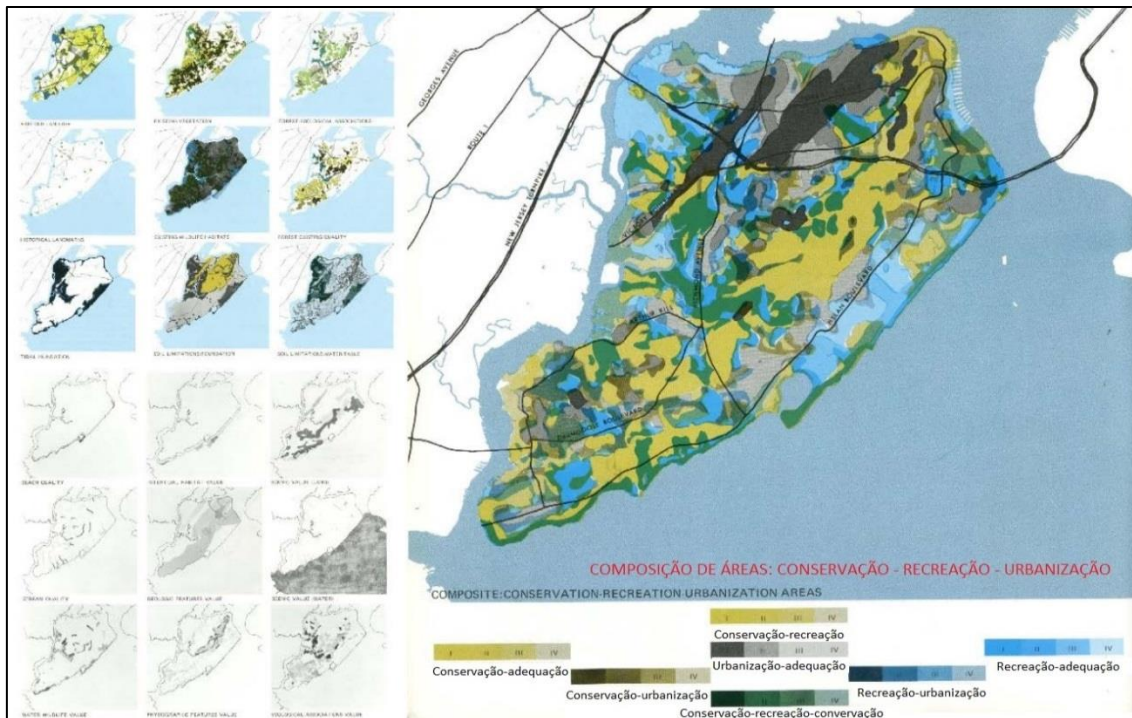


Figura 3.5: *Suitability Analysis* - Modelo de Adequação ao Uso da Terra de McHarg para Staten Island, Nova York. Fonte: McHarg, Ian L., *Design com a Natureza*, The Natural History Press, Cidade Jardim, N.Y., 1969. Adaptado. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/McHargs-Land-Use-Suitability-Model-for-Staten-Island-New-York-Source-McHarg-Ian-L_fig2_302588660

A sobreposição dos temas trazia clareza à análise dos sítios e, por isso, McHarg foi obtendo êxito no envolvimento dos atores nas tomadas de decisão. Com base em informações e diagnósticos precisos, obteve embasamento para diversos projetos na costa leste dos Estados Unidos, sendo referência no planejamento por camadas. Em 1969, McHarg lançou o seu livro “*Design with Nature*” que representou uma síntese em torno do planejamento da paisagem no contexto territorial e urbano daquela época. Marcou a base do ordenamento territorial dotado de zoneamento (Bonzi, 2015).

Na década de 1970, com as questões ambientais, evidenciadas a partir da Conferência de Estocolmo em 1972, cresce o interesse e a importância do tema de renaturalização dos processos de produção e consumo e houve impulso para o desenvolvimento da ecologia como ciência e, mais especificamente, da ecologia da paisagem. Esta disciplina teve dois momentos importantes, com o surgimento de duas visões distintas, mas complementares. A primeira surgiu ainda na década de 70, chamada de abordagem geográfica, “teve forte influência da geografia humana, da fitossociologia e da biogeografia, e de disciplinas da geografia ou do urbanismo relacionadas com o planejamento regional”, impulsionada por Carl Troll e outros geógrafos europeus. Nessa visão, a ecologia da paisagem é tratada em escala macro, integrando ciências sociais, geofísicas e bioló-

gicas, visando o ordenamento territorial e o contexto sociocultural. A segunda é a abordagem ecológica, impulsionado por Richard Forman na década de 80, influenciada pela ecologia de ecossistemas, modelagem e análise espacial que estava emergindo com o surgimento das imagens de satélite. Ao contrário da abordagem geográfica, enfatiza as paisagens naturais como áreas heterogêneas compostas por ecossistemas moldados por fatores bióticos e abióticos, tais como a geomorfologia, a geologia, pedologia, fitofisio-nomias, fauna, corpos hídricos e outros, compondo um mosaico ecológico interativo (Metzer, 2001).

No cenário da abordagem ecológica, Forman e Godron propõem a unidade de análise “Mosaico Territorial” (figura 3.6) composto por três morfologias espaciais: manchas, corredores e matriz (*path, corridor e matrix*). A matriz como escala macro de uma determinada tipologia de paisagem analisada, onde ocorrem as manchas com características de agrupamento homogêneo que diferem do contexto adjacente. Os corredores são os elementos lineares de interligação entre as manchas, também homogêneos e diferentes de seu entorno. Estes elementos podem se desdobrar em outros tais como manchas menores associadas a corredores e limites que são a transição entre componentes desse sistema. A configuração proposta permite a análise das estruturas e dos processos ecológicos e suas alterações ao longo do território e do tempo em diferentes escalas e de forma sistêmica. (Suassuna e Franco, 2018; Bonzi, 2015; Herzog, 2009). Como resultado das pesquisas sobre o mosaico proposto, Forman e Godron lançaram os princípios para o Planejamento Ecológico da Paisagem: (1) estrutura e função da paisagem; (2) diversidade biótica; (3) fluxos de espécies; (4) redistribuição de nutrientes; (5) fluxos de energia; (6) alterações na paisagem; e (7) estabilidade da paisagem (Herzog, 2009 apud Forman; Godron, 1986).

Com o entendimento e a evolução desses princípios, a importância do Mosaico Territorial como uma estrutura ecossistêmica atuante na manutenção e geração de fluxos naturais passou a ser cada vez mais considerada no âmbito do planejamento territorial. E, com isso, a possibilidade de se planejar sistemas funcionais que atuassem entre o meio natural e o antrópico. Nesse sentido, ganhou força a ideia do planejamento ecológico em várias escalas, surgindo a ideia da Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento Territorial. O contexto da bacia deve focar na conservação das estruturas ecológicas e seus processos, inclusive a sua drenagem, mantendo a conectividade ao longo do curso d'água (Benedict e McMahon, 2006).

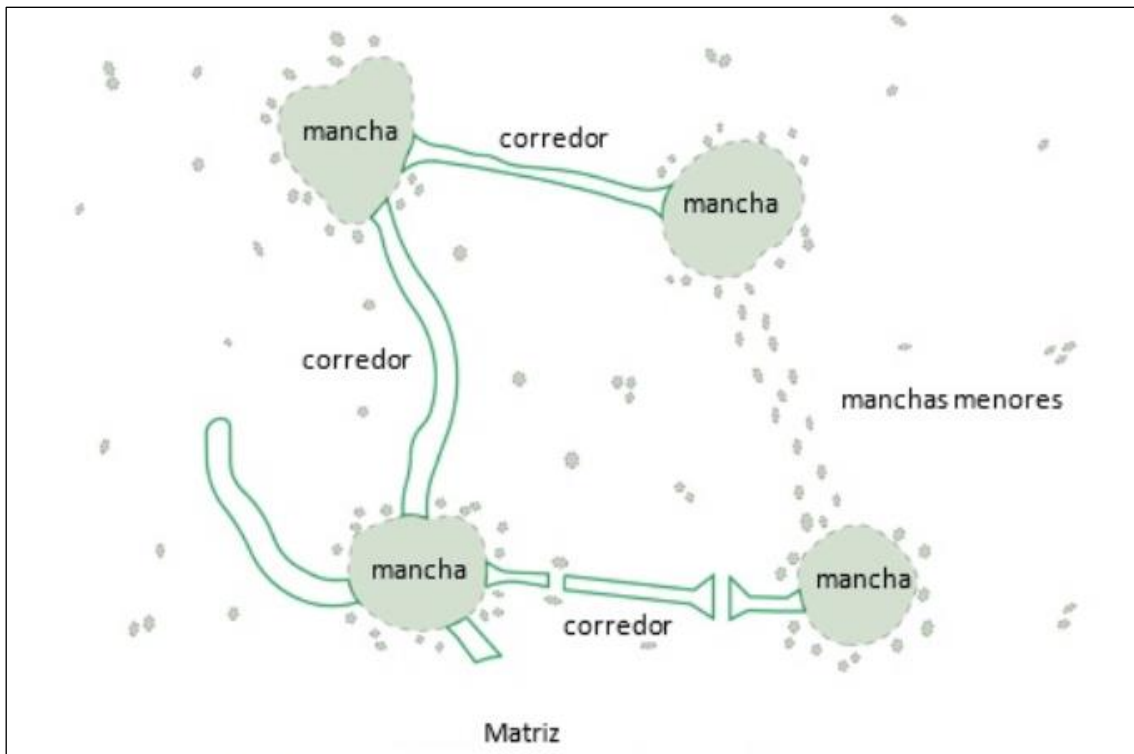


Figura 3.6: Estrutura do modelo “Mosaico Territorial” de Forman.
 Fonte: Suassuna e Franco (2018) APUD Forman (1995)

O cenário exposto compõe a base para o desenvolvimento de uma Infraestrutura natural baseada em processos ecológicos que realizasse serviços ambientais em suporte às atividades antrópicas, no limite de sua capacidade de assimilação ou de suporte. A compreensão da possibilidade de planejar tanto a proteção como a recuperação e a criação dessa rede de espaços abertos naturais interligados criou a oportunidade para o desenvolvimento dos conceitos da Infraestrutura Verde.

3.2. O PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA VERDE

Segundo Firehock (2010), os fundamentos da Infraestrutura Verde também são abordados em diversas disciplinas, tanto na ecologia e outras ciências ambientais afins como também no paisagismo, urbanismo e na engenharia. Suassuna e Franco (2018) afirmam que o conceito do Mosaico Territorial de Forman influenciou diversas áreas do conhecimento, entre elas, a temática da Infraestrutura Verde, em especial mantendo a ideia de conectividade dos espaços com funcionamento em rede. Apesar de ter seus fundamentos anteriores à apropriação da terminologia, foi em 1994 que o termo “Infraestrutura Verde”, tal como é utilizado atualmente, apareceu oficialmente pela primeira vez. Naquele ano, a Comissão de Corredores Verdes da Flórida (criada em 1993), que ainda hoje assessora o Departamento de Proteção Ambiental e cujo diretor executivo era Mark Benedict, concluiu o relatório chamado “Criando um Sistema Estadual de Corredores Verdes – para pessoas, para vida selvagem e para Florida”.

A Comissão passou um ano e meio pesquisando e compilando casos de sucesso de iniciativas relacionadas a conservação e criação de corredores verdes buscando técnicas exitosas em comum entre os projetos compilados. O relatório foi solicitado pelo Governador Buddy MacKay com o objetivo de fortalecer o movimento de Corredores Verdes no estado e criar uma coalizão que tanto envolvesse políticas públicas quanto iniciativas buscando unir governo, organizações e pessoas em torno do tema.

Assim como planejamos cuidadosamente a infraestrutura que apoiam nossas comunidades - as estradas, a água e a eletricidade - devemos também planejar e gerenciar a infraestrutura verde da Flórida (Florida, 1994).

McKay é o autor da frase acima que lançou o uso da terminologia “Infraestrutura Verde” no conteúdo do relatório, associando-o diretamente aos corredores verdes. Rapidamente o termo teve aceitação nos meios técnicos e governamentais se espalhando e sendo apropriado pelo estado da Flórida e também pelo contexto nacional Norteamericano, incluindo a US Environmental Protection Agency (USEPA), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Florida, 1994). No conteúdo do documento, os corredores verdes são conceituados (figura 3.7) como uma composição de blocos ecossistêmicos tais como florestas, reservas e parques (hubs); de corredores estabelecendo ligações (links); e blocos locais (sites), compostos de recursos naturais com foco nos aspectos históricos, culturais e recreativos. Estes sistemas não protegem apenas áreas naturais e ambientalmente sensíveis, mas podem proporcionar recreação junto à natureza para as comunidades, incluindo áreas povoadas, rurais e urbanas como mostra a figura 3.8, no Gordon River Park em Naples/Florida (Florida, 1994).

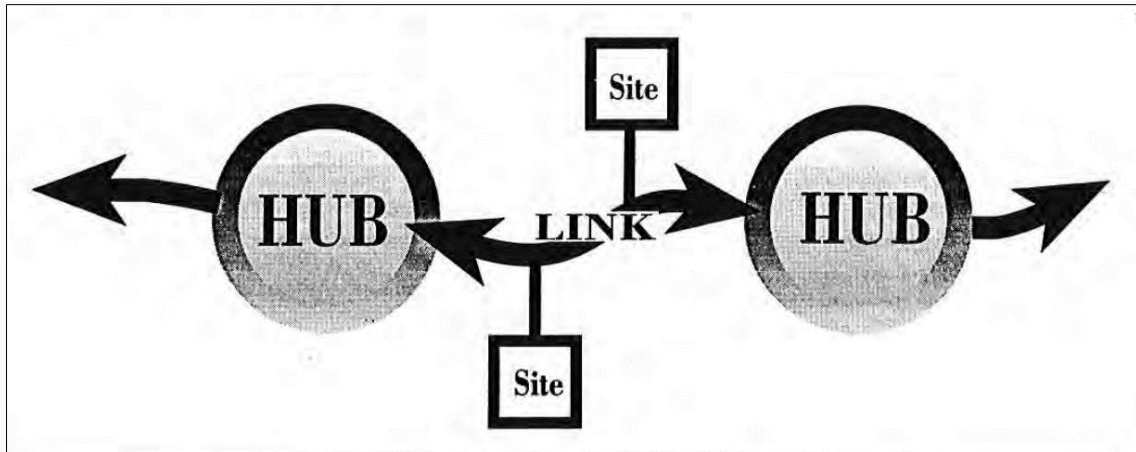


Figura 3.7: Componentes genéricos de sistemas de corredores verdes. (Florida, 1994)

Vale ressaltar a correlação com os elementos do Mosaico de Forman, entre as manchas (patches) e os blocos ecossistêmicos (hubs) e; entre os corredores (corridor) e as ligações (links); e entre as manchas menores e os blocos locais (site). A semelhança com o Mosaico Territorial de Forman pode ser observada na comparação entre as figuras 3.6 e 3.7. Segundo Firehock (2010), os princípios da Infraestrutura Verde abrangem a mesma composição dos sistemas de corredores verdes (links), como conectores de blocos maiores de habitats não fragmentados (hubs), mas com o foco na manutenção dos fluxos ecológicos e os serviços ecossistêmicos tais como a limpeza do ar e filtração da água.



Figura 3.8: Corredor verde do Gordon River na cidade de Naples/Flórida.
Fonte: <https://greatruns.com/naples-gordon-river-greenway/>

3.2.1. Definição e objetivo da Infraestrutura Verde

No âmbito urbano, o planejamento da Infraestrutura Verde propõe soluções a dois problemas correlatos: (1) Degradação ambiental e (2) Expansão da malha urbana. A degradação ambiental na forma de perda de áreas naturais para urbanização pode ser observada de forma generalizada nas cidades, fragmentando os ambientes remanescentes. Estas situações causam diversos prejuízos, entre os quais, destacam-se os relacionados à quantidade e à qualidade dos recursos hídricos. A diminuição da capacidade de controle de inundações e de biorretenção influenciam negativamente os mananciais de abastecimento de água, além de tornar o ambiente natural menos favorável à fauna e à flora locais. (Benedict e McMahon, 2002)

A perda de áreas naturais tem consequências que vão além da perda de biodiversidade. O funcionamento dos ecossistemas depende da diversidade biológica que fornece diversos serviços e produtos com valor econômico importante, como a purificação da água, a fertilização dos solos e o sequestro de carbono. (União Europeia, 2010). Belanger (2009) ressalta que com a atual complexidade na gestão urbana envolvendo o gerenciamento de água, insumos, resíduos, alimentos, transporte e energia nas cadeiras produtivas em harmonia com as exigências normativas, o design ecológico vem ganhando cada vez mais relevância. Os empreendimentos precisam considerar os meios abiótico, biótico e antrópico em suas instalações e operações, requerendo soluções sustentáveis para poderem funcionar. Em outras palavras, as cidades devem, em suas diversas intervenções, ter em conta que o meio urbano não deve ser expandido ou diminuído sem a análise dos condicionantes ambientais presentes em seu sítio, o que leva às soluções de maior interação entre processos ecológicos e socioeconômicos, reduzindo os impactos negativos das práticas de urbanização correntes. Isso, pressupõe o fortalecimento da abordagem da Infraestrutura Verde.

A continuar a urbanização como a conhecemos hoje, aumentará o encolhimento dos habitats e a perda de qualidade dos remanescentes, a diminuição da resiliência ambiental, perda dos serviços ambientais associados e aumento do custo com serviços públicos urbanos. A Infraestrutura Verde propõe a expansão urbana com a manutenção dos serviços ambientais realizados pelos processos ecológicos (Benedict e McMahon, 2002 e 2006; Ahern, 2007).

Convergindo com esta ideia, em 1999, uma definição da Infraestrutura Verde foi elaborada por um grupo de trabalho, sob a liderança de The Conservation Fund⁵ e do *US Forest Service* (USFS), Serviço Florestal dos Estados Unidos, que reuniu agências federais, estaduais e locais e organizações não governamentais para treinar e ajudar comunidades a integrarem a Infraestrutura Verde local à nacional:

Infraestrutura verde é o sistema de suporte da vida natural em nosso país – uma rede interconectada de águas, áreas alagadas, florestas, habitats de vida selvagem e outras áreas naturais; corredores verdes, parques e outras áreas de conservação; fazendas agrícolas, sítios e matas; áreas naturais, e outras áreas livres que dão suporte para espécies nativas, mantêm os processos ecológicos naturais, sustentam o ar e os recursos hídricos e contribuem para a saúde e a qualidade de vida das comunidades. (Benedict e McMahon, 2006. Tradução nossa).

Analisando a definição acima, em comparação com os princípios do planejamento ecológico da paisagem (Forman e Godron), podemos inferir que a Infraestrutura Verde é uma abordagem que visa a intervenção na natureza no alcance de suas funções socioeconômicas e culturais de modo a preservar os processos ecológicos. Assim, suas intervenções resultarão em espaços de interação biótica nos mecanismos ecológicos, por meio da presença da água e consequente convergência de fauna e flora. São locais interconectados nos quais os fluxos e ciclos naturais têm maior velocidade nas ciclagens de nutrientes e trocas gênicas, favorecendo transformações de ordem qualitativa e quantitativa no meio natural e antrópico, amenizações climáticas e controle de vazão.

Identificando os potenciais da Infraestrutura Verde e suas características sistêmicas é possível criar interação saudável entre a população e a natureza se valendo ainda do planejamento ecológico da paisagem e direcionamento do projeto às alternativas sustentáveis de drenagem urbana. Assim, o fortalecimento da Infraestrutura Verde em intervenções urbanas, formando parques, corredores e conectores ecológicos, representa uma quebra de paradigma na construção de cidades concentradas e impermeabilizadas, voltando-se para cidades sustentáveis, com a contribuição para oferta de espaços multifuncionais que unam, por meio dos serviços ambientais, funções sociais da cidade (lazer, recreação, equilíbrio e convivência com a natureza) com as soluções de drenagem urbana. (Artmann et al, 2015; Benini, 2014; Benedict e McMahon, 2006; Ahern, 2007; Ahern 2013; Herzog, 2009; Comier e Pellegrino, 2008; Herzog e Rosa, 2010)

⁵ Organização civil sem fins lucrativos Norte-americana com um duplo objetivo: preservação ambiental e desenvolvimento econômico.

Desta forma, considera-se que o diferencial de uso da Infraestrutura Verde está aplicação de iniciativas ecológicas de conservação e conexão das áreas naturais no âmbito do ordenamento territorial nas escalas local e regional criando objetivos de longo prazo para direcionar o desenvolvimento das atividades antrópicas com sustentabilidade. E nesse cenário, a Infraestrutura Verde produz benefícios de ordem socioambiental, cultural e econômica, tais como, aqueles relacionados a: qualidade vida, cidadania e integração da população à natureza; biodiversidade; clima; controle de inundações, de processos erosivos e de qualidade de mananciais; diminuição de riscos na expansão planejada; valorização imobiliária; diminuição de custos com implantação de infraestrutura; e outros (Benedict e McMahon, 2006; Ahern, 2007; Ahern 2013; Herzog, 2009; Benini, 2014; Herzog e Rosa, 2010).

3.2.2. Componentes da Infraestrutura Verde

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. No entanto, as definições e funções destes componentes evoluem na direção do conceito de estrutura ecossistêmicas com interações ecológicas visando a sustentabilidade territorial.

Nesse sentido, os *hubs* (blocos ecossistêmicos) são considerados como áreas maiores que “ancoram” a Infraestrutura Verde e são, dentro da visão sistêmica, a origem ou o destino para processos ecológicos como a migração de espécies de fauna, a disseminação de sementes e diversos processos relacionados à água. Encontramos *hubs* em grandes áreas protegidas nacionais, regionais ou locais (reservas, florestas, parques, terras indígenas etc) e em propriedades rurais, públicas ou privadas, produtivas ou não, como objetos de manejo de áreas naturais ou recuperadas que mantenham o funcionamento ecossistêmico. Os hubs são compostos por paisagens extensas, com menor fragmentação e com melhor qualidade ecossistêmica. O tamanho dos hubs, no sistema da Infraestrutura Verde é importante para que, de fato, funcionem como blocos ecológicos, isto é, detenham uma gama de processos ecológicos como uma unidade, tendo próximo às suas bordas, transições de amortecimento. Os hubs geralmente terão *gaps*, ou seja, bolsões de degradação oriundos principalmente de atividade antrópica, nos quais se apresentam necessidades de ações de recuperação (Benedict e McMahon 2002; 2006).

Os links são as conexões entre os hubs que possibilitam a manutenção equilibrada dos fluxos ecológicos, vitais para o equilíbrio e manutenção da biodiversidade e, por

isso, são a base fundamental da Infraestrutura Verde. Os links podem variar em dimensões e formatos, com largura e comprimentos variados, em função de suas características de meio físico e biótico. Como exemplo, as “ligações de paisagem” (*Landscape Linkages*) são áreas protegidas extensas com uma função híbrida, conectando áreas naturais relevantes entre si, como parques e reservas, proporcionando ao mesmo tempo habitat para as plantas e animais se reproduzirem, e ainda funcionam como corredores, interligando ecossistemas e paisagens e possibilitando recreação. Já no outro extremo, os corredores fluviais (*Conservation Corridors*) – áreas protegidas lineares, menos extensas, formadas por corpos hídricos e matas ciliares que servem como condutores para a fauna e flora e oportunidades de lazer (Benedict e McMahon 2002; 2006).

Nessa perspectiva, vale dizer que a evolução dos conceitos se deve à contribuição do movimento dos corredores verdes, na união dos atores envolvidos em torno do tema. Tal evolução ampliou os objetivos produzindo também, segundo Benedict e McMahon (2002), três diferenças principais de contexto. A primeira é a ênfase. Enquanto o movimento dos corredores verdes prioriza a recreação, a Infraestrutura Verde, apesar de incorporá-la, enfatiza os aspectos ecológicos e os serviços ecossistêmicos. A segunda é a escala. Os focos dos Corredores Verdes são as trilhas e a proteção de áreas lineares enquanto que na Infraestrutura Verde os hubs e as áreas de ligação mais complexas (não necessariamente lineares) são parte de um sistema de escala maior. A terceira diferença citada é o direcionamento da Infraestrutura Verde para ser projetada, podendo moldar a malha urbana, proporcionando assim a possibilidade de planejar as cidades sustentavelmente. Com isso, é possível inferir que, inicialmente, o movimento dos Corredores Verdes teve maior influência da abordagem geográfica da ciência da ecologia da paisagem, que evoluiu para os conceitos do planejamento da Infraestrutura Verde incorporando a abordagem ecológica e mantendo os aspectos recreacionais como base para a integração com a população.

Assim, observamos que o mosaico da Infraestrutura Verde proposto por Benedict e McMahon (2006) na figura 3.9, possui uma forma de tendência circular com diversas interligações e possibilidades de fluxo, na qual todos os elementos ganham protagonismo. Surge a ideia de uma potencial interligação regional e também do “site” sem interligação (“trampolim”), mas com proximidade de hubs e links. Apesar de manter os mesmos elementos, as relações espaciais são diferentes quando comparadas com a figura 3.7 onde percebe-se a visão de linearidade no movimento dos corredores verdes.

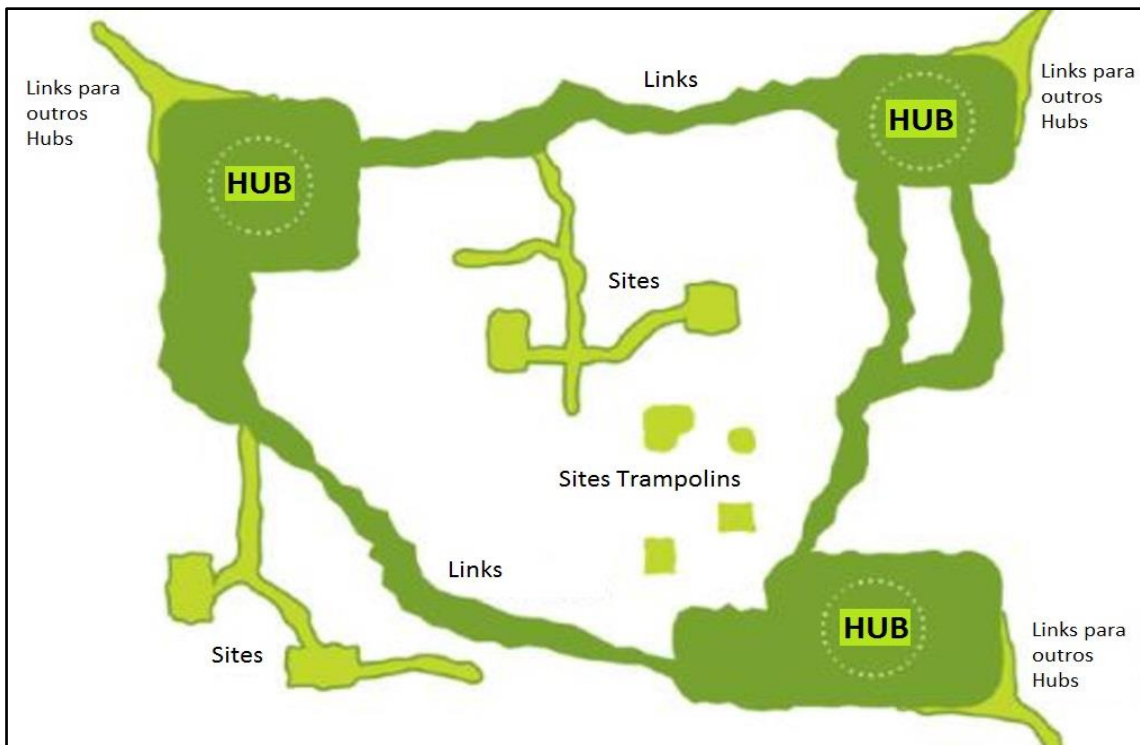


Figura 3.9: Componentes genéricos de sistemas de Infraestrutura Verde.

Fonte: <https://www.semanticscholar.org/paper/Green-Infrastructure-and-German-Landscape-Planning%3AMEj%C3%ADa-Shirotova/> (Adaptado)

3.2.3. Princípios do Planejamento da Infraestrutura Verde

O planejamento da Infraestrutura Verde propõe princípios para as suas soluções, buscando garantir sua adequação ao longo do tempo. Assim, segundo Benedict e McMahon (2002), deve-se buscar o planejamento proativo, antecipando uma visão de linha do tempo futura no sentido de projetar a expansão das áreas urbanas com base na proteção, recuperação e projeto da Infraestrutura Verde interconectada. Nesse contexto, quanto mais sistematizado e holístico o diagnóstico territorial, mais alinhadas serão as proposições do planejamento com a vocação para o uso e ocupação do solo local, considerando ainda a importante interligação de ecossistemas fragmentados. Tendo a bacia hidrográfica como unidade territorial de análise, as propostas devem abranger o âmbito de várias escalas espaciais e procurar ampliar os seus benefícios por meio da criação de espaços multifuncionais. Com base nessa caracterização, os mesmos autores sistematizaram dez princípios para o planejamento da Infraestrutura Verde em “*Green Infrastructure – Linking Landscapes and Communities*” (2006), explicados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Princípios da Infraestrutura Verde

Princípios para o Planejamento da Infraestrutura Verde	
Princípio	Caracterização
A Conectividade é o fundamento	O conhecimento científico evidencia que os processos ecológicos não podem funcionar sem as conexões naturais. Os hubs sem comunicação tendem ao empobrecimento de sua biodiversidade e declínio ecossistêmico.
O Contexto é importante	Cada local apresentará indicações diferentes para o planejamento. Devemos avaliar os caracteres de fauna e flora para planejar ligações desejáveis, evitando migrações ou trocas gênicas que possam afetar os processos ecológicos. Isso se refere também ao meio antrópico. Por exemplo: (1) nas periferias podem o foco pode ser o plano de infraestrutura verde para evitar a expansão horizontal e os problemas correlatos ; (2) Em áreas centrais os benefícios como saúde mental e física em ter espaços abertos disponíveis para o lazer; (3) Onde o abastecimento de água é limitado a infraestrutura verde pode ajudar a purificar a água; (4) Em áreas propícias a enchentes, a proteção contra enchentes por sistemas naturais pode ser o foco.
Baseada em conhecimentos transdisciplinar	A base de conhecimento da Infraestrutura Verde é transdisciplinar, formada pela interação de diversas disciplinas. Teorias e práticas de biologia da conservação, ecologia da paisagem, planejamento urbano e regional, arquitetura paisagística, geografia, engenharia ambiental e civil contribuíram para a evolução dos sistemas de Infraestrutura Verde.
Funcionamento em rede para conservação e desenvolvimento	O resultado desejado é a criação de redes de espaços que funcione como um todo ecológico e não como um agrupamento aleatório de partes não relacionadas. A conexão entre diferentes componentes do sistema - parques, reservas, zonas úmidas áreas ribeirinhas e outros espaços naturais - é fundamental para manter a vitalidade de serviços ecossistêmicos e à manutenção da biodiversidade. Além disso, para sua sustentabilidade ao longo do tempo, os sistemas de Infraestrutura Verde necessitam do envolvimento de vários atores nos setores público e privado de modo a se construir esforço conjunto de gestão.
Planejamento e proteção prévios	Deve-se ter em mente que o tempo para a efetivação de ações na Infraestrutura Verde é maior que na infraestrutura cinza, tanto para ações de fortalecimento quanto para mitigação de danos ambientais. Em função disso, a recuperação de sistemas naturais é mais cara do que a proteção e preservação dos existentes. O planejamento prévio da Infraestrutura Verde pode fornecer, no âmbito do ordenamento territorial, a estrutura ecológica para o uso sustentável, sendo essencial identificar e proteger processos ecológicos, sempre que possível, antes da alteração advinda do desenvolvimento. Quando em áreas já ocupadas e consolidadas, é importante avaliar onde recuperar a Infraestrutura Verde para obter benefícios para a população e para processos ecológicos, identificando as prioridades de recuperação para reconectar habitats isolados e oportunidades relacionadas à sustentabilidade de Infraestruturas construídas.
Investimento público prioritário	A implementação do planejamento da Infraestrutura Verde reduz a necessidade de infraestrutura cinza, liberando fundos públicos para outras necessidades da comunidade. Também reduz os riscos de inundações, incêndios e outros desastres naturais. Considerando esse cenário, o fornecimento de financiamento adequado é passo importante.
Benefícios para natureza e população	A base do planejamento da Infraestrutura Verde está na manutenção dos processos ecológicos voltados aos serviços ecossistêmicos, o que beneficia não apenas a natureza, mas também a população que ainda poderá usufruir de espaços multifuncionais para recreação.
Respeito às partes envolvidas	A incorporação das experiências de diversos parceiros públicos e privados é importante para orientar as atividades que viabilizarão as ações para implementação da Infraestrutura Verde. Nesse sentido, é fundamental o envolvimento da comunidade porque o seu apoio da comunidade é duradouro e sensível à valorização econômica local. Para o êxito, as iniciativas devem estimular a população com a criação de uma visão compartilhada para conduzir o processo e favorecer o consenso.
Compromisso de longo prazo	O planejamento da Infraestrutura Verde demanda por processos naturais cuja característica envolve ciclos temporais de processos naturais ligados à flora, à fauna, recursos hídricos e processos físico-químicos que, por sua vez, dependem do controle de condicionantes de uso e ocupação do solo e das atividades antrópicas em longo prazo.

Fonte: Elaborado com base em Benedict e McMahon (2002 e 2006).

Benedict e McMahon (2002) afirmam que a Infraestrutura verde pode obter mais êxito, funcionando em múltiplas escalas. Ahern (2007) considera que a abordagem multiescala é a chave para a aplicação dos princípios da infraestrutura verde voltados ao planejamento de cidades sustentáveis no sentido do estabelecimento de processos ecológicos com base na conectividade funcional dos elementos projetados. De certa forma, ao observarmos os princípios elaborados por Benedict e McMahon (2002), é possível identificar que em todos existe a presença do conceito de análise multiescalar. Podemos inferir que a importância de se pensar em várias escalas é intrínseca ao planejamento da Infraestrutura Verde por causa da necessidade de conexão entre os componentes do sistema, inseridos em contextos diversos no uso e ocupação do solo, necessitando, portanto, de ações diferenciadas.

3.2.4. Escalas espaciais da Infraestrutura verde

Segundo Benedict e McMahon (2002; 2006), os sistemas de Infraestrutura Verde devem conectar-se estrategicamente entre o meio urbano, seu entorno e paisagens rurais e áreas protegidas, dentro de escalas espaciais, como as exemplificadas (figura 3.10): (1) Escala particular que, para os autores, significa projetar áreas residenciais e comerciais ao redor de áreas verdes, nas quais se desenvolvam ações de conservação e inclua contexto recreativo para a população; (2) Escala local onde é possível criar corredores verdes ligando parques existentes ou a criação de parques na cidade; (3) Escalas estadual ou regional e a nacional nas quais pode se proteger grandes ligações paisagísticas que conectam florestas, biomas e outras áreas naturais extensas e relevantes para o funcionamento dos ecossistemas. Os autores salientam que mais importante do que nomes dados às escalas e seu escopo exemplificativo, é a busca pelas oportunidades viáveis para a criação da rede de Infraestrutura verde, considerando o cenário envolvido: *“Em algumas áreas pode haver vocação clara para conservação na forma de hubs e links. Em outras, a rede de Infraestrutura verde pode depender de terras que já foram, ou são, reservadas para outros usos.”* (Benedict e McMahon, 2006, tradução nossa).



Figura 3.10: Ilustração exemplificativa da interligação em escalas (adaptada).
Fonte: <https://cmap.illinois.gov/>



Figura 3.11: Ilustração indicativa da análise multiescalar do planejamento da Infraestrutura Verde. (Firehock, 2014)

Firehock (2014), conforme ilustra a figura 3.11, considera que o contexto do planejamento da Infraestrutura Verde funciona no sentido da importância de cada escala em fornecer elementos para o desenvolvimento e integração dos aspectos ecológicos que numa visão uniescalar não podem ser captados. Em função dos processos naturais serem interligados por processos espaciais contínuos, a base do planejamento é manter ou estabelecer as conexões para não interromper os fluxos necessários para a prestação dos serviços ecossistêmicos e seus benefícios. Considerando o princípio “O contexto é importante” (item 3.2.3), para se efetuar interligações coerentes e desejáveis deve-se basear o planejamento na análise de cada escala, encontrando a melhor forma de transição entre estas.

Nesse sentido, as paisagens podem ser consideradas sistemas hierárquicos comparáveis às conexões dos sistemas viários na área de transporte, cada qual com certa dinâmica e a capacidade de tráfego. As paisagens, de forma análoga, cumprem funções semelhantes no que se refere ao controle dos processos ecológicos, em especial à migração de espécies e aos processos hidrológicos. A abordagem multiescala envolve a avaliação dessa hierarquia dentro da configuração espacial de padrões de paisagem e processos ecológicos e de como esses interagem. Esta análise favorece a indicação de “ponto chave” para importantes interligações, sejam existentes ou que devem ser feitas. Em ambientes urbanos, as escalas apropriadas podem ser a região metropolitana, os bairros e os lotes. (Ahern, 2007).

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. 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 (Yu e Padua, 2006; Comier e Pellegrino, 2008; Herzog, 2010; Vasconcellos, 2011; Bonzi, 2015; Benini, 2015).

No entanto, Firehock (2010 e 2014) ressalta que há necessidade de diferenciar a “Infraestrutura Verde” de dispositivos construídos para o controle e manejo das águas pluviais no âmbito dos sistemas de drenagem urbana para não misturarem os seus conceitos. O “*Low Impact Development*” (LID) ou Desenvolvimento de Baixo Impacto é uma estratégia Norte-americana de design sustentável no âmbito dos projetos de drenagem com objetivo de simular o regime hidrológico de pré-desenvolvimento por meio das “*Best Management Practices*” (BMP) ou Melhores Práticas de Gestão das águas pluviais, em dispositivos e técnicas tais como aqueles citados acima pelos outros autores. Apesar de existirem autores que diferenciam a conceituação entre o LID e a Infraestrutura Verde, as duas abordagens estão integradas, uma vez que o funcionamento das BMP tende a simular as condições hidrológicas anteriores ao desenvolvimento urbano, ou seja, visa explorar os mecanismos naturais para soluções de drenagem na transição entre o meio antrópico e o natural.

Belanger (2013) considera que a abordagem adaptativa na infraestrutura urbana com o desenvolvimento da infraestrutura verde pode ser implantada em locais públicos visíveis, propondo a convergência entre processos e serviços ecossistêmicos. 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 BMP e a infraestrutura verde funcionam integradas. Nesse sentido é possível dizer que os sistemas de drenagem compostos pelas técnicas do 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 BMP, propostas no LID, podem se constituir em soluções de drenagem urbana, visando garantir a sustentabilidade e a efetividade do funcionamento ecológico da Infraestrutura Verde.

3.2.5. Estratégias Metodológicas do Planejamento com Infraestrutura Verde

No contexto de contribuições metodológicas voltadas ao planejamento da Infraestrutura Verde, esta pesquisa fez um recorte nos trabalhos de Benedict & McMahon (2002), Benedict & McMahon (2006) e Ahern (2007) pela convergência e coerência.

De acordo com Benedict e MacMahon (2006), a estratégia fundamental é uma “*visão espacial de futuro desejado*”, como resultado da interação entre todos os atores envolvidos e as características específicas da área objeto. A partir da evolução das experiências com metodologias de projeto para estabelecimento de redes de estrutura ecológica, os autores sintetizaram e propuseram passos voltados ao planejamento da que podem ser observados na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Passos para elaboração do design da Infraestrutura Verde

Elaboração do Design da Infraestrutura Verde	
Passos	Ações
1. Elaborar objetivos	Selecionar o foco do design e os atributos naturais e/ou artificiais desejados para a rede de espaços
2. Diagnosticar paisagem	Coletar e analisar os atributos da paisagem, relacionando-os aos objetivos e atributos desejados, indicando áreas sensíveis voltadas à conservação.
3. Identificar e conectar os elementos da rede	Identificar hubs, links e sites existentes ou a serem criados, coerentes com os passos anteriores, conectando elementos e elaborando o design da rede
4. Revisar projeto	Expor aos envolvidos que não compõem a equipe de design e retroalimentar o sistema

Fonte: Elaborado com base em Benedict e McMahon (2006).

Segundo os mesmos autores, os objetivos são importantes para que o planejamento possa se manter ao longo do tempo, considerando a necessidade de envolvimento dos atores nele envolvidos, principalmente, a população a ser beneficiada. Ahern (1995) afirma que um processo participativo envolvendo funcionários públicos não especialistas, habitantes locais e representantes de interesses difusos é muito importante. Mas o processo é transdisciplinar, envolvendo diversas disciplinas e, por isso, deve contar também com a participação de especialistas que juntos possam abarcar todos os contextos envolvidos (abióticos e bióticos).

Nesse sentido, o diagnóstico da paisagem proposto por Benedict e McMahon que eles chamaram de “*gather and process data on landscape types*”, ou coleta e processamento de dados dos tipos de paisagem objeto do planejamento, requer tanto o conhecimento técnico dos especialistas quanto o olhar dos leigos e sua participação e conscientização para o encaminhamento de solução acordada. Para Ahern (1995), existe

uma relação dinâmica entre os padrões da paisagem, suas características abióticas e bióticas, e o funcionamento ecossistêmico e, portanto, analisá-los é fundamental para o planejamento da Infraestrutura Verde. No entanto, é necessário inserir no contexto, o componente cultural, em função das diferenças de compreensão que as pessoas expressam, sobretudo, em relação às questões relacionadas à aparência da paisagem.

As propostas de intervenções, com as identificações das áreas potenciais para os elementos de rede e suas interligações, devem integrar os objetivos, o diagnóstico e os conceitos espaciais neste estabelecidos em um processo estratégico, no qual expectativas políticas, fatores econômicos e a realidade dos condição da paisagem. A utilização do GIS (Sistema de Informações Geográficas) potencializa o diagnóstico e os acertos nas decisões, uma vez que é uma ferramenta de precisão tanto para parâmetros quantitativos como qualitativos. Além disso, facilita a elaboração de metodologia replicável com base em mapas temáticos de dados, condicionantes e restrições e suas sobreposições (overlays), a partir das quais formam-se subsídios para decisões importantes. (Benedict e McMahon, 2006; Ahern, 1995; Ahern, 2010).

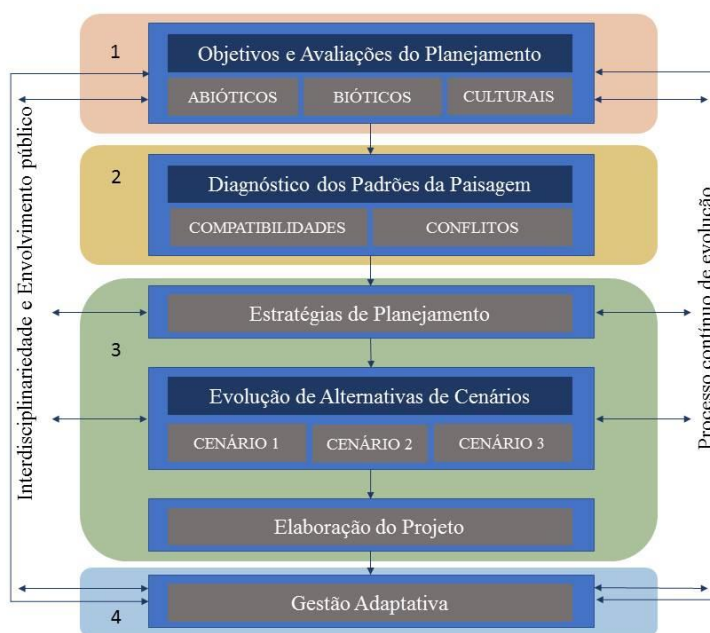


Figura 3.12: Fluxograma da metodologia proposta por Ahern (1995, 2007). Adaptado. Os números 1 a 4 estabelecem uma correspondência com os passos de Benedict e McMahon (2006) na Tabela 3.2.

Ahern (1995) propôs um fluxo de etapas para o processo de planejamento da Infraestrutura Verde, mostrado na figura 3.12 com adaptações. O processo se inicia com a elaboração dos objetivos, definidos participativamente entre especialistas, população e demais envolvidos, com base nos condicionantes do cenário avaliado, considerando aspectos abióticos, bióticos e culturais (tabela 3.3). Na sequência, *“Patterns of Spatial*

Compatibility and Conflict Defined”, a identificação de padrões de conflito e de compatibilidade espaciais, formatando um diagnóstico, direciona as estratégias de planejamento (tabela 3.4) e elaboração de cenários alternativos. Após serem analisados, os cenários podem gerar o projeto da Infraestrutura Verde cuja implementação será mantida em evolução contínua baseada na participação dos atores envolvidos e retroalimentação de todas as etapas.

Tabela 3.3: Exemplos de aspectos funcionais Abióticos, Bióticos e Culturais

Abióticos	Bióticos	Culturais
Infiltração de águas pluviais	Mitigação de pragas ou doenças	Redução do stress
Interceptação da precipitação	Polinização	Suporte para identidade cultural
Mitigação das ilhas de calor urbanas	Biorremediação de contaminações	Redução das taxas de criminalidade
Superfície do solo e as interações com as águas subterrâneas	Habitat para espécies generalistas ⁶	Experiência direta com ecossistema natural
Processo de desenvolvimento do solo	Habitat para espécies especialistas ⁷	Recreação com atividades físicas e saúde
Manutenção do regime hidrológico	Rotas e corredores de migração de espécies	Experiência e interpretação da história cultural
Grau de perturbação ambiental e sua evolução no espaço e no tempo	Efeitos da perturbação e regime sucessional	Proporcionar uma sensação de solidão e inspiração
Ciclos de nutrientes	Produção de biomassa	Oportunidades para interações sociais sadias
Sequestro de carbono e gases de efeito estufa	Provisão de reservas genéticas	Estímulo para expressão artística
Mudanças climáticas e tamponamento	Suporte da flora para interações de fauna	Educação ambiental

Fonte: Ahern (2007) e Ahern (2012). Tradução nossa (adaptado).

A tabela 3.3 propõe uma lista exemplificativa de aspectos a serem abordados tanto na fase de elaboração de objetivos quanto no diagnóstico, sendo que seu conteúdo dependerá do contexto da área objeto do planejamento. Apesar de os aspectos funcionais estarem divididos em bióticos, abióticos e culturais, existem características nas ações e nos resultados que os mantém interligados. A tabela 3.4 mostra as estratégias

⁶ Espécies generalistas sobrevivem nos mais variados habitats e condições.

⁷ Espécies especialistas apresentam exigência de habitats e condições específicos para sobreviver.

utilizadas no planejamento de ações e as tipologias de elementos da Infraestrutura Verde abrangidas. O conteúdo é exemplificativo, não limitando o rol de possibilidades, e vale ressaltar que, muitas vezes, é possível encontrar campo de utilização de mais de uma das estratégias descritas em um único elemento da paisagem, como é comum acontecer em hubs e links urbanos, onde podem existir áreas degradadas em áreas protegidas de grande relevância ecossistêmica e submetidas à pressão antrópica constante.

Tabela 3.4: Estratégias de planejamento para a Infraestrutura Verde

ESTRATÉGIAS	
Protetiva	Defensiva
Ações de preservação para preservar os elementos intactos ou pouco impactados da paisagem antes que sejam ameaçados.	Ações de defesa de elementos de paisagens que estão sob pressão antrópica do desenvolvimento meramente econômico.
<p>Hubs e Links. Áreas protegidas em geral, prioritariamente, as mais extensas que comportam ecossistemas de grande convergência de processos ecológicos, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parques Nacionais e outras áreas protegidas; • Grandes manchas de vegetação nativa; • Interligações para suporte dessas áreas. 	<p>Hubs, Link e Sites em áreas urbanas ou próximas das cidades ou rurais propensas a pressões econômicas por sua localização, ameaçados pela pressão econômica, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parques e outras áreas protegidas regionais ou locais; • Zonas de amortecimento (tamponamento); • Mitigação dos impactos ambientais; • Áreas protegidas e corredores pressionados pelo uso do solo.
Ofensiva	Oportunista
Ações de recuperação de áreas degradadas para reintroduzir funções abióticas, bióticas e culturais onde elas foram suprimidas.	Ações de planejamento que reconhecem o potencial generalista de elementos da paisagem ainda que não contribuam diretamente para benefícios específicos.
<p>Áreas degradadas pelo uso e ocupação do solo inadequados, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solo exposto (<i>brownfields</i>); • Substituição das nativas por exóticas; • Mata ciliar; • Biorremediação em áreas contaminadas 	<p>Áreas mais urbanizadas nas quais é possível executar plantios de árvores, efetuar ligações para circulação de pessoas entre áreas relevantes da Infraestrutura Verde, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caminhos arborizados (Greenways); • Infraestrutura Verde mais urbanizada (praça de esportes); • Infraestrutura de transporte.

Fonte: Ahern (2007).

3.3. APLICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DA INFRAESTRUTURA VERDE NA DRENAGEM URBANA

Resiliência e sustentabilidade

A drenagem urbana tem se constituído em um problema urbano dado o modelo de produção das cidades, como já referido e se agrava no contexto de mudanças climáticas em que vivemos sendo um tema que remete à discussão de resiliência urbana, que é tratado na abordagem da infraestrutura verde. Para Ahern (2010), resiliência é a capacidade de um sistema manter sua estrutura em funcionamento básico, mesmo diante de distúrbios. O conceito está ligado diretamente com a capacidade adaptativa do sistema ecológico e o seu funcionamento sistêmico e dinâmico, reforçando a importância da biodiversidade e das interligações entre os elementos propostos na Infraestrutura Verde. O mesmo autor explica que a resiliência, guarda correspondência direta com o paradoxo da sustentabilidade: necessidade de estabilidade x existência e a necessidade da mudança nos sistemas ecológicos. Assim, ele propõe o enfrentamento de forma proativa, ao invés de reagir às “surpresas” que possam surgir ao longo do tempo. Na tabela 3.5, ele define princípios voltados à resiliência e seus atributos para os sistemas em rede.

Tabela 3.5: Princípios para a resiliência de sistemas de Infraestrutura Verde

Princípios	Atributos
Multifuncionalidade	Eficiência Econômica Apoio social / político
Redundância e modularização	Metassistemas Descentralização Flexibilidade Adaptabilidade Dissipação de riscos
Biodiversidade e heterogeneidade	Resposta diversa à perturbação; Mais diversidade, mais ciclos ecológicos, mais capilaridade nos processos, respostas mais rápidas às perturbações
Criação e restauração de sistemas e conectividade	Metassistemas Ciclos e redundância, Dissipação de risco Design funcional
Criação de capacidade adaptativa	Ações de experimentação e inovação "Aprender fazendo", "Seguro para falhar" Experimentos de design

Fonte: Ahern (2010).

Um dos questionamentos que Ahern (2012) faz a respeito da sustentabilidade e resiliência da paisagem urbana é de que forma os planejamentos de atividades antrópicas geradoras de maiores impactos podem contribuir, tais como os sistemas de drenagem urbana. O autor argumenta que, nesse cenário, a Infraestrutura Verde é uma composição híbrida de infraestrutura construída e ecossistemas, no sentido de construir o cenário ideal para que os princípios da tabela 3.5 funcionem. Por um lado, a infraestrutura construída pode propiciar multifuncionalidade, redundância e modularização por meio do design voltado à mimetização de processos naturais, amortecendo o impacto no ambiente natural e, por outro, o planejamento da Infraestrutura Verde aumenta a resiliência das áreas naturais com o design voltado à ampliação da capacidade adaptativa por meio do fortalecimento da biodiversidade nos ecossistemas.

Soares (2014) converge para este argumento afirmando que nos métodos tradicionais de urbanização busca-se conduzir a água rapidamente para o fundo de vale, o que muitas vezes causa inundações em eventos críticos de precipitação. E que “*pela ótica da Infraestrutura Verde*” é estabelecido o conceito inverso, no sentido de que “*quanto mais água percolar no solo ou for temporariamente retida, mais sua chegada no fundo do vale é retardada. Da mesma forma, quanto mais redutores de velocidade essa água acumulada nos fundos de vale encontrar, menores os possíveis danos causados*”. A autora ressalta, nesse caso, a necessidade de atendimento à capacidade de suporte do corpo hídrico para evitar degradação superior à sua capacidade adaptativa e, portanto, a sua resiliência.

No que diz respeito às áreas com ocupação urbana onde foram suprimidas as áreas verdes, parcial ou totalmente, o caminho é a recuperação das áreas degradadas com o restabelecimento de fluxos naturais por meio de técnicas de Infraestrutura Verde. Entre estas áreas, destaca-se a recuperação das margens de cursos d’água que são links crítico para a criação de habitat nas áreas de convergência, os blocos sistêmicos dos hubs. (Firehock, 2010). Ahern (2007) também indica a prioridade para o fluxo de água nas áreas altamente modificadas, nas quais há pouca ou nenhuma conectividade com fragmentação da paisagem e impactos significativos nos processos ecológicos. Nesse caso, segundo o autor, o conceito de conectividade precisa ser aplicado diretamente ao fluxo de água, por ser o fluxo mais importante em qualquer paisagem.

Organização espacial dos componentes da rede

A prática da elaboração de projetos nos remete aos elementos de Infraestrutura Verde já referidos, que procuram recriar os ecossistemas no meio natural: os hubs, os links e os sites. Na figura 3.13, a cidade de Webster/Michigan, mostra uma configuração do Plano de Infraestrutura Verde do município, ressaltando a rede formada por diferentes tipos de elementos/componentes. Os Hubs são interligados aos sites por Links predominantemente fluviais e por uma rede de áreas protegidas (hachura). O estabelecimento desse diálogo entre os componentes segue uma organização hierárquica baseada nas interações dos processos ecológicos que estão diretamente relacionados às características abióticas, bióticas e culturais (ABC). A tabela 3.6 exemplifica a forma que os componentes podem ser organizados nas diversas escalas de aplicação, tendo as BMP incorporada à rede na escala local.

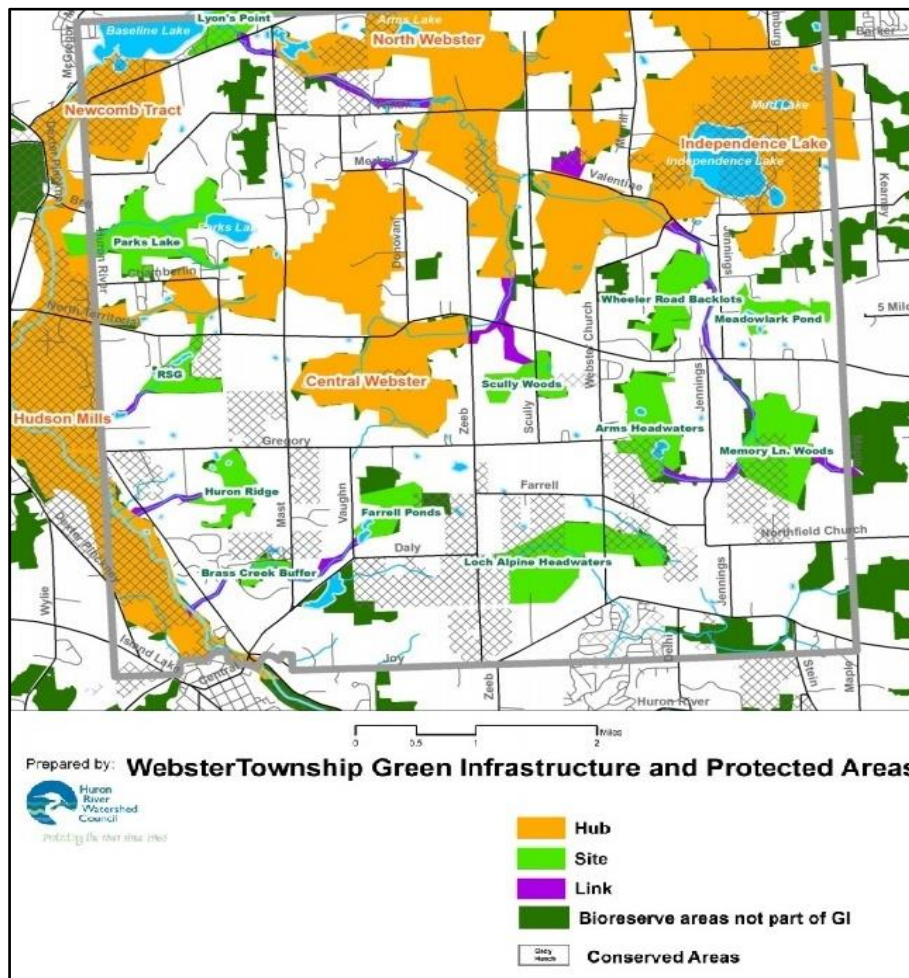


Figura 3.13: Ilustração do plano de Infraestrutura Verde do município de Webster, no estado de Michigan/EUA. Fonte: <https://www.hrwc.org/what-we-do/programs/green-infrastructure/>

Tabela 3.6: Componentes da Infraestrutura Verde por escalas e integração com BMPs.

ITENS		COMPONENTES DA REDE HÍBRIDA			
		Hubs Blocos ecossistêmicos Convergência Grandes áreas Recreação e pesquisa	Sites Blocos menores Refúgios locais Convergência transitória Pequenas áreas Recreação	Links Conexões Passagem de fauna Trocas gênicas Fluxo de água Recreação	Bmp •Mimetização de processos naturais •Amortecimento •Capacidade de suporte •Fluxo de água
ESCALAS DE APLICAÇÃO	Regional	Unidades de conservação e outras áreas protegidas regionais Mosaicos Biomass Grandes áreas verdes rurais	-	Grandes corredores fluviais Corredores verdes Unidades de Conservação de ligação regionais	-
	Municipal	Unidades de Conservação e outras áreas protegidas Municipais Mosaicos Grandes áreas verdes urbanas e rurais	Pequenas áreas protegidas Parques Urbanos Praças	Corredores fluviais de rios e córregos urbanos Corredores verdes Parques lineares	•Reservatórios de retenção/detenção •Wetlands •Barramentos
	Vizinhança	Unidades de conservação e outras áreas protegidas Municipais Grandes áreas verdes urbanas e rurais	Áreas verdes urbanas	Corredores fluviais de córregos urbanos Faixas verdes Ruas verdes Biovaletas	•Reservatórios de retenção/detenção •Pequenas Wetlands •Ruas verdes
	Local	-	-	-	•Telhados verdes •Biovaletas •Jardins de chuva •Grade verde •Barril de chuva •Canteiro pluvial

Fonte: Produção do autor baseado em Benedict e McMahon (2002); Benedict e McMahon (2006); Ahern (1995); Ahern (2007); Ahern (2014); Firehock (2010); Firehock (2014).

a. Hubs e links

Os blocos ecossistêmicos (Hubs) são os locais que realizam uma variedade de funções, como o fornecimento de habitat para fauna e flora, concentrando processos ecológicos sem perturbações, e estabelecendo uma origem e um destino para a vida selvagem e também para as pessoas que se deslocam pelo sistema de Infraestrutura Verde. São os atributos da paisagem de maior qualidade nos processos ecológicos, em grandes extensões e pouca fragmentação (BENEDICT; MCMAHON, 2006).

Nesse sentido, fazendo referência aos dispositivos legais brasileiros, no nível da escala regional (e nacional), os Hubs são as áreas de grandes reservas, no caso do Brasil, as Unidades de Conservação Federais de Proteção Integral⁸ como os Parques Nacionais, Estações Ecológicas, Reservas Biológicas, Monumentos Naturais e Refúgios da Vida Silvestre, assim como o Parque Distrital⁹, na escala municipal no âmbito do DF. Estas UC têm o objetivo de **preservação ambiental** com uso indireto de seus recursos. As UC de Uso Sustentável, buscam compatibilizar a **conservação ambiental** com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais, podendo desempenhar funções de Hubs como também podem ser importantes como links do tipo “ligações de paisagens” (*Landscape Linkages*) quando em mosaico com as UC de Proteção Integral, a depender de suas características. São exemplos dessas UC em nível federal as Áreas de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural. No DF, acrescenta-se a Floresta Distrital e o Parque Ecológico.

Para se estabelecer, criar, restaurar ou conservar os links, interligando os Hubs, devem ser analisadas as características destes e instrumentos legais tais como estudos ambientais e planos de manejo. Considerando que as Áreas Protegidas estão espalhadas pelo território brasileiro, não apenas as UC, mas também Terras Indígenas e Áreas de Preservação Permanente/APP, podendo cada qual conter dinâmicas diversas em relação aos seus processos ecológicos de flora, fauna e também de atividades antrópicas. Nesse cenário, conforme Benedict e McMahon (2006) frisam, é necessária avaliação aprofundada dos processos abióticos, bióticos e antrópicos dos Hubs identificados no planejamento para subsidiar as decisões de ações para ligações desejáveis e outras para as não desejáveis, o que remete de forma coerente ao fluxograma metodológico proposto por

8 Sistema Nacional de Unidades de Conservação/SNUC - Lei nº 9.985, de julho de 2000.

9 Sistema Distrital de Unidades de Conservação/SDUC - Lei Complementar nº 827 de 22 de julho de 2010.

Ahern (figura 3.12). Não há estabelecimento de dimensionamentos de larguras das interligações (links, corredores) mas, quanto mais largo forem mais efetiva a ligação, e quanto mais extenso for a ligação, mais larga ela deve ser. Tanto nos Hubs quanto nos Links, é preciso projetar, sempre que possível faixas de tamponamento (*buffer*), considerando um núcleo no qual há maior proteção a ser oferecida aos ciclos ecológicos. Vale ressaltar que o planejamento da Infraestrutura Verde precisa ser adaptativo porque cada local requer ações específicas e revisões constantes na busca dos melhores resultados (BENEDICT e MCMAHON, 2006; Ahern, 2007)

A continuidade é um princípio fundamental, pois pesquisas mostram que uma rede de corredores tende a ter mais biodiversidade e menor taxa de extinção local do que faixas verdes de igual tamanho separadas do sistema de rede. Nesse cenário, a prática da redundância é fundamental, com corredores múltiplos que podem capilarizar a estrutura ecológica e reduzir os efeitos negativos causados por focos de degradação (*gaps*), lacunas, perturbações ou até mesmo predadores visitantes, o que pode aumentar assim a eficiência e a resiliência da rede. A identificação das áreas degradadas é de fundamental importância também, no sentido de sua restauração para que a conectividade não tenha lacunas (BENEDICT; MCMAHON, 2006; Ahern, 2010; Bonzi, 2015, Vasconcellos, 2011)

Uma das formas de links mais interessantes pode ser estabelecida pelos **parques lineares** que, quase sempre, acompanham um corpo hídrico receptor de drenagem pluvial, ligando bairros pela mobilidade urbana sem veículos automotores, oferecendo a possibilidade de integração da população com o ambiente natural, entrelaçada à rede de espaços culturais de esporte e lazer de cada distrito e da Cidade em geral. Como são localizados, quase sempre, nos talwegues de vale urbanos, o potencial natural de fertilidade do solo e de abundância de água estimula os fluxos ecológicos pela cidade (Franco, 2010; Soares, 2016). Além disso, Pellegrino (2000) lista quatro funções ecológicas das matas ciliares: (1) minimização de enchentes, (2) controle de assoreamento, (3) fonte de matéria orgânica para todos os organismos locais, e (4) habitats para espécies importantes. De acordo com Giner (2016), em nível da escala da cidade, investir na regeneração de corredores urbanos de rios, criar parques lineares é uma estratégia muito benéfica tanto do ponto de vista social como ambiental, mas, acima de tudo, é uma estratégia viável e economicamente sustentável ao longo do tempo no contexto latino-americano.

Soares (2016), baseada em sua pesquisa com usuários em São Paulo, relata que os parques lineares são percebidos, principalmente, como intervenção de valorização local, visto como único local para lazer com práticas recreativas, esportivas e de contato com uma área verde. A autora frisa que esta avaliação positiva coexiste com o reconhecimento da população dos problemas que ainda envolvem os corpos hídricos do parque, tanto na poluição, no mal cheiro, na coloração da água e na presença de lixo às margens e nos leitos, como também na falta de manutenção sistemática da infraestrutura.

A mesma autora ainda ressalta que os benefícios da criação dos parques lineares “em áreas carentes, marcadas pelo acúmulo de deficiências de várias ordens, como a precariedade de infraestrutura e acesso a bens e serviços, à segurança e a um padrão de habitação satisfatório, foram mais diretamente identificados como positivos e relevantes.” Os moradores destas áreas associam ao parque linear, a melhora na convivência social na vizinhança, considerando que o acesso facilitado, “por ser um parque aberto, tem o potencial de favorecer a circulação e interação entre os moradores e demais frequentadores”. No relatório de entrevistas da autora, apesar do item com pior avaliação ter sido a qualidade da água do córrego, houve a avaliação positiva relacionando o parque linear à redução de enchentes.

b. Sites

Os sites são compostos por áreas menores do que os hubs, mas que representam áreas intermediárias cuja forma permite que a fauna pode encontrar abrigo temporário e alimento, mantendo processos ecológicos que complementam o ecossistema. Geralmente são áreas interligadas aos Hubs, localizadas no trajeto dos links, ou próximas dos links o suficiente para serem considerados como ecossistemas trampolins (*stepping stones*), a partir dos quais os fluxos podem alcançar os Hubs. Além disso, são áreas nas cidades nas quais são possíveis as interações da população com a natureza em atividades recreativas, sociais e culturais. São áreas com âmbito nos bairros, tais como as pequenas áreas protegidas do DF nos Parques Urbanos e Parques Ecológicos, nas praças e outras áreas verdes urbanas, podendo ser públicas ou privadas.

Ribeiro (2010) defende a utilização de alagados construídos (*wetlands*) em Parques, como complementação dos sistemas convencionais, no sentido da capacidade de autodepuração. De acordo com a autora, a grande vantagem dessa proximidade vai além da função ecológica de atrair fauna na busca por alimentação nessas áreas, criando também um ciclo de revegetação por disseminação de sementes e se tornando um habitat

para várias espécies. A função socioambiental ganha potencial para formação de “centros educacionais e recreativos”, com trilhas, mobiliário urbano, lagos, mirantes e locais para práticas culturais diversas. Além disso, a população tem a possibilidade de se conscientizar com as “lógicas do ambiente natural”, sobretudo em relação à gestão da água “ao tomar contato e participar da depuração de seus resíduos”.

Seguindo a lógica da autora e diante da localização dos sites na escala de vizinhança, do bairro, ou seja, adjacente à escala local, das ruas e quadras existentes nas malhas urbanas, é possível afirmar que os sites podem fazer parte da infraestrutura híbrida mencionada por Ahern, Belanger e Firehock, ligando a infraestrutura cinza com a infraestrutura verde, de forma a amortecer os impactos da drenagem urbana. É possível estender a função das *wetlands* citadas pela autora às bacias de retenção e detenção e outras práticas de gestão sustentável (BMP) passíveis de serem implantadas em ambientes multifuncionais dos parques.

Nas figuras 3.14 e 3.15, existem dois exemplos de projetos utilizando parques multifuncionais para amortecimento com BMP nas cidades de Seattle/WA e Portland/OR. Entretanto, devemos lembrar que, no caso desses, as cidades possuem diversas outras medidas de manejo sustentável (BMP) amplamente distribuídas por sua malha urbana, amortecendo os efeitos do escoamento superficial em sua origem e na microdrenagem, considerando a diminuição de volume por infiltração, evaporação e evapotranspiração; a melhora da qualidade do efluente por biorretenção e a diminuição das vazões de pico por detenção. Benedict e McMahon (2006), Ahern (2007), Firehock (2010) e Pellegrino (2000) afirmam que a Infraestrutura Verde diminui as inundações a jusante. No entanto, as BMP têm como uma de suas funções, a simulação das condições hidrológicas e hidráulicas similares àquelas que ocorriam na fase anterior ao desenvolvimento antrópico e, portanto, representando ações importantes com potencial mitigador no âmbito dos sistemas de drenagem sustentável. (Firehock, 2014; Canholi, 2014). Ou seja, é importante integrar as BMP no contexto da Infraestrutura Verde para garantir a sua sustentabilidade ao longo do tempo, atendendo à sua capacidade de suporte.

Ainda assim, a criação de Parques Urbanos utilizados para o amortecimento dos impactos remanescentes em espaços multifuncionais para usufruto da população com atributos paisagísticos.



Figura 3.14: Lagoa de retenção em parque no bairro High Point da zona oeste de Seattle/WA.
Disponível em: <https://highpointseattle.com/about-high-point/natural-drainage-system/>



Figura 3.15: *Wetland* no Parque Tanner Springs, zona central de Portland/OR.
Disponível em: <https://land8.com/tanner-springs-park-an-oasis-in-the-middle-of-the-city/>

c. Melhores Práticas de Gestão – “*Best Management Practices*” (BMP)

Como discutido anteriormente, as técnicas de LID se desenvolveram no âmbito do arcabouço conceitual da Infraestrutura Verde nos Estados Unidos e, apesar de terem adquirido um grande desenvolvimento por meio da comunidade técnica voltada à drenagem urbana, estas técnicas se constituem elementos de composição da paisagem urbana no âmbito local. Serão aqui apresentados seus principais elementos como forma de verificar sua utilização no cenário a ser construído para o Trecho 3 do Sol Nascente, objeto de estudo da presente dissertação.

Segundo a USEPA (2009), as BMP quando inseridas em sistemas de drenagem convencionais oferecem vantagens em relação aos sistemas padrões, tais como: (1) diminuiu ou elimina necessidades dos grandes reservatórios de detenção; (2) reduz a carga de poluentes e a erosão nos corpos hídricos receptores; (3) proporciona visual paisagístico e um design mais adaptável a cada local; (4) pode custar menos do que os sistemas convencionais. Os princípios estabelecidos têm o objetivo de conservar, ao máximo, os processos hidrológicos naturais, considerando a mitigação da ação antrópica que origina o escoamento superficial tanto do ponto de vista quantitativo e quanto qualitativo. Assim, medidas e dispositivos, apresentam, em comum, o uso de vegetação para interceptar o escoamento superficial, retendo sedimentos e nutrientes, facilitando a infiltração, evapotranspiração e armazenamento de água no solo pelo processo da biorretenção.

Para Comier e Pellegrino (2008), os dispositivos não devem ser isolados das atividades urbanas e, sim, ser incluída em paisagens atrativas no meio social e recreacional, para que as pessoas possam usufruir. São exemplos, as valas, trincheiras, bacias, jardins, *wetlands* construídos, telhados verdes, os pavimentos permeáveis, reservatórios de água da chuva e outros voltados para infiltração e/ou detenção. Canholi (2014) afirma que se esses mecanismos, na forma de pequenos dispositivos, forem usados na fonte do escoamento, mais vantagens em termos de padronização e de alocação de custos pela relação direta entre a área urbana e a geração de escoamento. Mas salienta que tanto os custos de manutenção quanto os de operação tendem a crescer pelo aumento do número de dispositivos, como o próprio projeto de drenagem e seu dimensionamento tornam-se de grande complexidade e incertezas. Nesse sentido, vale dizer que, a depender da eficiência da manutenção, a operação dessas técnicas pode prejudicada bem como gerar re-

sistência aos tomadores de decisão quanto à real possibilidade de adoção em larga escala desses dispositivos em sistemas de drenagem convencionais.

Tucci, Souza e Cruz (2012) ressaltam que uma das maiores vantagens das técnicas propostas pelo LID é a possibilidade de inserir dispositivos em espaços multifuncionais, de forma integrada a outras atividades da população e, com isso, dividindo o ônus pela sua execução, uma vez que além do objetivo de controle da drenagem, serviria a outra finalidade comunitária. O conteúdo paisagístico faz parte da estratégia para inserção da sustentabilidade, com o manejo da drenagem urbana unificados em serviços relacionados com as funções socioambientais da cidade.

Tipologias da escala local

A título exemplificativo estão relacionados abaixo os tipos mais relevantes de dispositivos de drenagem sustentável nos quais funcionam ciclos ecológicos com BMP que podem compor a escala local e particular urbana no âmbito do planejamento da Infraestrutura Verde. Existem vários nomes para definir dispositivos semelhantes e, nesse sentido, este trabalho expõe uma síntese.

Jardim de chuva, canteiros, trincheiras, valas pluviais

Estes dispositivos trabalham com depressões no terreno, naturais ou escavadas. Existe a possibilidade de trabalho de solo para manter vegetação em caráter paisagístico. Em função disso, apresentam função de biorretenção no controle de poluentes oriundos da drenagem. Podem ser de Infiltração, detenção ou terem ambos processos atuando. Estas definições dependem do tipo de solo e geologia local. Quando operando para infiltração, o preparo do solo deverá prever as condições para a percolação do efluente. Na detenção, objetivando a biorretenção e a diminuição da velocidade do acúmulo do escoamento, deve haver ligação do dispositivo à rede, fazendo com que depois de passar pelas camadas de solo, o efluente chegue à rede de drenagem. Podem receber águas pluviais de diversas formas: canaletas a nível do solo, rebaixos no meio-fio, direcionamento de água do telhado e tubulações. É importante também a existência de extravasores para a rede de drenagem e seu dimensionamento para não acumular água superficial. A variação de nomes existe muitas vezes em função da forma adequada ao espaço disponível, mas em geral esses dispositivos lidam com os mesmos tipos de processo no solo urbano. (Comier e Pellegrino, 2008; Herzog e Rosa, 2010; Bonzi, 2015)

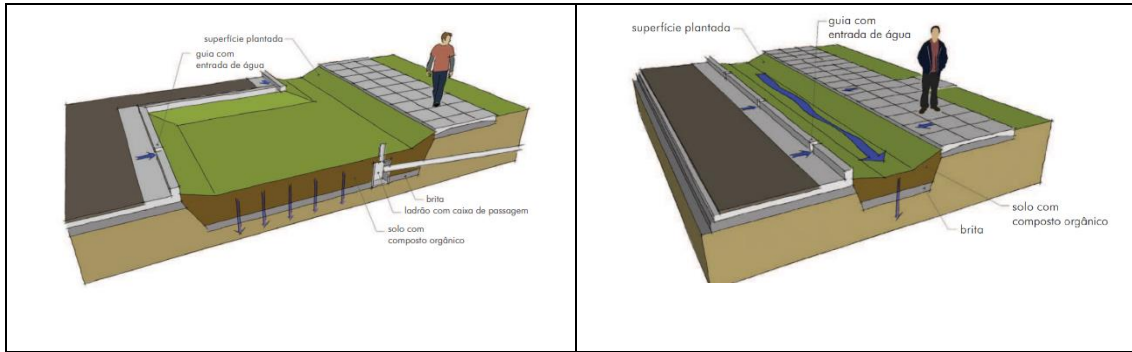


Figura 3.16: Esquemas exemplificativos de dispositivos. À esquerda, jardim de chuva e à direita vala de infiltração. Fonte: Comier e Pellegrino (2008).



Figura 3.17: Jardim de chuva em Portland/OR à esquerda e jardim de chuva em Seattle /WA à direita. Disponível em: <http://labhab.fau.usp.br/>

Telhado verde

Os telhados verdes absorvem a água da chuva, reduzindo o escoamento superficial proveniente de sua impermeabilização. Além disso, podem amenizar os efeitos de ilha de calor da cidade e melhorar a eficiência energética da edificação, criar hábitat. Comier e Pellegrino (2008)

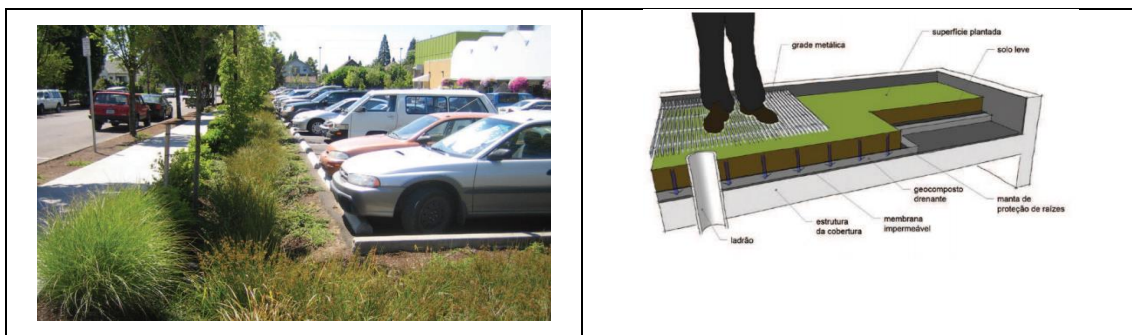


Figura 3.18: Imagem de vala de infiltração à esquerda. Esquema exemplificativo de telhado verde à direita. Fonte: Comier e Pellegrino (2008).

Tipologias da escala de vizinhança e municipal

Lagoas pluviais

As lagoas pluviais podem funcionar como bacias de detenção ou retenção. Recebendo o escoamento superficial por redes de drenagens urbanas e/ou por escoamento natural, estes dispositivos regulam a vazão dentro de sua capacidade volumétrica, detendo ou retendo temporariamente o volume recebido.

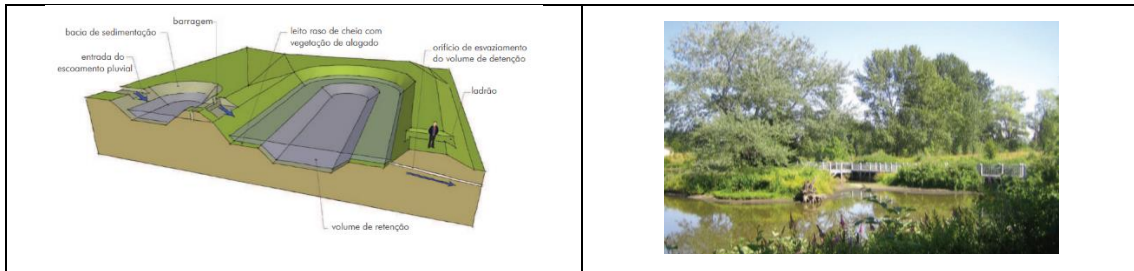


Figura 3.19: Esquema exemplificativo de lagoa de detenção à esquerda e imagem de lagoa de retenção à direita.
Fonte: Comier e Pellegrino (2008).

As lagoas de retenção são aquelas que têm volume perene, formadas naturalmente ou pelo represamento de um corpo hídrico, recebendo a vazão de determinado sistema de drenagem, que é liberada pouco a pouco em seu exutórios, amortecendo o pico de vazão.



Figura 3.20: Exemplo de lagoa de retenção no Parque São Lourenço, Curitiba/PR.
Disponível em: <http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/parques-e-bosques-parque-sao-lourenco/317>



Figura 3.21: bacia de retenção no Ribeira da Costa (cidade de Guimarães-Portugal). Na foto à esquerda, com o nível normal do curso d'água e, à direita, com pico de vazão: o acúmulo a montante do barramento retém inundações a jusante, comum antes da obra. Disponível em: <http://www.guimaraesdigital.com>

As lagoas de detenção não têm fluxo natural em seu interior, sendo dimensionadas para amortecerem o pico de vazão e lançando as águas pluviais em um corpo hídrico ou retornando à rede de drenagem. Essa tipologia é empregada com frequência como solução de amortecimento no Brasil, sendo o dispositivo estabelecido como solução em regulação específica no Distrito Federal, para fins de amortecimento do pico de vazão da drenagem. Em geral, são reservatórios monofuncionais de grande profundidade, sem características que mantenham funções ecológicas ou de recreação para a população, necessitando de restrição de acesso devido aos riscos associados.



Figura 3.22: Exemplo de lagoa de detenção ao lado de área densamente ocupada em Taboão da Serra/SP, Brasil. Disponível em: <http://tecetera.blogspot.com/2011/01/acao-contra-enchentes.html>



Figura 3.23: Exemplo de lagoa de detenção no Parque Burle Marx, Setor Noroeste, Brasília-DF.
Fonte: Google Earth, 15/06/2018 editada.



Figura 3.24: Exemplo de lagoas de detenção no Parque Veredinha, em Brazlândia, Distrito Federal.
Fonte: Google Earth, 15/06/2018 editada.

Wetlands ou alagados construídos

O termo “*wetland*” é empregado para designar ecossistemas que ficam parcial ou totalmente inundados ao longo do ano. São exemplos de wetlands: várzeas de rio, pântanos, mangues, lagos de baixa profundidade, igapós, áreas com lençol freático elevado, aflorado ou não, entre outros. Dependendo de características do meio físico (geologia, geomorfologia e pedologia), a capacidade de suporte e propriedades desses ambientes pode variar bastante, mas existe o consenso de que desempenham funções ecossistêmicas, tais como: (1) regularização dos fluxos hídricos, amortecendo os picos; (2) controle da qualidade das águas; (3) proteção à biodiversidade como habitat e refúgio para fauna; e (4) controle da erosão, amenizando o assoreamento dos rios. (Salati, 2001)

Pelo fato de desempenharem as funções ecossistêmicas citadas acima, podem ser construídos como dispositivos da abordagem da Infraestrutura Verde com objetivo de fornecerem tais benefícios. São exemplos da utilização com êxito de wetlands construídos em parques: o projeto “Caminho do Parque da Ilha” (Parc du Chemin de l’Île), na França em Nanterre, o Renaissance Park, em Chattanooga, Tennessee, Estado Unidos e o Houtan Park em Xangai – China. (Infraverde, 2016)

Em Nanterre, o parque (figura 3.25), fez parte do projeto de revitalização urbana “Sena Sustentável”, tendo parte de sua área transformada wetlands construídos. O parque com 14,5 hectares capta águas poluídas do Rio Sena, que passa por diversas lagoas com diferentes tipos de plantas, em percurso de 1 km de comprimento. Como resultado, a água poluída do Sena é devolvida com uma classificação de “Água balneável”. “No parque, são tratados cerca de 40m³/hora em uma área de 18.000m² e, voltam para o Rio Sena aproximadamente 30 m³/h de água despoluída.” Em 2012, o parque recebeu a certificação “*espaço verde ecológico*”. (Infraverde, 2016)



Figura 3.25: Parc du Chemin de l’Île, na França. Fonte: Google Earth editada à esquerda e Infraverde.com.br

Já nos Estados Unidos, no Renaissance Park (figura 3.26), numa área com 23 hectares foi construída uma wetland, em local de escavação e retirada do solo contaminado. O alagado recebe a drenagem urbana de áreas do entorno e lança no Rio Tenesse. As águas pluviais ainda passam por uma floresta de várzea até desaguar no rio, proporcionando habitats para a fauna da região. Dentro da wetland foram colocadas algumas fileiras de gabiões com vegetação fixada à sua estrutura, filtrando, diminuindo a velocidade da água e criando um trajeto sinuoso. (Infraverde, 2016)



Figura 3.26: Renaissance Park, no Tenesse, Estados Unidos. Fonte: Infraverde.com.br

Em Xangai, o Houtain Park (figura 3.27), alia o paisagismo à infraestrutura urbana com prestação de serviços ambientais. Trata-se de um alagado linear com 1,7 km de extensão e em média 30 metros de largura em 14 hectares de parque. Entre os objetivos mais importantes estão a melhoria da qualidade das águas do Rio Huangpu, controle de enchentes e requalificar a orla. Segundo os projetistas são tratados 2.400 m³/dia, com vantagem econômica em relação a tratamentos convencionais. (Infraverde, 2016)



Figura 3.27: Houtain Park, em Shangai, China. Fonte: Infraverde.com.br

Segundo Salati (2001), a primeira tentativa e pesquisa de utilização de Wetlands construídos no Brasil foi realizada por Salati et al, (1982), com a execução de um lago próximo do Rio Piracicamirim, na Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”,

em Piracicaba-SP. Com experiências satisfatórias, foram desenvolvidas tecnologias para aumentar a eficiência do sistema, segundo o autor, diminuindo os investimentos.

Do ponto de vista internacional, existe desenvolvimento considerável de pesquisas em torno das wetlands. Em 1986, ocorreu a primeira conferência internacional, dando início ao debate entre os especialistas. Em 2018, foi realizada a 16ª Conferência Internacional em Sistemas de Wetlands para Controle da Poluição Hídrica com enfoque na relação destes sistemas com a biodiversidade, sendo, portanto, uma área de estudo consolidada na temática dos recursos hídricos.

Tabela 3.7. Técnicas de Wetlands construídos quanto ao tipo de fluxo e vegetação.

Fluxo	Croqui explicativo
Superficial	
1. Plantas aquáticas flutuantes Constituídos em geral por canais longos e estreitos com aproximadamente 0,70 m de profundidade.	
2. Plantas emergentes A água escorre pela superfície do solo cultivado com plantas emergentes. Geralmente são canais longos, com lâmina de água variável.	
Subsuperficial	
1. Plantas emergentes A água é mantida com fluxo horizontal em substrato de pedras. Em geral são canais longos, sendo a espessura da camada das pedras variável, porém da ordem de 0,50 cm.	
2. Plantas emergentes A água tem um fluxo vertical em uma camada de solos sobre brita. São cultivadas plantas emergentes. Predominam os sistemas de canal longo com pouca profundidade.	

Fonte: Salati (2001), adaptado.

Salati (2001) sintetizou os tipos de wetlands conforme mostrado na tabela 3.7, diferenciando segundo os tipos de macrófitas¹⁰ (flutuantes ou emergentes), e de fluxo (superficial ou subsuperficial). Vale dizer que em ambientes naturais ocorrem os dois fluxos. O predomínio de um destes depende das condições físicas da área.

¹⁰ Vegetais que habitam desde brejos até ambientes totalmente submersos. (http://www.ufscar.br/~probio/info_macrof.html)

3.4. REGULAÇÃO DA DRENAGEM URBANA NO DISTRITO FEDERAL

O Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal, PDDU, elaborado em 2009, trouxe os seguintes princípios norteadores: (1) planejamento baseado por bacia hidrográfica; (2) minimização do impacto ambiental da drenagem pluvial (quantidade e qualidade); (3) consideração da cidade como um todo; (4) valorização dos mecanismos naturais de escoamento; (5) integração do planejamento de drenagem urbana, esgotamento sanitário e resíduos sólidos; e (6) participação cidadã: “decisões públicas devem ser tomadas conscientemente por todos”. Como metas foram estabelecidas: (1) eliminar os alagamentos na cidade; (2) minimizar a poluição do escoamento pluvial; (3) eliminar qualquer tipo de erosão e área degradada; e (4) evitar impactos de novos empreendimentos. As medidas estruturais de controle foram estabelecidas na fonte, na microdrenagem e na macrodrenagem. O estabelecimento de medidas sustentáveis na fonte tem o objetivo de diminuir a distribuição do impacto por toda a cidade, trazendo a responsabilidade da maior parte da solução do problema para o empreendedor no uso e ocupação do solo, seja público ou privado (PDDU, 2009).

O PDDU indicou em seu texto, a necessidade de medida não estrutural de regulação da aprovação dos novos empreendimentos e da adequação dos instalados com objetivo de controlar a quantidade e qualidade dos efluentes oriundos da rede de drenagem pluvial. A ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal condicionou os empreendimentos à outorga de lançamento de águas pluviais nos corpos hídricos do Distrito Federal, mediante o estabelecimento de procedimentos técnicos e administrativos contidos na Resolução nº 09 (ADASA, 2011), marco regulatório de 8 de abril de 2011. O procedimento da outorga tem os seguintes objetivos: (1) manutenção da recarga dos aquíferos e da qualidade da água; (2) diminuição da erosão e sedimentação urbana; e (3) prevenção de inundações na macrodrenagem urbana.

As medidas estruturais estabelecidas na Resolução foram as seguintes: (1) reservatório, ou bacia, de qualidade para deter a poluição difusa gerada em superfície impermeabilizada, reduzindo a concentração de poluentes da água a ser lançada no corpo hídrico receptor (detenção por 24 horas); e (2) reservatório, ou bacia, de quantidade para amortecer a vazão do efluente no lançamento ao valor correspondente à vazão de pré-

desenvolvimento¹¹ no corpo hídrico. A normativa estabeleceu, ainda, algumas fórmulas matemáticas e metodologia de projeto e dimensionamento, com base em estudo das características hidrológicas do DF. A metodologia descrita deve ser aplicada no cálculo do volume dos reservatórios e no dimensionamento da tubulação de entrada e de saída destes dispositivos. Com base no atendimento a esses critérios, o projeto recebe outorga prévia da ADASA e, na sequência, após a obtenção das licenças ambientais no Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal, órgão ambiental do DF/IBRAM, recebe a outorga definitiva para o lançamento.

De acordo com o Relatório Técnico (ADASA, 2010), o dimensionamento das bacias de quantidade é baseado no controle da vazão máxima para lançamento no corpo hídrico receptor, considerando o critério de manter a vazão de pré-desenvolvimento para TR de 10 anos. Assim, para o DF, a vazão máxima foi calculada pelo método racional, adotando-se a seguinte equação (Adasa, 2010):

$$Q = 2,78. C. I \quad (3.1)$$

Onde: Q – vazão por unidade de área em L/(S.ha); C – Coeficiente de escoamento; I – Intensidade da chuva em mm/h; 2,78 é fator de conversão de unidades. O coeficiente de escoamento para áreas naturais (C) adotado foi C=0,15, a exemplo da equação 3.2. A intensidade de chuva, sendo considerado, nesse caso, o TR de 10 anos e a duração do evento de 1 hora na curva IDF para o DF, estabelecida no PDDU/2009:

$$I = \frac{1574,70.T^{0,207}}{(t+11)^{0,884}} \quad (3.2)$$

Onde: I – intensidade em mm/h; T – Tempo de retorno; t – duração da chuva em minutos. Considerando os valores T=10 e t=60, temos o valor de I=58,6 mm/h. Aplicando-se o valor de I e adotando o valor de C=0,15 na equação 3.5, temos que:

$$Qp = 2,78.0,15.58,6$$

$$Qp = 24,4 \text{ L/(S. ha)}$$

Para o cálculo de volume da bacia de quantidade, Tucci (2010) considerou o método racional apenas para empreendimentos com áreas de contribuição de até 200 ha. Nesses casos, temos que:

$$\frac{V}{A} = (Qu - Qp). t. k \quad (3.3)$$

¹¹ Aquela estimada considerando-se o escoamento natural com a situação natural de cobertura do solo na área de contribuição.

$$Qu = 2,78. (0,15 + 0,8Ai). I \quad (3.4)$$

$Qp = 24,4L/(S. ha)$, Temos que:

$$\frac{V}{A} = [2,78. (0,15 + 0,8Ai). I - 24,4]. t. 0,06 \quad (3.5)$$

Onde t – é a duração da chuva em minutos; k – fator de conversão de unidade (0,06); I – Intensidade de chuva em mm/h (3.6); Ai – percentual de área impermeável (0 a 1). Com base na equação 3.8, Tucci (2010) encontrou os valores máximos de volume em função da área impermeável ajustando-os a uma equação do primeiro grau (reta):

$$\frac{V}{A} = 4,705. Ai \quad (3.6)$$

Para empreendimentos com áreas superiores a 200 ha foi estabelecida metodologia específica baseada em estudos hidrológicos com parâmetros específicos. A seguir, a Tabela 3.8 resume as definições a serem seguidas de acordo com o Art. 8 da Resolução n° 09 (ADASA, 2011):

Tabela 3.8: Dimensionamento das bacias de quantidade no DF

Variáveis	ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO	
	até 200 Ha	Acima de 200 ha
Vazão Máxima de lançamento Q (L/S.Ha)	$Q = 24,4 L/(s. ha)$	$Q = 24,4 L/(s. ha)$
Volume V (m³)	$V = (4,705. Ai). A$ Onde: V é o volume da bacia (m³); Ai é o percentual de área impermeável; A é a área de contribuição (Ha).	
	<ul style="list-style-type: none"> • Simulação; • Modelo chuva/vazão; • TR de 10 anos; • Chuva \geq de 24 horas; • Maximização de pico. 	

Fonte: Autor, baseado no Art. 8° da Resolução n° 09 (ADASA, 2011).

3.5. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROGRAMA PCSWMM

Segundo Whitehead e Robinson (1993), o primeiro estudo moderno a respeito de bacias hidrográficas foi realizado no início do século XX, na região dos Alpes Suíços, com o objetivo de comparar áreas florestadas com áreas de pastagens e entender melhor o fenômeno das inundações. Os resultados mostraram, entre outros apontamentos, que onde a ocorrência de inundações eram menores, os fluxos de base dos rios eram maiores e mais estáveis ao longo do tempo. Este estudo serviu de impulso para a realização de outros estudos sobre bacias hidrográficas e para a sua evolução metodológica. Com isso, as pesquisas cresceram em número e evoluíram bastante ao longo do século passado. Inicialmente, estes estudos eram a representação de entrada e saída do sistema, desconsiderando diversos processos físicos importantes que ocorrem no âmbito da bacia. Aos poucos, os resultados trouxeram outros questionamentos e, naturalmente, o aprofundamento das pesquisas.

Nesse cenário, ainda segundo os mesmos autores, a importância de se realizar estudos hidrológicos se baseia na necessidade de compreensão de como o uso do solo pode influenciar nos processos naturais e, por consequência, no balanço hídrico das bacias hidrográficas. Por outro lado, dada a complexidade das relações de causa e efeito existentes, não se pode descrevê-las por uma fórmula matemática, mas é possível representá-la em modelos que se aproximam de sua realidade. A utilização de modelos, como representação de uma realidade, busca compreender o funcionamento e as reações de um determinado sistema, quando inseridos dados e parâmetros de pesquisa. (Rennó e Soares, 2000)

Os Modelos computacionais são utilizados em várias situações no âmbito da gestão das águas urbanas. Tanto na fase de planejamento como em casos de manutenção corretiva, destacando-se os casos nos quais o objetivo é simular cenários de um sistema de drenagem submetido a determinado evento de precipitação. Outros pontos importantes são: a facilidade agregada pelas ferramentas de Sistema de Informação Geográfica/GIS nas entradas de dados e na representação da geometria das redes; e a incorporação de ferramentas para elaboração de mapas e gráficos como forma de representação dos resultados. (Cabral et al., 2009)

O SWMM (*Storm Water Management Model*) é um programa de modelagem de gerenciamento de águas pluviais desenvolvido pela USEPA, a partir de 1971. De acordo

com Rossman (2015) pode ser aplicado tanto no dimensionamento quanto na avaliação da eficiência de componentes de projeto de drenagem do ponto de vista quantitativo e qualitativo, sendo amplamente experimentado nas pesquisas relacionadas a inundações, controle do escoamento superficial e do lançamento em corpos hídricos. Segundo Rossman (2015), o SWMM é um modelo hidrodinâmico, com simulação chuva-vazão aplicado tanto às chuvas de projeto quanto às de base contínua. O programa é composto por quatro módulos de cálculo computacional: (1) Atmosférico (precipitação); (2) Superfície (infiltração e escoamento), (3) Águas subterrâneas (fluxo de base) e, por último, Transporte dos fluxos (condutos e canais).

O escoamento é gerado, a partir dos dados climáticos de entrada (precipitação) e o ajuste de parâmetros, os hidrogramas e diversos valores de saída associados ao escoamento superficial. A área de contribuição é dividida em sub-bacias (*subcatchment*) que são consideradas como microrreservatórios associados a um PV (*junction*), com capacidade máxima associada às características da bacia. O valor do escoamento é medido a partir do volume que ultrapassa a capacidade de armazenamento atribuída a cada sub-bacia. (Rossman 2010)

Os valores de infiltração podem ser calculados por três métodos: (1) equação de Horton; (2) equação de Green-Ampt, e (3) método Soil Conservation Service/SCS. Dentre estes, o SCS é aquele que um conjunto menor de dados de entrada sendo baseado nos dados de uso e ocupação do solo enquanto as equações de Horton e Green-Ampt necessitam de dados específicos do solo difíceis de serem obtidos em áreas urbanas em função da antropização. Por isso, o método SCS, baseado na Curva-número (CN) é indicado em bacias urbanas, tendo sido amplamente utilizado e com êxito nas simulações. (Costa, 2013)

O PCSWMM (*Personal Computer Storm Water Management Model*) desenvolvido pela *Computational Hydraulics Int.* (Chiwater) utiliza a mesma base do SWMM e, segundo Righetto (2009), incorporando os mesmos conceitos, mas de uma forma mais amigável e intuitiva tanto na entrada de dados, contando com a incorporação do SIG, como na visualização de resultados e sua manipulação em cenários. Outro ponto indicado também é a possibilidade de avaliação de dispositivos do LID, entre eles, as bacias de retenção, valas e trincheiras, sendo possível determinar volumes de retenção e infiltração, entre outros parâmetros.

Diversos autores utilizaram o programa para modelagem de sistemas de drenagem com êxito. Alves (2017) simulou a aplicação de três medidas compensatórias sustentáveis de baixo impacto (coberturas verdes, pavimentos permeáveis e jardins de chuva), em duas microbacias do município de Campina Grande – PB, no âmbito do mestrado em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande. Tomimaga (2013) simulou medidas de controle na fonte na bacia do Córrego da Luz, em São Paulo-SP, em sua Dissertação de Mestrado no âmbito da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no programa de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Rocha (2013) buscou correlacionar as características do uso e ocupação do solo à evolução dos processos hidrológicos ao longo do tempo (três períodos distintos) na bacia do Córrego Samambaia em Goiânia-GO no Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.

Na Universidade de Brasília, no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Silva (2017) e Carvalho (2018) simularam a aplicação de medidas sustentáveis no Setor Habitacional Taquari, em Brasília-DF, no âmbito da graduação em Engenharia Ambiental. Fileni (2017) simulou medidas sustentáveis aplicadas a quatro sub-bacias do Setor Habitacional Sol Nascente na Ceilândia, Brasília-DF, no âmbito da graduação em Engenharia Ambiental da Universidade de Brasília.

No Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos/PTARH, Costa (2013), em sua Dissertação de Mestrado, analisou o comportamento quantitativo e qualitativo do lançamento de efluentes de drenagem de duas sub-bacias do Plano Piloto de Brasília, por meio do monitoramento da precipitação e do escoamento superficial em eventos de cheia e pela modelagem matemática, com o modelo SWMM. Souza (2014) também analisou o comportamento quantitativo e qualitativo das águas de drenagem das mesmas sub-bacias de Costa (2013) dando continuidade ao monitoramento, fazendo uso dos programas SWMM e PCSWMM em sua Dissertação. A autora também avaliou a implantação de alternativas de bacias de retenção, estudando os efeitos de sua localização na remoção de poluentes, bem com o dimensionamento do volume de armazenamento.

Ainda na Universidade de Brasília, vale ressaltar a Tese de Doutorado de Rocha (2019), na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo que propôs e simulou cenários de drenagem sustentável em harmonia com a Infraestrutura Verde da Asa Norte de Brasília, para solucionar a ocorrência de alagamentos em eventos críticos de precipitação,

utilizando o PCSWMM para a modelagem com apoio do Laboratório de Hidrologia da Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.

Assim, considerando o êxito dos exemplos acima, este trabalho utilizará o programa PCSWMM 2017, versão 1.2480, SWMM versão 5.0.013-5.1.012, licenciado pela Chiwater para fins Universitários no âmbito desta pesquisa com o objetivo de simular cenários para avaliação da contribuição da Infraestrutura Verde no Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente/SHSN.

4. METODOLOGIA

A partir do estudo das referências bibliográficas, para o alcance dos objetivos traçados, no sentido de propor e avaliar Cenário Sustentável para a Drenagem do Trecho 3 da ARIS Sol Nascente, foi necessária a organização de metodologia para o desenvolvimento do trabalho.

O trabalho foi desenvolvido a partir da caracterização e diagnóstico da área do estudada, incluindo a inserção dos dados da rede de drenagem no PCSWMM que foi a base para a modelagem dos cenários. Após a caracterização da área, seguiu-se a elaboração de cenários de solução para o amortecimento da drenagem, formatando os elementos necessários para a modelagem do sistema de drenagem com o uso do PCSWMM. Na última etapa, o trabalho foi a inserção de dados dos componentes da extensa rede do Trecho 3 do SHSN e a rede antiga da Ceilândia, em grande parte de forma manual. Em seguida, foi feita a inserção no PCSWMM dos parâmetros de simulação e dos dados dos cenários analisados para simulação e análise dos resultados do comportamento do sistema de drenagem para os cenários.

A seguir estão apresentados e ilustrados os passos de uma forma geral conforme a sequência metodológica desenvolvida em 3 etapas. O conteúdo mais específico de cada etapa será explicado em itens posteriores deste trabalho.

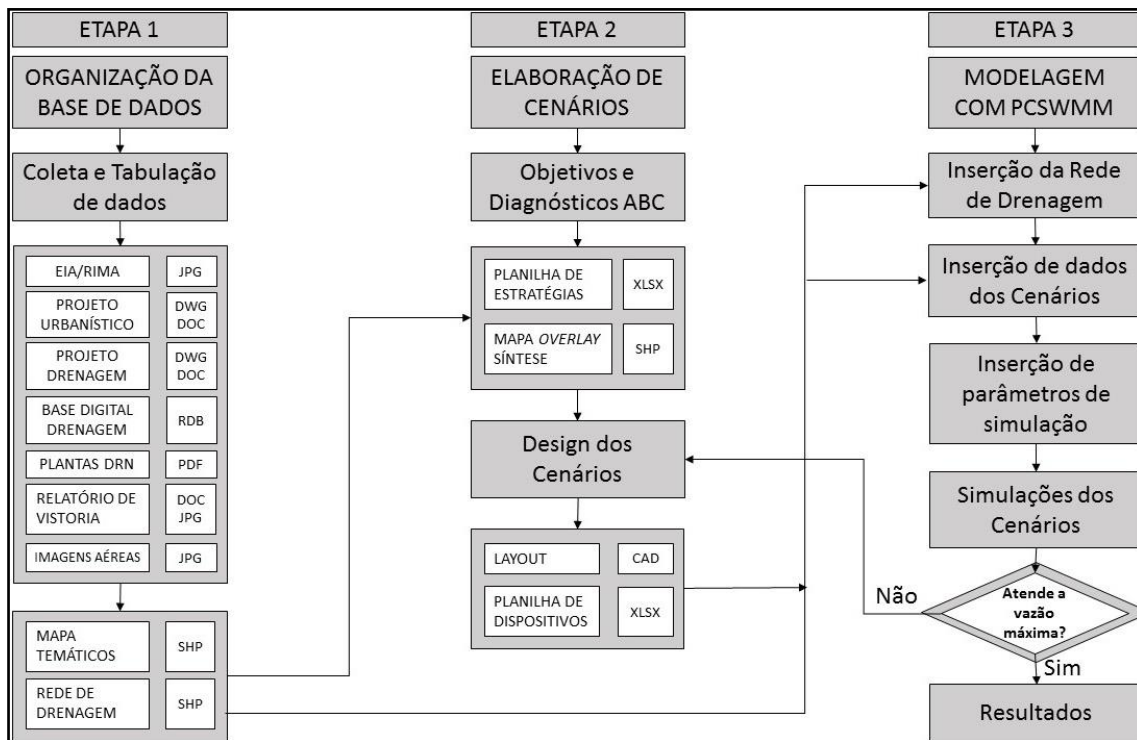


Figura 4.1: Quadro com a metodologia de pesquisa.

4.1. Descrição das atividades da Etapa 1

Esta etapa consistiu na organização da Base de Dados necessários para formular um diagnóstico local relacionado às características urbanas, ambientais e da infraestrutura de drenagem existente.

Dados ambientais

Os dados ambientais foram obtidos no Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal/IBRAM, por meio do arquivo do EIA/RIMA digitalizado (autoria da empresa Progea) e nos documentos do procedimento de licenciamento ambiental, contendo mapas e diagnósticos ambientais do meio físico e biótico, que contribuíram com os aspectos de restrições ambientais impostas à ocupação urbana, áreas indicadas à realocação populacional, à recuperação ambiental e à criação de espaços destinados a parques e com características ambientais locais específicas.

Por meio da análise dos dados obtidos com a elaboração de mapas temáticos e sua sobreposição (*overlay*) foi possível observar os locais mais adequados à implantação de dispositivos sustentáveis para amortecimento de vazão, nos quais fosse possível a formação de espaços multifuncionais para usufruto da população em parques recreativos. Nesse sentido, foram elaborados mapas temáticos de: (1) hidrografia e vegetação; (2) hipsometria; (3) declividade; e (4) pedologia, cuja sobreposição serviu para formular um mapa síntese de restrições ambientais, revelando os sítios disponíveis mais adequados. Com base em avaliação por imagem, a comparação de dados antigos com atuais, evidenciou áreas importantes para a recuperação e formação dos espaços abertos naturais interligados que formam a base das estratégias da Infraestrutura Verde. Este contexto sobreposto aos dados urbanísticos e da rede de drenagem possibilitaram a proposição de cenário para a modelagem e posteriores simulações.

Dados urbanísticos

As informações urbanísticas foram coletadas na Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal/CODHAB, consistindo nos arquivos do projeto urbanístico que trazem, além dos desenhos e parâmetros técnicos de dimensionamento nas plantas urbanísticas (URB), as caracterizações e justificativas que balizaram a aprovação do projeto (MDE), em harmonia com as condicionantes estabelecidas no âmbito do licenciamento ambiental corretivo. Complementarmente foram realizadas 3 vistorias na área, em 05/02/2019, 22/03/2019 e 06/06/2019, com o objetivo de avaliar as caracterís-

ticas da ocupação e, em especial das áreas consideradas adequadas à implantação de dispositivos multifuncionais voltados ao amortecimento de vazão.

Nesse sentido, a análise dos documentos obtidos e as vistorias convergiram para apontar a carência de equipamentos públicos e infraestrutura, o avanço da ocupação nas áreas sensíveis destinadas à formação de parques para a população que se encontram degradadas, servindo apenas de passagem para a população e deposição de lixo e entulhos.

Dados de Infraestrutura de drenagem

Uma parte dos dados de infraestrutura de drenagem foram obtidos na Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil/NOVACAP e na Secretaria de Obras do Distrito Federal, com a coleta de arquivos do projeto de drenagem do Trecho 3 do SHSN (Autoria da empresa Arkis Infraestrutura Urbana Ltda.) e seu Memorial Descritivo, e plantas de redes de drenagem antigas de Ceilândia tradicional digitalizadas. As demais informações foram obtidas na Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal/ADASA com os arquivos da base de dados de redes de drenagem do Distrito Federal.

Por meio da análise dos dados obtidos em cruzamento com os mapas temáticos ambientais, foram observadas algumas inadequações na localização dos dispositivos de armazenamento para amortecimento da vazão e na concentração de vazão em poucos pontos de lançamento. Da mesma forma, os dados de rede, sobretudo as cotas de nível de condutos e PV, foram avaliados na busca pela descentralização de dispositivos de amortecimento de vazão, buscando soluções nas áreas ambientalmente mais adequadas.

Outras fontes de consulta

Além da coleta de dados nas instituições do Governo do Distrito Federal/GDF, foram realizadas consultas aos dados urbanísticos e ambientais do Geoportal (<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/>), site oficial do GDF), de onde foram exportados shapes e imagens relacionados ao estudo.

Como produto desta etapa além do conteúdo textual, foram produzidos mapas temáticos pertinentes à análise necessária da próxima etapa e todos os dados da rede de drenagem foram trabalhados no programa ArcGis versão 10.3 com o propósito da modelagem no PCSWMM.

4.2. Descrição das atividades da Etapa 2

Esta etapa consistiu na Elaboração de Cenários que adotam elementos de Infraestrutura Verde voltados a soluções de amortecimento de vazão de lançamento nas áreas do entorno do Trecho 3, visando a criação de espaços multifuncionais que atendam a demandas da comunidade local e se constituam em soluções para reduzir impactos nos corpos hídricos receptores.

Objetivos e Diagnósticos ABC (abióticos, bióticos e culturais)

Seguindo a metodologia proposta neste trabalho no item 3.3, figura 3.12 (Ahern, 1995), foram estabelecidos os objetivos das estratégias de Infraestrutura Verde aplicadas à elaboração de cenário multifuncional nas áreas de parques do Trecho 3 do SHSN. Estes objetivos foram comparados com os padrões da paisagem encontrados, naturais e urbanos, para apontar o diagnóstico de compatibilidades e conflitos existentes entre os objetivos e a realidade local, resultando no mapa síntese temático (*overlay*) representativo como subsídio à decisão. Com base nisso, foi montada uma planilha composta por estratégias de elaboração do cenário de Infraestrutura Verde. Na sequência, os dispositivos para amortecimento foram desenhados nas áreas consideradas mais adequadas, no programa ArcGis. As medições de áreas desses dispositivos, obtidas pelo mesmo programa, foram inseridas e modeladas por sistema tabular no programa PCSWMM. O cenário atual era a própria rede projetada e em fase de implantação pelo GDF. Assim, os cenários a serem criados e comparados foram os seguintes:

- a. Cenário atual:** com dispositivos monofuncionais de retenção, atendendo à regulação vigente para a vazão máxima de lançamento no corpo hídrico;
- b. Cenário atual:** sem os dispositivos de retenção;
- c. Cenário de Infraestrutura Verde:** Proposta de anteprojeto onde se articulam os recursos naturais e paisagísticos da área estudada com as necessidades de amortecimento da drenagem e de criação de áreas verdes públicas para a população local. A proposta interliga os espaços abertos naturais com a criação de dispositivos multifuncionais de amortecimento que também atendem à regulação vigente no que se refere à vazão máxima de lançamento no corpo hídrico.

Os cenários são os principais produtos da etapa 2, tendo sido representados neste trabalho, cada qual pelo seu respectivo layout e pela planilha com os dados de dimensionamento dos dispositivos a serem modelados.

4.3. Descrição das atividades da Etapa 3

Esta etapa consistiu na realização de simulação computacional de três cenários no programa PCSWMM.

Inserção da rede de drenagem

A tabulação da rede de drenagem foi um dos produtos da etapa 1, composta pela inserção de dados da rede de drenagem atual no programa ArcGis. Na etapa 3, estes dados foram importados para o PCSWMM formando a base para a simulação do comportamento da rede nos cenários analisados. Trata-se das dimensões e cotas de nível dos condutos, cotas de nível dos PV e suas áreas de contribuição que, tabuladas no ArcGis e exportadas para o PCSWMM simularam o funcionamento da rede em eventos de chuva.

Inserção de dados dos Cenários

Os dados necessários para a modelagem dos cenários foram inseridos no PCSWMM, formando arquivos de projetos específicos nos quais os cenários foram simulados. No caso do cenário da Rede Projetada em implantação, a inserção da rede de drenagem incluiu as dimensões das bacias de detenção, conforme indicadas no projeto do GDF, com os dados de superfície do fundo e da lâmina d'água máxima, assim como da profundidade do dispositivo e as dimensões das entradas e saídas. No caso do cenário de Infraestrutura Verde, as dimensões dos dispositivos propostos (superfície de fundo, lâmina d'água máxima e profundidade) foram exportadas do ArcGis para o PCSWMM e os orifícios foram ajustados por tentativa e erro.

Inserção de parâmetros de simulação

Com os dados dos cenários inseridos, restava a inserção de parâmetros para o programa PCSWMM simular os eventos dentro das condições pretendidas tais como a escolha pelo método Soil Conservation Service/SCS, a adoção do CN de Fileni (2017) no uso e ocupação do solo, a curva IDF do PDDU para a chuva de projeto.

Simulação dos cenários

As simulações foram rodadas e os resultados obtidos, considerando o atendimento à vazão máxima de lançamento, estabelecida em regulação própria pela ADASA para corpos hídricos do DF. Os orifícios do cenário de Infraestrutura Verde foram ajustados para a obtenção do referido resultado sem extravasamento dos dispositivos.

5. ESTUDO DE CASO – SETOR HABITACIONAL SOL NASCENTE

TRECHO 3

Este item tem como objetivo caracterizar o Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente buscando os elementos necessários ao planejamento da Infraestrutura Verde e definição dos cenários para modelagem.

Breve Histórico da Ocupação

A área do Setor Habitacional Sol Nascente/SHSN, antes de ser assim denominada, era ocupada até a década de 90 com atividades agropecuárias com predominância de pequenas propriedades rurais como chácaras e pequenas fazendas. O ano de 1998 foi o marco temporal do surgimento dos primeiros parcelamentos do solo no SHSN, resultantes do fracionamento irregular dos terrenos existentes, localizados em Zona Rural conforme ordenamento territorial vigente.

Em pouco tempo, o parcelamento do solo cresceu pelos espaços disponíveis, entre Ceilândia Tradicional e as chamadas “Bordas da Ceilândia”, nas cabeceiras dos afluentes do Rio Melchior. Um grande número de pequenos lotes irregulares dominou a paisagem, lá permanecendo algumas chácaras sob forte pressão da grilagem de terras. Com o surgimento do Estatuto da Cidade (Lei Federal 10.257/2001), indicando instrumentos de promoção à Regularização Fundiária, inicia-se o movimento para mudança do cenário local. Em 2006, por exigência do procedimento de licenciamento ambiental¹², a empresa Progea Engenharia e Estudos Ambientais foi contratada para elaborar um Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto do Meio Ambiente (EIA/RIMA). O principal objetivo foi mapear os danos ambientais e elencar ações de recuperação de áreas degradadas, propondo cenários alternativos de ocupação para as Bordas de Ceilândia (Sol Nascente e Pôr do Sol).

Em 2008, a Lei Complementar nº 785 de 14 de novembro de 2008, no âmbito do DF, criou formalmente o SHSN considerando o setor como Zona Especial de Interesse Social/ZEIS, nos parâmetros estabelecidos no Estatuto da Cidade. Poucos meses depois, a Lei Complementar nº 803 de 25 de abril de 2009, materializada no PDOT/2009 estabeleceu os parâmetros urbanísticos para o uso e ocupação do solo da área. Com base nos subsídios do EIA/RIMA (PROGEA, 2006) e nas diretrizes urbanísticas do PDOT, a

¹² Procedimento exigido à atividade efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio, que dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), conforme Art. 3 da Resolução CONAMA 237/97.

Saint Germain Consultores Associados desenvolveu o Projeto integrado de Regularização Fundiária que envolve a elaboração de diversos produtos dentre os quais o Projeto Urbanístico e o Projeto de Drenagem Urbana. A elaboração dos projetos foi dividida em três trechos, chamados de Trecho 01, 02 e 03, e função da grande extensão territorial.

5.1. Caracterização da Área de Estudo

A seguir são apresentadas as características ambientais do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente.

5.1.1. Localização

O SHSN está localizado na Região Administrativa XXXII, RA Sol Nascente/Pôr do Sol, recentemente criada pela Lei nº 6.359 de 14 de agosto de 2019. Situado nos platôs formados pelos vales dos córregos afluentes do Rio Melchior, a região é conhecida como Bordas da Ceilândia em função da quebra de relevo abrupta na direção do Rio Melchior. Confronta-se com o perímetro urbano de Ceilândia Tradicional nos limites Norte, Nordeste, Leste e Sudeste; e com a zona rural no Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste, conforme figura 5.1.

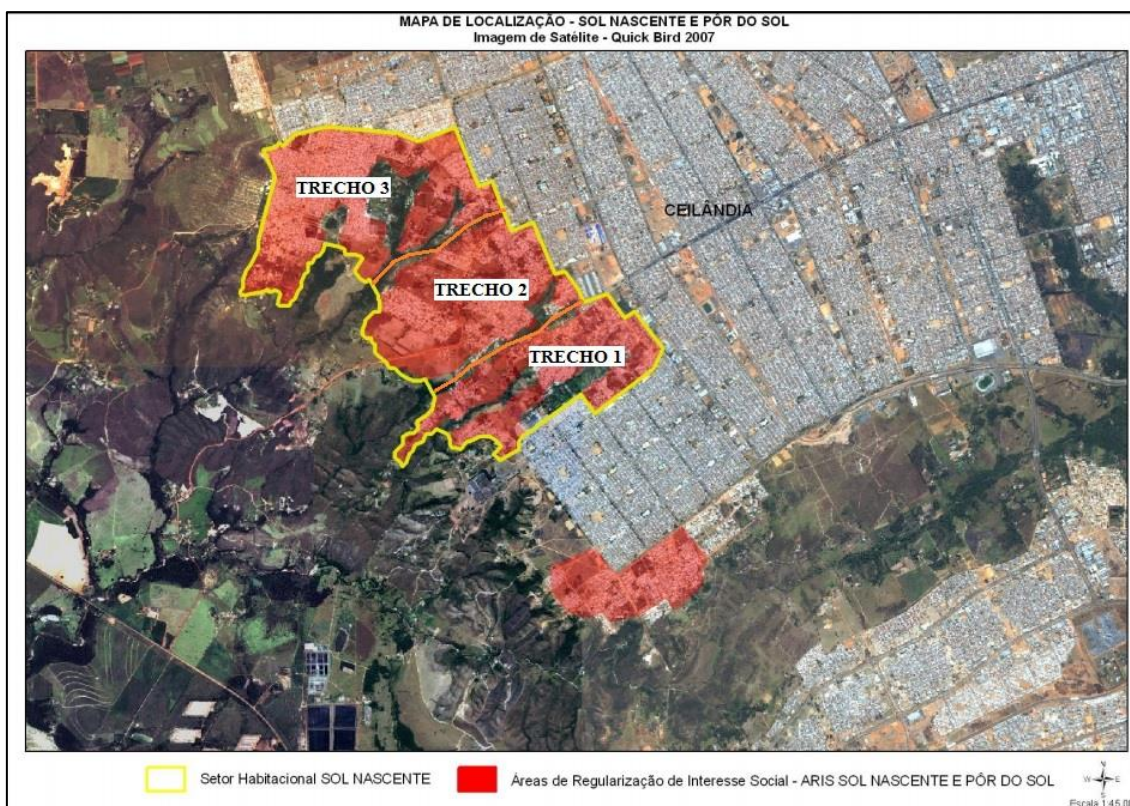


Figura 5.1: Localização do Setor Habitacional Sol Nascente. Fonte: CODHAB, 2013.

A área objeto do presente estudo de caso corresponde ao Trecho 3 do SHSN localizada entre o Córrego do Pasto e as QNR e QNP de Ceilândia. Segundo o Plano Diretor de Ordenamento Territorial/PDOT (2009) está inserida em Zona Urbana de Expansão e Qualificação nas bordas de área com topografia bastante acidentada, formando vales com trechos de *canyons*, em ambiente de sensibilidade e relevância ambiental. A poligonal do projeto de parcelamento do Trecho 3 possui 380,48 hectares, correspondendo a cerca de 40% de todo o setor (total de 940 ha). (CODHAB, 2013)



Figura 5.2: Localização do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente. Fonte: CODHAB, 2013.

5.1.2. Hidrografia e vegetação

A área do Trecho 3 do SHSN está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, na Unidade Hidrográfica do Rio Melchior. A área de estudo está localizada nas cabeceiras dos Córregos Capão da Lagoinha, do Pasto e Embira Branca, nas quais existe a ocorrência de nascentes e áreas com solo hidromórfico (Gleissolo) cujas Áreas de Preservação Permanente/APP estão ocupadas. O Córrego Capão da Lagoinha contribui para o Ribeirão Taguatinga que recebe as águas do Córrego Guariroba a jusante, formando o Rio Melchior, afluente do Rio Descoberto.

De acordo com o EIA/RIMA, a cobertura vegetal da área estudada guarda relação direta com a hidrografia, sendo esta um fator limitante para a expansão urbana. A

área urbana do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente teve praticamente toda a sua cobertura vegetal suprimida pela edificação e impermeabilização nos lotes. As faixas adjacentes às nascentes e aos córregos estão antropizadas e suas características de flora, fauna e de fluxo hídrico com relevante grau de perturbação. Na direção dos limites do parcelamento, quando aumenta a declividade das margens dos corpos hídricos, as manchas de vegetação de cerrado, matas de galeria e ciliares aumentam, assim como o fluxo hídrico e a presença de fauna.

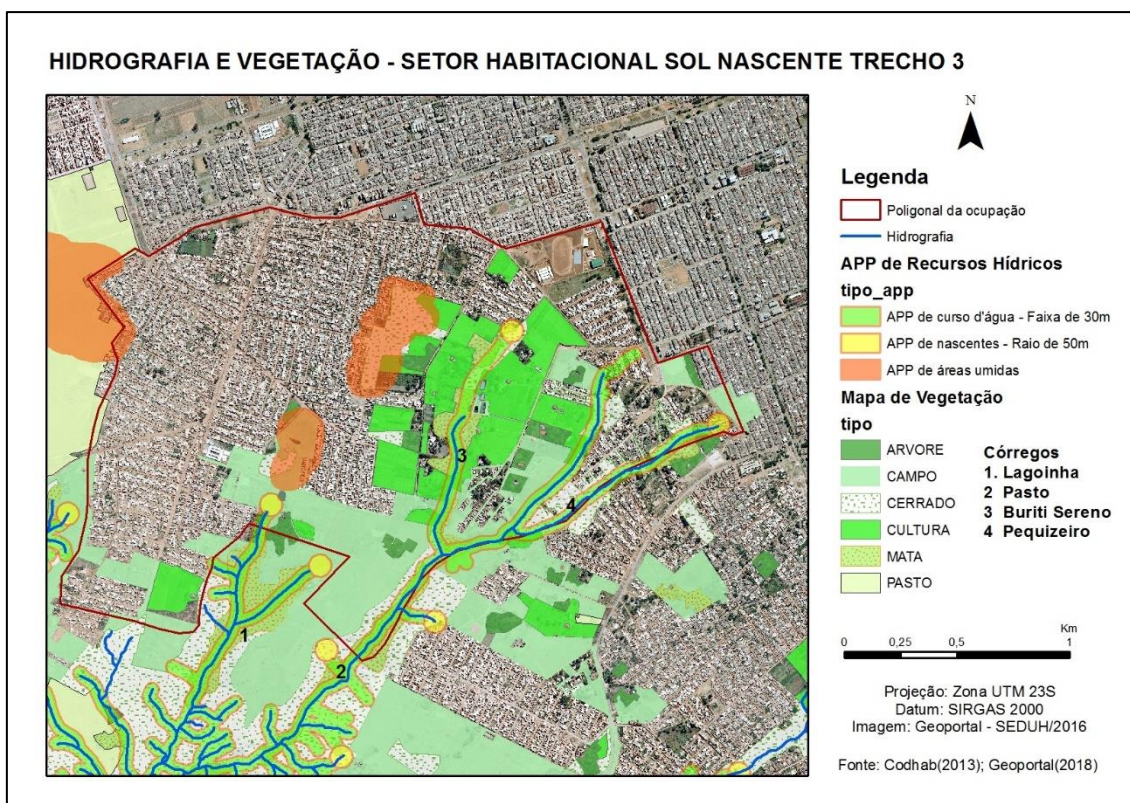


Figura 5.3: Mapa - Hidrografia e vegetação da área de estudo.

A figura 5.3 mostra as nascentes dos córregos Buriti Sereno e Pequizeiro em área antropizada. Estes córregos possuem remanescentes de suas matas ciliares e, na medida em que os leitos se dirige a jusante, formando o Córrego do Pasto, as faixas de matas ciliares, ainda com cerrado, passam a ser mais expressivas, algumas vezes mais largas que as APP. A oeste do Córrego do Pequizeiro existe um curso d'água intermitente e o Córrego Buriti Sereno em área de solo hidromórfico (gleissolo) onde existem remanescentes de atividade agropecuária em chácaras, que aos poucos estão sendo ocupadas por lotes urbanos. O córrego Capão da Lagoinha, que próximo ao limite do Trecho 3 é composto por mata de galeria densa e rica em fauna, teve sua ligação com a nascente e campos úmidos fragmentados (manchas na cor laranja), à montante, suprimi-

da devido à ocupação urbana. Entre o Córrego Capão da lagoinha e o do Pasto, ocorre um platô com vegetação de pastagem remanescente de atividades agropecuárias.

5.1.3. Topografia

O Trecho 3 do SHSN está localizado em uma região de chapada que se interliga aos vales do Rio Melchior. A declividade se acentua na direção sul quando passa a se caracterizar pela presença de ravinas de grande inclinação formando os córregos afluentes do Rio Melchior. Com base em curvas de nível a cada 5,0 metros foi gerado o MDE (modelo digital de elevação), que originou o mapa de hipsometria e declividade, conforme figuras 5.4 e 5.5.

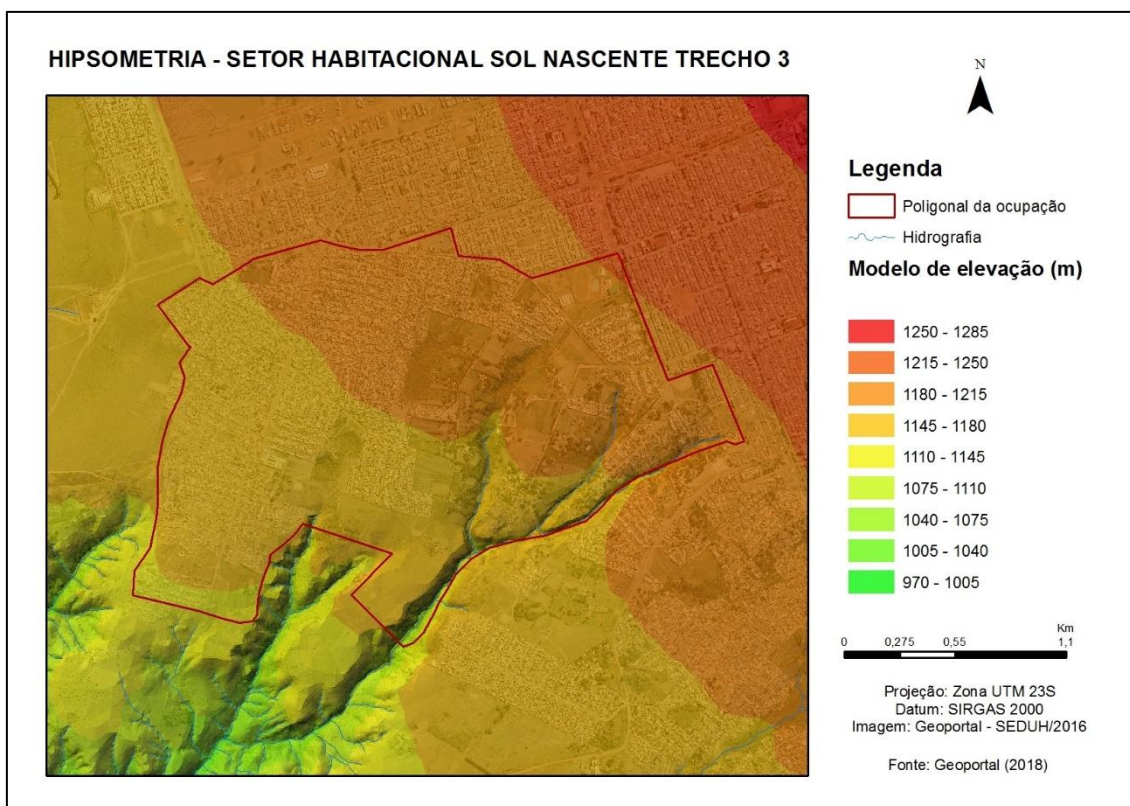


Figura 5.4: Hipsometria da área de estudo.

Na figura 5.4, é possível observar a área relativamente plana que se estende desde Ceilândia até grande parte do Trecho 3 do SHSN que se aproxima das bordas dos vales dos córregos, quando se apresenta uma ruptura de relevo acentuada. O mapa de declividade da figura 5.5 é coerente com os níveis altimétricos da figura anterior indicando uma declividade entre 0 e 5% na ocupação urbana e a mudança abrupta em poucos metros nas proximidades dos vales dos córregos do pasto e Capão da Lagoinha.

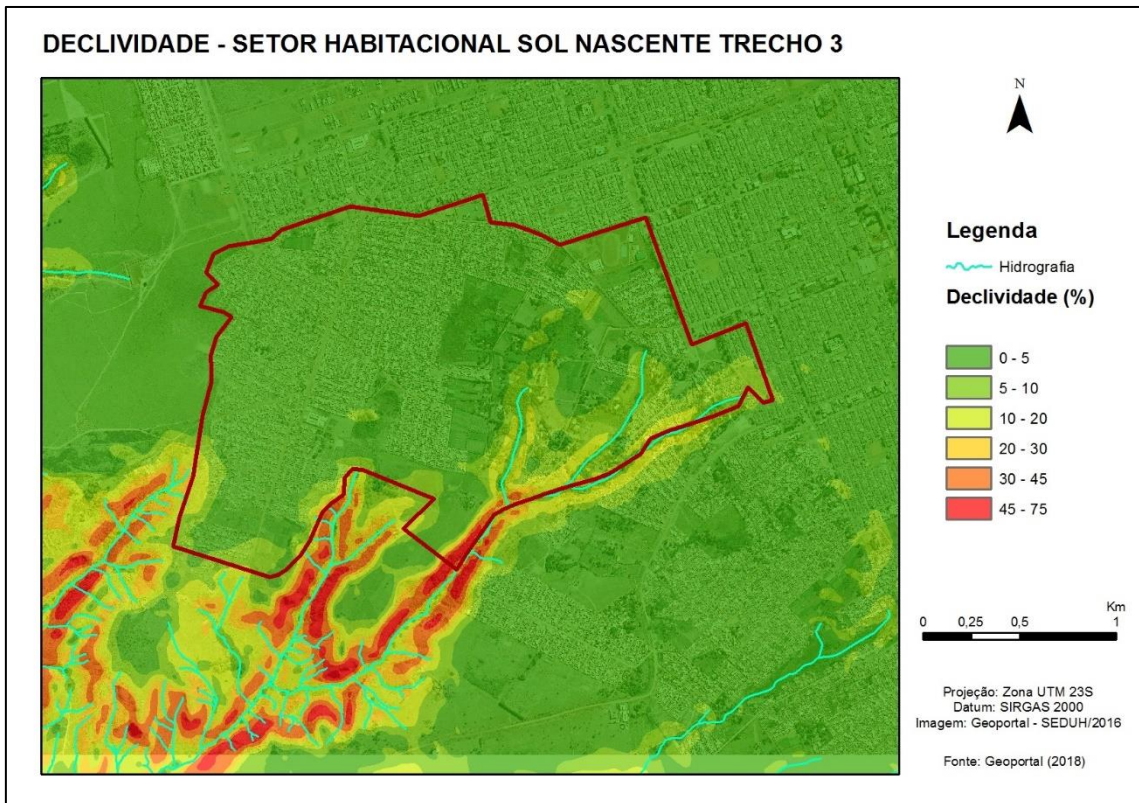


Figura 5.5: Declividade da área de estudo.

Em função desta característica, o EIA/RIMA indicou a necessidade de se proteger as bordas da ruptura do relevo com uma faixa de 100 metros, no cenário que foi aprovado pelo procedimento de licenciamento ambiental, na forma como indica a figura 5.6 abaixo, extraída do próprio documento.

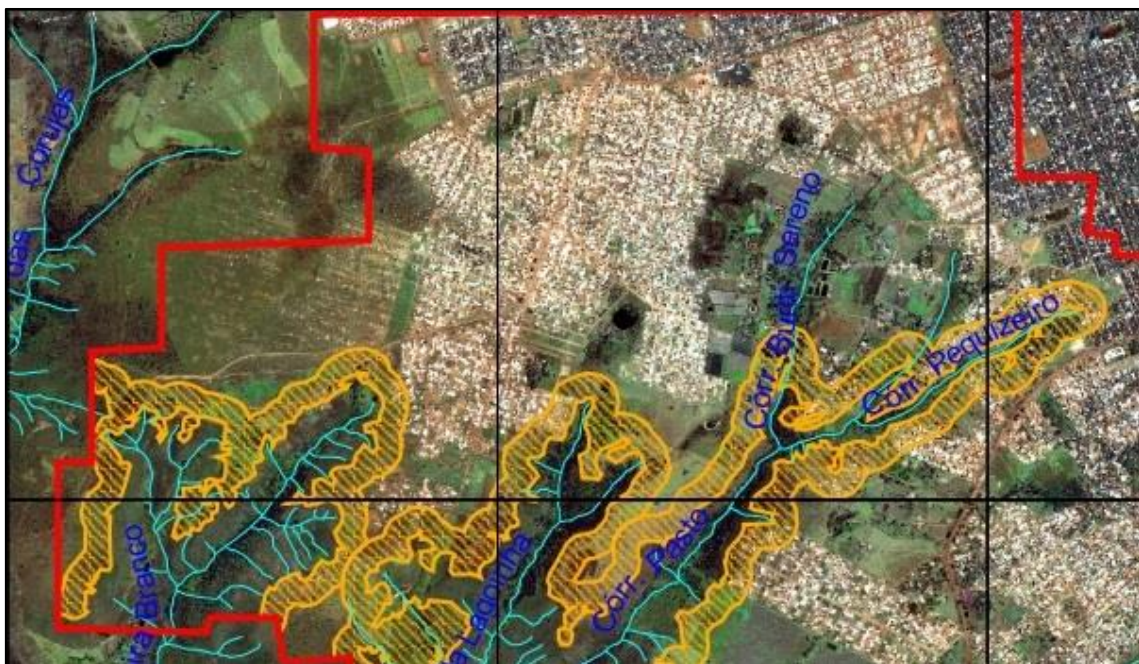


Figura 5.6: Faixa hachurada na cor laranja representa a adoção de restrição de ocupação e realocação das moradias.
Fonte: EIA/RIMA, Progea (2006).

5.1.4. Pedologia

O levantamento pedológico realizado pela Progea (2006), conforme a figura 5.7, durante a elaboração do diagnóstico do EIA/RIMA, revelou que a maior parte da área ocupada está sobre latossolo vermelho-amarelo que é um solo não hidromórfico, tendendo a ser poroso e bem drenado e que ocorre na região de chapada do Trecho 3. Apesar disso, tem sua superfície antropizada pela impermeabilização da ocupação urbana em quase sua totalidade, tendendo a 100% de impermeabilização.

Nas áreas próximas às nascentes dos córregos, onde se localizam as chácaras com produção agrícola e algumas bordas da malha urbana há ocorrência de solo hidromórfico. Tais áreas foram destinadas à continuidade de prática de culturas agrícolas, onde havia essa atividade e à realocação de moradias que estavam sobre este tipo de solo, posterior execução de PRAD com nova destinação da área para parques. Próximo à ruptura de relevo e nas escarpas lindeiras aos córregos ocorre o cambissolo, com horizonte de até 30 cm, em área com restrição pela ruptura de relevo.

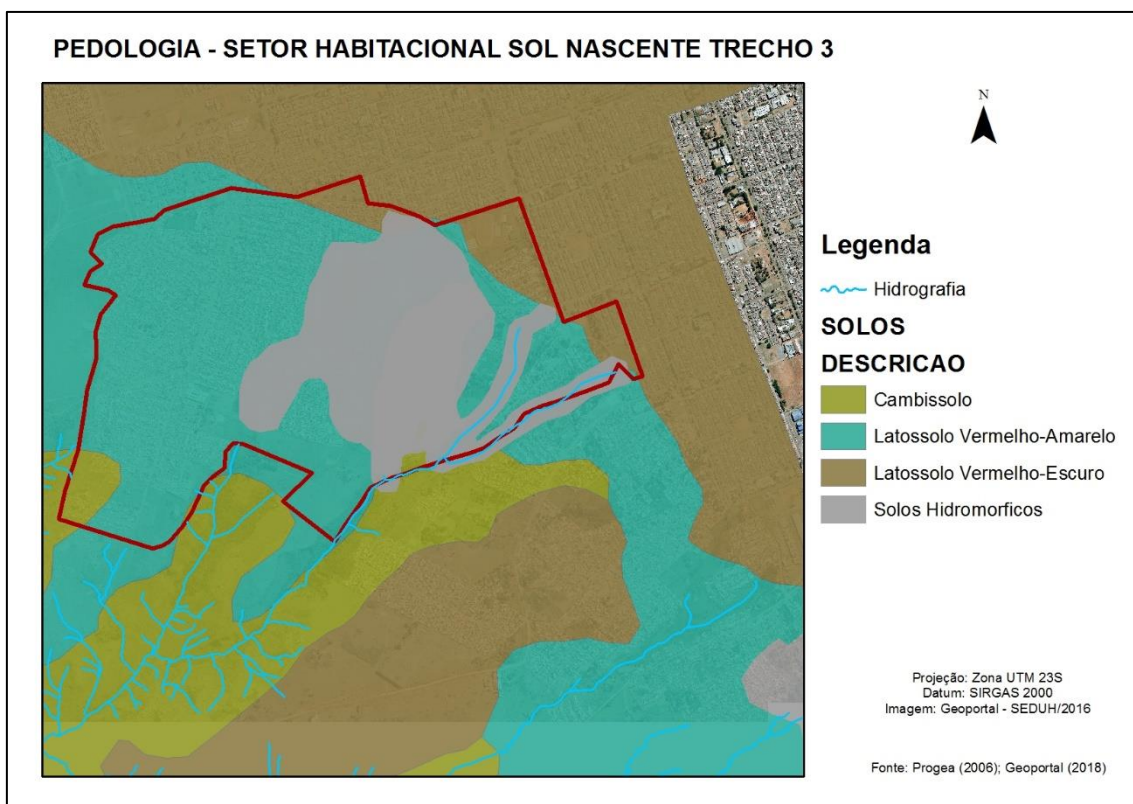


Figura 5.7: Pedologia da área de estudo.

5.1.5. Síntese das restrições ambientais do EIA/RIMA

Com base na caracterização dos itens anteriores, o enfoque foi centrado nos impactos ambientais causados pela implantação e àqueles oriundos das atividades da ocupação ao longo dos anos, mapeando as restrições ambientais e as ações para mitigar os danos e recuperar as áreas com a realização de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas/PRAD. Nesse sentido, as ocupações em APP não são passíveis de regularização, pois a elaboração aconteceu ainda no âmbito do antigo Código Florestal (Lei Federal n.º 4.771/65), vigente à época. Com isso, estas foram consideradas como áreas para desocupação e realocação da população ocupante, elaboração e execução de PRAD:

- (1) faixa ao longo dos cursos d'água (30 m) e das nascentes/veredas (50 m);
- (2) área no topo dos morros com declividade superior a 45° e nas bordas de chapadas (100 m), atendidos os critérios e parâmetros estabelecidos na Resolução Conama n.º 303 de 20 de março de 2002 que regulamentou o Código Florestal.

A proposta de criação de 5 Parques nessas APP teve o objetivo de conservar/preservar, recuperar e oferecer lazer em meio natural à população, conforme indica a figura 5.8, definindo a **poligonal a ser regularizada**, para isso também considerada a APP nas rupturas de relevo. No âmbito deste trabalho, estas áreas serão utilizadas para compatibilizar a drenagem com espaços multifuncionais para a população.

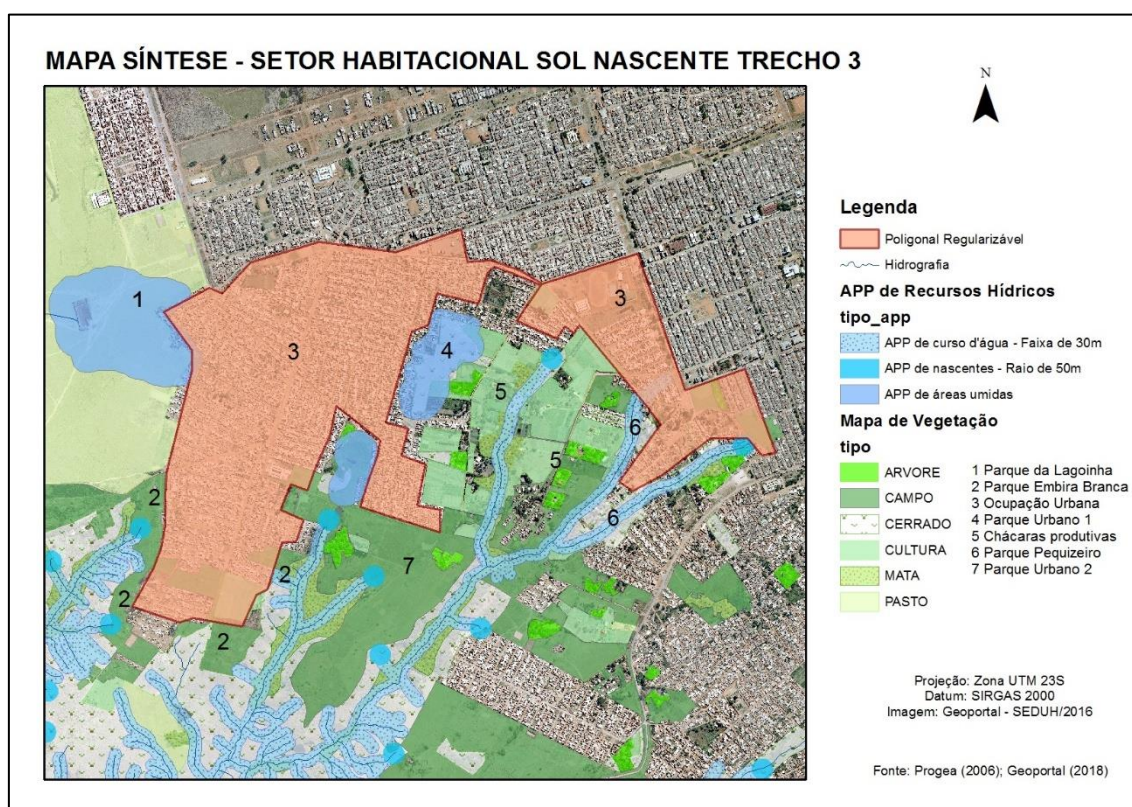


Figura 5.8: Mapa Síntese da área de estudo, indicando a Poligonal de Regularização.

5.2. Dados do Projeto Urbanístico

O Projeto Urbanístico do Trecho 3, obtido na CODHAB em meio digital, faz parte do Projeto Integrado de Regularização do Setor Habitacional Sol Nascente e é composto basicamente pela Planta Urbanística URB-RP 092/10 e pelo Memorial Descritivo MDE-RP 092/10. A área total da poligonal é de 380,4802 hectares, com a população total estimada em 23.085 habitantes e densidade é de 60,67 habitantes por hectare, dentro do limite estabelecido para média densidade no PDOT/2009. Segundo o memorial do projeto urbanístico (Saint Germain, 2009), considerando as ações de regularização, os lotes do Trecho 3 ficam definidos como:

Tabela 5.1: Quadro de lotes do Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente

Quantitativo de Lotes	
Uso do Solo	Lotes a serem regularizados
Residencial (Habitação Unifamiliar) - R 5601	5601
Misto (Habitação Unifamiliar, Comercial e Prestação de bens e serviços) - M	411
Comercial - C	14
Coletivo ou Institucional - I	3
Equipamento Público Comunitário - EPC	25
Equipamento Público Urbano - EPU	3
Equipamento Privado - EPR	1
Espaço Livre de Uso Público - ELUP	4
Chácaras Produtivas	27
Comercial, Industrial e Institucional - CII	1
Templo Religioso e Assistência Social – T/AS	3
Total	6093

Fonte: MDE/RP 092/10 - CODHAB (Germain, 2009)

A distribuição de Equipamentos Públicos Comunitários/EPC, devido à falta de espaços disponíveis para melhor alocação, tem distâncias que dificultam seu usufruto por parte considerável da população. As áreas dos 2 parques urbanos e dos 3 lineares são propostas para desenvolvimento futuro, conforme ilustra a figura 5.9. Segundo o EIA/RIMA, os parques “foram propostos para colaborar no suprimento de espaços voltados para prática de esporte e lazer, contribuindo para elevação da qualidade de vida da população local”. Na Tabela 5.2, as áreas para parques são descritas em função de suas características.

Tabela 5.2: Áreas para Parques no Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente

PARQUES	ÁREA NON AEDIFICANDI (M²)	ÁREA ÚTIL (M²)	ÁREA TOTAL (M²)	SITUAÇÃO FÁTICA	PEDOLOGIA/ FITOFISIONOMIAS
1. Parque da Lagoinha	-	58.510,04	58.510,04	Ocupação total	-
2. Parque Urbano 1	4.256,99	290.630,03	294.887,02	Ocupação parcial	Gleissolo APP Vereda
3. Parque Linear Pequizeiro	245.520,10	186.801,96	432.322,06	Ocupação parcial	Gleissolo/Latossolo APP Mata Ciliar
4. Parque Urbano 2	-	300.510,41	300.510,41	Ocupação parcial	Cambissolo/Gleissolo/Latossolo Campos/APP Vereda
5. Parque Linear Embira Branco	7.189,77	144.283,67	151.473,44	Ocupação parcial	Cambissolo/Latossolo Diversas Fitofisionomias

Fonte: MDE/RP 092/10 - CODHAB (Germain, 2009). Adaptado.

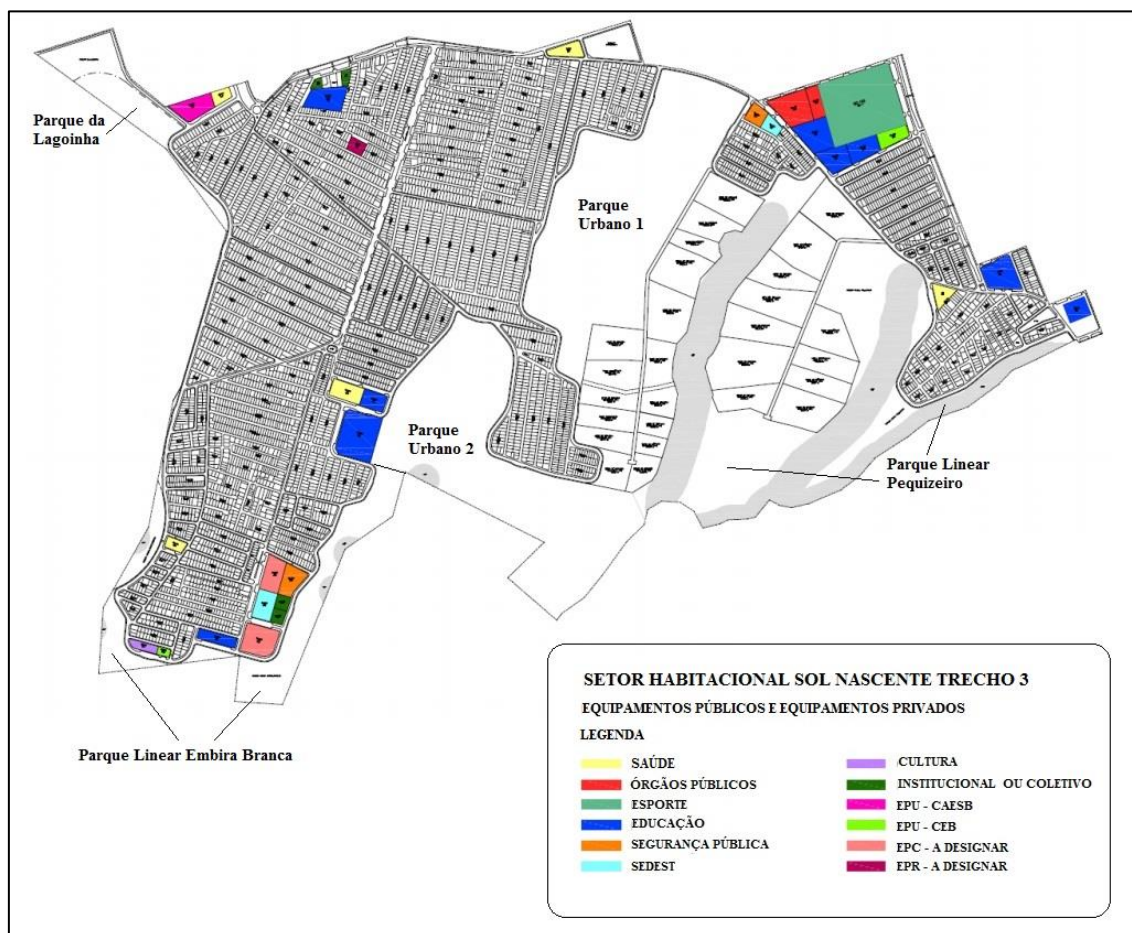


Figura 5.9: Distribuição de equipamentos públicos e parques. Fonte: MDE/RP 092/10 - CODHAB (Germain, 2009)

Contexto da impermeabilização no uso do solo

Em Ceilândia Tradicional, como na figura 5.10, as calçadas são reduzidas para dar espaço à circulação de veículos, ainda pequeno se considerado o provável estacionamento paralelo aos lotes. A maior parte das garagens estão localizadas nos afastamentos frontais e suas coberturas têm os beirais extrapolando os limites dos lotes, com caimento de águas pluviais direto para a rua. Observando as vias locais do Trecho 3 do SHSN, como mostra a figura 5.11, percebe-se que a largura dos logradouros públicos ainda menor, o que levou à adoção de caixa de via compartilhada entre pedestres e veículos, isto é, sem calçadas, no projeto de pavimentação e drenagem.



Figura 5.10: Rua na QNP 15 de Ceilândia Tradicional, Região do Barril, contida em área de contribuição envolvida nos lançamentos da ARIS Sol Nascente. Fonte: Imagem do Google Earth, Street View, editada (2019).



Figura 5.11: Rua do Trecho 3 com dimensões de logradouro público inferiores às normas viárias do DF e, em muitos casos, não haverá separação entre calçada e faixa de rolamento por falta de espaço. Fonte: Acervo do autor (2019).

O grau de impermeabilização predominante no interior dos lotes na Ceilândia Tradicional (figura 5.12) chega aos 100%. Se compararmos com a situação da ARIS, na figura 5.13, percebe-se que a tendência à impermeabilização completa do lote é semelhante, com alguns indivíduos arbóreos envolvidos por piso impermeável. Em ambas as fotos, os lotes têm área aproximada de 200,00 m², com tipologias de ocupação semelhantes. Infere-se que as duas situações tem relação com o tempo de ocupação, durante o qual, os moradores ampliam suas áreas impermeáveis, substituindo praticamente toda a vegetação por edificações e áreas cobertas ou calçadas, impermeáveis, no interior dos lotes, em função da pouca área disponível para construção.



Figura 5.12: Rua na QNP 15 de Ceilândia Tradicional com dimensões de logradouro inferiores às normas do DF, com características de ocupação dos lotes consolidada em 100% de impermeabilização. Fonte: Imagem do Google Earth.



Figura 5.13: Rua do Trecho 3 da ARIS Sol Nascente com dimensões de logradouro inferiores às normas do DF, com características de ocupação dos lotes que tendem a 100% de impermeabilização. Fonte: Imagem do Google Earth.

A infraestrutura básica e os equipamentos públicos estão sendo implantados aos poucos pelas ações de governo que, ainda que sejam lentas e fragmentadas, trazem benefícios socioambientais cumulativos. No entanto, percebe-se a ausência de áreas para lazer onde possam ser alocados Ponto de Encontro Comunitário/PEC, quadras esportivas e ciclovias, sobretudo em áreas de parques ou jardins, conforme indica a figura 5.14, que mostra a percepção dos moradores da ARIS contida na pesquisa realizada pela Codeplan no PDAD 2018, na qual a população demonstra não haver áreas de lazer e esporte, apesar de tantas áreas destinadas a parques. Na figura também é possível verificar a diferença do SHSN para a área de Ceilândia Tradicional, onde de 52,1 a 73,7% dos moradores declararam-se atendidos por parques, jardins, ciclovias, PECs e quadras de esporte.

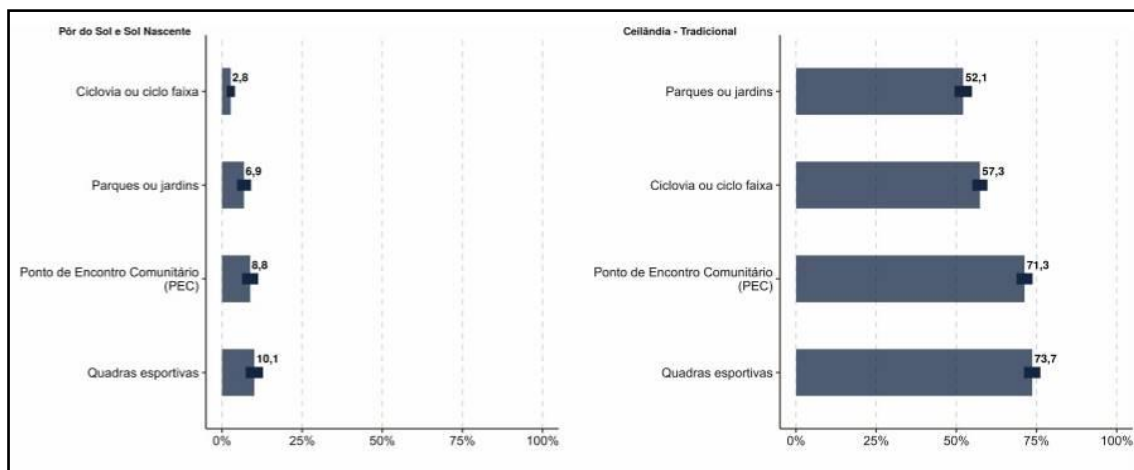


Figura 5.14: Percepção da população sobre o atendimento de infraestrutura relacionada a lazer, esporte e meio ambiente em Ceilândia Tradicional e nas ARIS Sol Nascente e Pôr do Sol. Fonte: CODEPLAN/PDAD (2018).

5.3. Dados do Projeto de Drenagem

O projeto de drenagem, elaborado pela empresa Arkis em 2017, e em estágio de execução de obras, define o trajeto e as características dos componentes: (1) cotas dos poços de visita (PVs); (2) delimitação das áreas de contribuição dos PVs e (3) dimensões e cotas dos condutos. A área total atendida pela rede estudada é de 491,99 hectares, divididas em 3 sub-bacias englobando do Trecho 3 do SHSN e 2 sub-bacias de Ceilândia Tradicional. As redes estudadas possuem 1.063 PVs, 1.066 condutos e 996 áreas de contribuição. A sub-bacia 1 tem suas contribuições lançadas em um sistema de 4 bacias de retenção em série com capacidade total de 52.416,00 m³ e a sub-bacia 2 em um sistema de 3 bacias em série com capacidade total de 56.286,00 m³, ambos lançando o efluente no Córrego Capão da Lagoinha em pontos diferentes com o objetivo de amortecimento da vazão de pico, conforme figura 5.15. A sub-bacia 3 não necessitou de dispositivos de retenção.

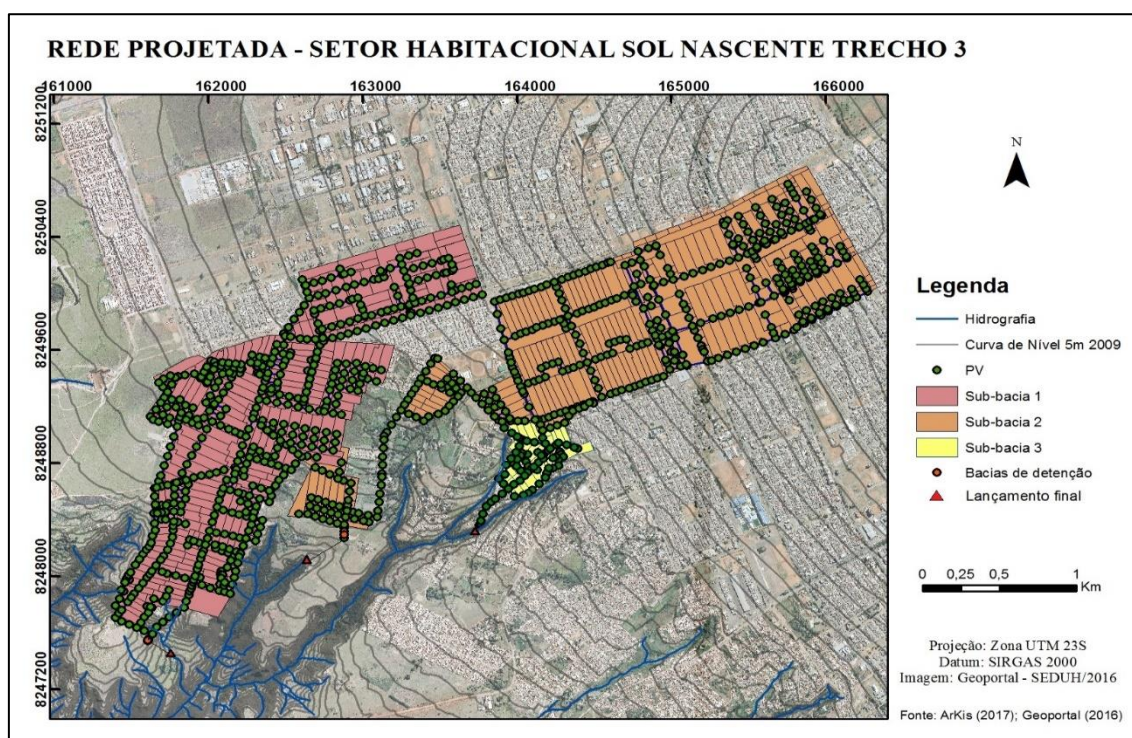


Figura 5.15: Rede de drenagem para o Trecho 3 do Setor Habitacional Sol Nascente.

Os desenhos do projeto das redes de drenagem foram exportados diretamente para o ArcGis e os dados técnicos de dimensões e cotas de nível de condutos e PV incorporados manualmente formando Tabela de Atributos (*Attribute Table*), para posterior exportação ao PCSWMM. Cabe ressaltar que os dados de Ceilândia importados da base de redes de drenagem da ADASA tinham inconsistências que foram sanadas com informações de plantas de drenagem digitalizadas do cadastro da NOVACAP.

6. ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS

Este item tem como objetivo caracterizar os cenários que serão modelados para a simulação e comparação dos resultados com o objetivo de avaliar o funcionamento e a contribuição da Infraestrutura Verde para soluções de drenagem de menor impacto sobre os recursos hídricos em áreas urbanas com elevado grau de ocupação do solo, ao tempo em que contribui com benefícios relacionados ao meio ambiente e à população.

Nesse sentido, foram escolhidos três cenários que se diferenciam pela técnica empregada no lançamento do efluente de drenagem nos corpos hídricos locais. São eles: (1) Cenário da rede já projetada para o Trecho 3 do SHSN (em execução) sem os dispositivos de amortecimento previstos (item 6.1); (2) Cenário da mesma rede projetada completa, com as bacias de retenção previstas (item 6.1); e (3) Cenário elaborado neste trabalho com base no referencial do planejamento da infraestrutura verde (Item 6.2).

Tabela 6.1: Características dos cenários avaliados

Elaboração de Cenários			
	Cenário convencional (Item 6.1.1)	Cenário com bacias de retenção (Item 6.1.1)	Cenário de Infraestrutura Verde (Item 6.1.2)
Vazão de lançamento	Sem amortecimento	Obedecendo à regulação vigente*	
Características geral de projeto	Sem dispositivo de amortecimento para a vazão de lançamento	Dispositivos de retenção unifuncionais	Dispositivos de retenção em contexto paisagístico e ecológico

* contexto a ser explicado na entrada de dados para simulação.

A definição das entradas de cada cenário visando às simulações no PCSWMM estão tabuladas em item específico (item 6.3).

6.1.1. Cenários da rede projetada em execução

Os cenários da rede projetada, atualmente em execução no Trecho 3 do SHSN, utilizam as camadas importadas dos projetos das áreas envolvidas (PVs, Condutos, Áreas de Contribuição) e seus dados. O **cenário com bacias de retenção** é o projeto completo, e o outro, cenário é o projeto de drenagem em obra, sem o **amortecimento das bacias de retenção**. Nesse sentido, será possível avaliar a contribuição dos reservatórios de retenção no amortecimento da vazão de pico.

A rede está dividida em 3 Sub-bacias (L1, L2 e L3), conforme mostra a figura 6.1. A Sub-bacia L3 em função de atender a pequena área da ocupação, não teve bacia de retenção, tendo lançamento direto no Córrego Pequizeiro. A Sub-bacia L1 engloba 32% de Ceilândia Tradicional e 68% de sua área de contribuição no Trecho 3 do SHSN, ocupando área que se estende por mais de 2 quilômetros ao sul das QNP/QNQ, ao longo dos quais, a declividade aumenta progressivamente até as bacias de retenção. Como pode ser visto na figura 6.1, a rede que compõe a sub-bacia **L1**, com área de 230,65 hectares, concentra a vazão no único ponto escolhido para lançamento, em afluente do Córrego Capão da Lagoinha, ao sul da ocupação, com declividade variando entre 10 e 20%, onde estão localizadas 4 bacias de retenção, num volume total de 52.416,00 m³. A Sub-bacia **L2**, com 243,60 hectares, abrange apenas 14% do Trecho 3 do SHSN e 86% de Ceilândia, com 3 bacias de retenção localizadas na área destinada ao Parque Urbano 2 com declividade entre 0 e 5%, num volume total de 56.286,00 m³.

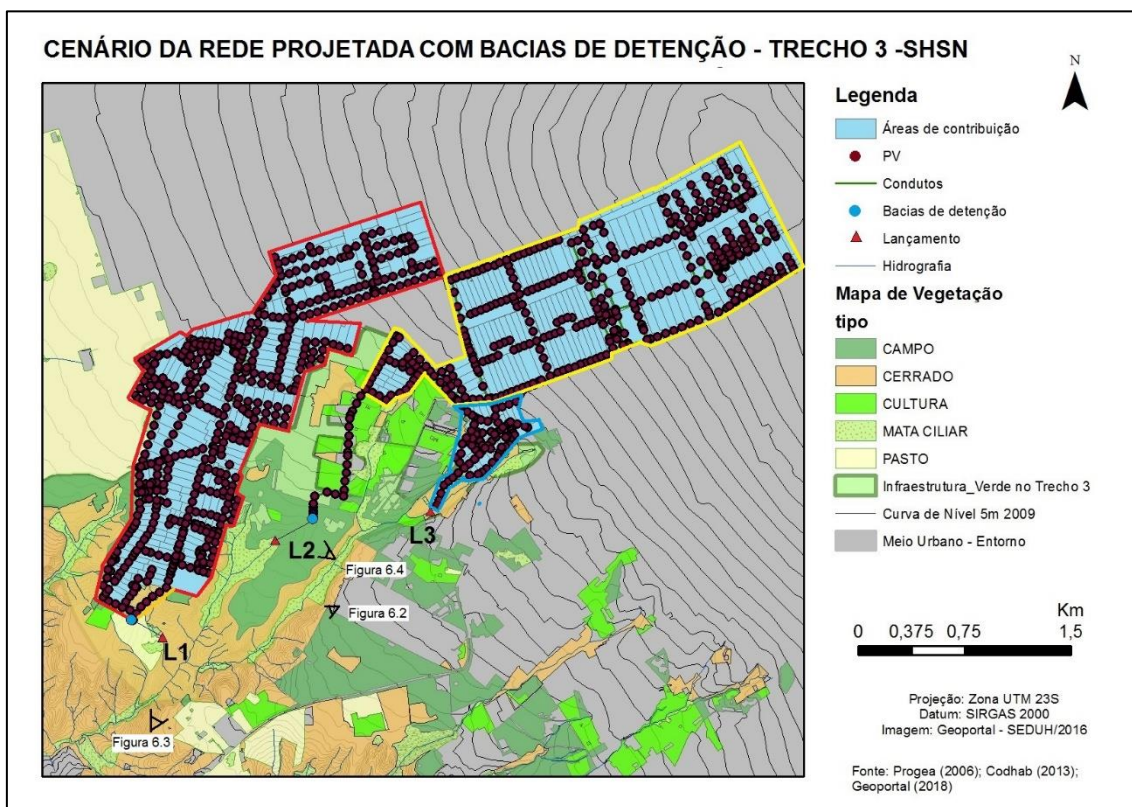


Figura 6.1: Ilustração representativa dos Cenários da Rede Projetada no PCSWMM.



Figura 6.2: Área das 4 bacias de retenção da Sub-bacia L1. Vista do Trecho 2 do SHSN. Declividade entre 10 e 20%.



Figura 6.3: Lançamento da Sub-bacia L1, com as 4 bacias de retenção à esquerda (figura 6.2), ambiente sensível com declividade entre 10 e 20%. Ao fundo e à direita o local da figura 6.4, onde estão localizadas as bacias de retenção da Sub-bacia L2. Fonte: Imagem do Google Earth editada de 24/05/2019.



Figura 6.4: Área entre as 3 bacias de retenção da Sub-bacia L2. Declividade entre 0 e 5%. Ao fundo à direita o Trecho 3 do SHSN. A árvore que se sobressai ao centro da fotografia, marca o início do leito do Córrego Capão da Lagoinha que segue com mata de galeria daquele ponto para a esquerda.

O contexto do lançamento da sub-bacia L1, em área de cambissolo, retratado nas figuras 6.2 e 6.3, mostra grande movimentação de terra devido à declividade e ao tamanho das bacias de retenção. Nesse sentido, este trabalho propôs, no cenário da Infraestrutura Verde (item 6.2), a repartição da Sub-bacia L1 em 3 áreas de contribuição com

pontos de lançamento diferentes para diminuir o tamanho de dispositivos de detenção em área de declive mais acentuado, o que será visto no item seguinte.

6.1.2. Elaboração do Cenário de Infraestrutura Verde

Seguindo a metodologia proposta por Ahern (2007), foram identificados objetivos referentes a necessidades de recuperação e preservação dos recursos ambientais e a necessidades da população que poderiam ser atendidas no entorno da ocupação urbana do Trecho 3, nas áreas destinadas a parques, onde serão localizados os dispositivos de amortecimento de vazão de lançamento nos corpos hídricos.

Tabela 6.2: Estratégias para o cenário de infraestrutura verde.

	Objetivos	Conflitos	Estratégias
Abióticos	Controle de erosão nas rupturas de relevo e de assoreamento nos corpos hídricos.	Ausência de rede de drenagem* causam erosão por ravinas e por lâminas, levando ao assoreamento dos córregos.	Implantação de mobiliários urbanos na efetivação das áreas destinadas a parques como proteção e recuperação de áreas sensíveis.
	Amenização da temperatura do ar	Elevada impermeabilização e pouca cobertura vegetal tornam a ocupação urbana uma “ilha de calor”.	Aumento da arborização e cobertura vegetal no solo das áreas de parques. Estímulo ao plantio de árvores no interior dos lotes e nas ruas por meio da educação ambiental.
	Evitar enxurradas do acúmulo do escoamento superficial das águas pluviais	Acúmulo de escoamento superficial vindo de Ceilândia e ausência de rede* no Trecho 3 tornam o local caminho de enxurradas.	Implantação de sistema de drenagem sustentável adequado.
	Limite à expansão fundiária	Áreas ambientalmente sensíveis, apesar de riscos socioambientais, são invadidas com objetivos imobiliários.	Implantação dos parques e apropriação dos mobiliários e espaços pela comunidade.
Bióticos	Recuperação de nascentes e processos ecológicos	Parte delas tem modificações no fluxo natural e APP ocupada.	Desfragmentação dos ecossistemas no interior dos parques, por meio de Recuperação de Áreas Degradadas/PRAD, restabelecendo o fluxo hídrico e recuperando a flora local.
	Recuperação de vereda e processos ecológicos	Ocupação na APP, fluxo hídrico desviado, modificações no solo.	
	Restabelecimento de habitat p/flora e fauna	Fragmentação impede o fluxo migratório das espécies.	
	Conservação da capacidade de autodepuração dos córregos	Ausência de sistema de drenagem* adequado. Poluição difusa oriunda da ocupação urbana e da relação com fragilidade dos serviços de limpeza urbana.	Criação de sistema de amortecimento.
Culturais	Recreação gratuita	Ausência de espaços públicos adequados, com mobiliário urbano que promovam convívio, práticas de exercícios e contemplação da natureza, nos quais o poder público possa atuar com programas socioambientais.	Implantação dos parques com instalação de mobiliário urbano adequado para as atividades voltadas tanto aos benefícios sociais como à conservação da estrutura ecológica dos espaços naturais.
	Saúde preventiva		
	Integração social		
	Educação ambiental		

* Redes de drenagem pluvial estão em execução. Fonte: Produção do autor com base em Ahern (1995, 2007)

Objetivos e Diagnósticos ABC (Abióticos, Bióticos e Culturais)

As estratégias a serem adotadas para superar os conflitos estão representadas na Tabela 6.2, considerando os componentes abiótico, biótico e cultural. De forma geral, a tabela 6.2 reúne as estratégias que fundamentam os benefícios da abordagem da Infraestrutura Verde. Foram identificados os Hubs a serem conservados e interligados, assim como aqueles que necessitam de recuperação (Hubs potenciais). Segundo o EIA/RIMA, a fauna presente é representada na área por avifauna, mastofauna de pequeno porte e herpetofauna, com destaque para os pássaros, rãs e sapos não havendo a ocorrência de indivíduos de espécies que possam representar aumento de riscos à população e, em função disso, as ligações propostas são favoráveis.

A seguir, as ações propostas na figura 6.5 para a formação do cenário:

Identificação dos Hubs e links

- Formação do Hub “Cabeceiras do Capão da Lagoinha”: corresponde a interligação entre a nascente ao norte (divisa com Ceilândia) com a área prevista para o parque urbano 1 (letra “C” na figura 6.5) e a área reservada ao parque urbano 2 (letra “D” na figura 6.5), a área de culturas agrícolas e o parque linear Pequizeiro. Para tanto, foi proposta a desconstituição e realocação das moradias¹³ na área da hachura vermelha (solo hidromórfico), possibilitando a desfragmentação da vereda;
- Conservação da interligação da mata de galeria nativa das nascentes do Córregos Embira Branca ao Córrego Capão da Lagoinha, limitando a expansão urbana;
- Interligação da área úmida (cabeceira do Córrego Guariroba) a noroeste do Trecho 3 com as nascentes do Córrego Embira Branca.

¹³ A Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal/CODHAB é o órgão do Governo do Distrito Federal responsável pela realocação de população em áreas de risco socioambiental.

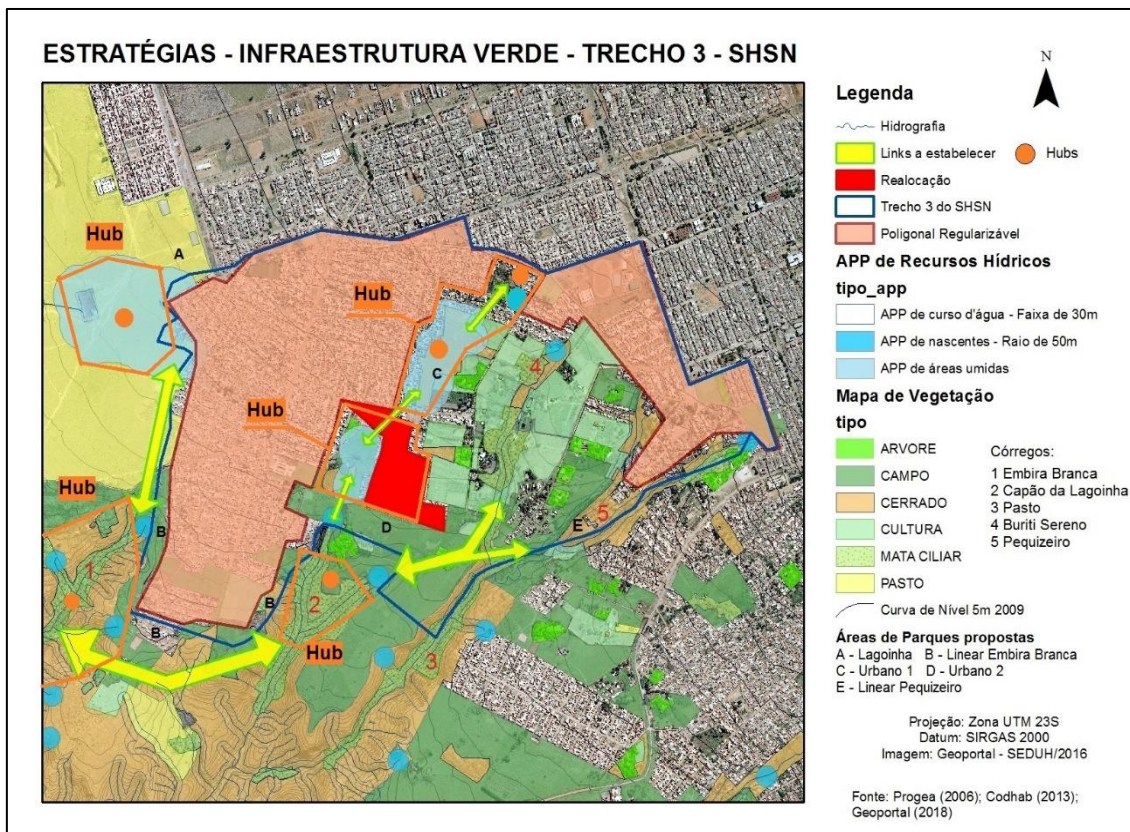


Figura 6.5: Estratégias para o cenário da infraestrutura verde no interior do Trecho 3.

Implantação de parque(s)

- A área indicada na figura 6.6 é proposta neste trabalho para a criação de uma Unidade de Conservação ou um parque urbano;
- Formação de espaços contínuos, contendo os hubs e links, com características multifuncionais nos quais as estratégias (ABC), traçadas na Tabela 10, sejam abrangidas no contexto do planejamento ecológico da paisagem;
- Os espaços naturais propostos estão interligados às áreas naturais na zona rural adjacente (figura 6.6), por meio da hidrografia e vegetação incluindo a ligação com a Área de Relevante Interesse Ecológico Juscelino Kubistchek. As ligações com as áreas urbanas de Ceilândia existem, mas dependem de ações de requalificação nestas áreas que, em função das poucas oportunidades de espaço, tendem à formação de arborização nas ruas.

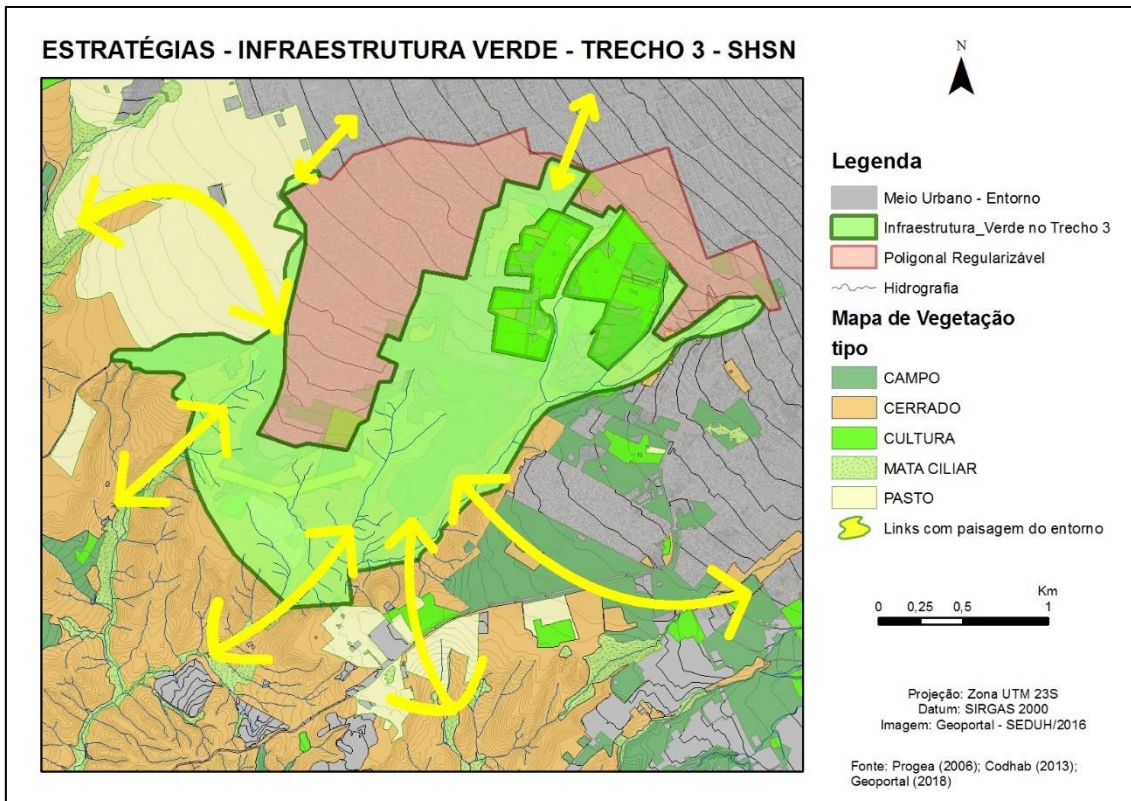


Figura 6.6: Interligação com o entorno rural.

Cenário da Infraestrutura Verde aplicado à drenagem

Este item define as intervenções na rede projetada com objetivo de criar o cenário da Infraestrutura Verde. Em primeiro lugar, a redivisão das sub-bacias de contribuição e, em segundo lugar, a definição de técnica de amortecimento no interior do parque.

As sub-bacias para o cenário da Infraestrutura Verde

Como mencionado no item 6.1, o trabalho propôs para elaboração deste cenário, a repartição da Sub-bacia L1 em 3 áreas de contribuição com pontos de lançamento diferentes com o objetivo de diminuir a necessidade de dispositivos de detenção na área de declive mais acentuado, na qual estão sendo construídas as 4 bacias de detenção da rede projetada em execução. Assim, a figura 6.7 mostra a localização dos lançamentos neste cenário, considerando que a sub-bacia L1 foi dividida em L1, L1A e L1B. Essa repartição foi elaborada com base em uma análise que observou as cotas de nível da rede projetada e das áreas escolhidas para amortecimento de vazão e lançamento, buscando as oportunidades para minorar as áreas de contribuição que são destinadas à área mais sensível. A Sub-bacia L1 abrange 137,8 hectares, a L1A, 60 hectares e a L1B, 32,85 hectares, perfazendo um total de 230,65 hectares.

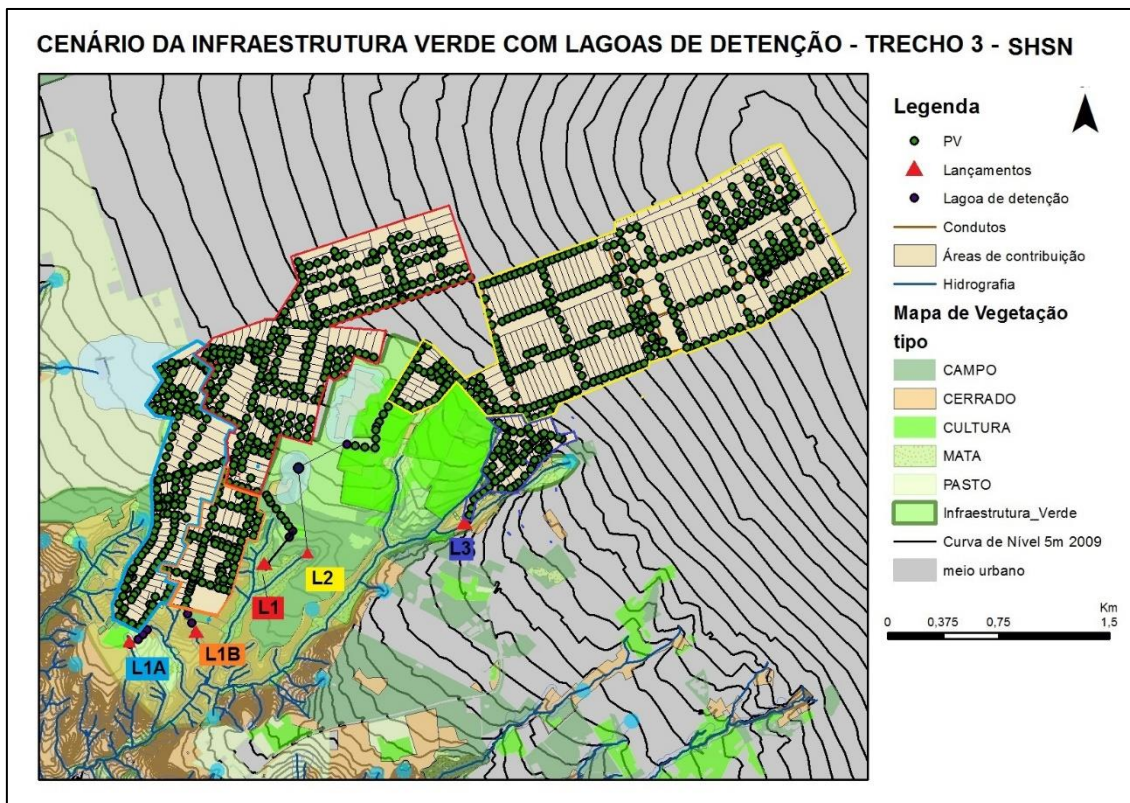


Figura 6.7: Ilustração representativa do Cenário da Infraestrutura Verde no PCSWMM, com lagoas de detenção.

Definição das técnicas de amortecimento no interior do parque

Para definição do cenário, foi adotado um sistema de amortecimento de vazão com BMP apenas nas áreas reservadas aos parques urbanos 1 e 2 (que compõem juntas o principal Hub), para fins da modelagem do cenário, considerando o aspecto paisagístico e ecológico. Para a tomada desta decisão, consideraram-se as seguintes situações:

- (1) Falta de espaços públicos e/ou privados para adoção de BMP para controle do escoamento no interior da ocupação urbana (considerando aspectos do item 5.2);
- (2) Incertezas quanto à sua operação e manutenção no contexto de descentralização de BMP como controle de escoamento superficial na fonte (Canholi, 2014);
- (3) Objetivo de avaliar o potencial dos parques para alocação de BMP com abordagem paisagística e ecológica em harmonia com componentes ambientais já presentes e os planejados nos locais de implantação dos parques; e
- (4) Busca por soluções mais harmônicas em contraponto ao uso de bacias de detenção unifuncionais aplicadas no Distrito Federal.

Medidas individuais no interior dos lotes e/ou coletivas no âmbito de vias locais podem e devem ser estimuladas posteriormente, ao longo do tempo, em programas de educação ambiental estabelecidos, tais como o projeto do Governo do Distrito Federal,

“Parque Educador”¹⁴, e pelo próprio conteúdo educativo que a observação dos processos ecológicos nas áreas naturais podem proporcionar à população. Vale ressaltar que não há hoje nenhum tipo de equipamento de lazer voltado às práticas em área natural, fundamentais para processos integrativos de educação ambiental.

A figura 6.8 mostra as áreas de preservação permanente/APP de áreas úmidas como eram no ano de 1964 quando não havia ocupação urbana. É possível verificar 3 manchas escuras de solo úmido que estão marcadas pela linha azul. Quando a fotografia é comparada com a camada de APP de recursos hídricos disponível no Geoportal da Governo do Distrito Federal (usada na ilustração ao lado da fotografia), é possível perceber a convergência da localização das APP. No entanto, a nascente e a área úmida da letra “C” (figura 6.8), ainda que antropizadas, permanecem com fluxo hídrico. Já a APP de área úmida “D” mais ao sul, próxima ao Córrego Capão da Lagoinha tem boa parte do solo ocupado e a pequena parte livre com solo modificado pelo entorno.

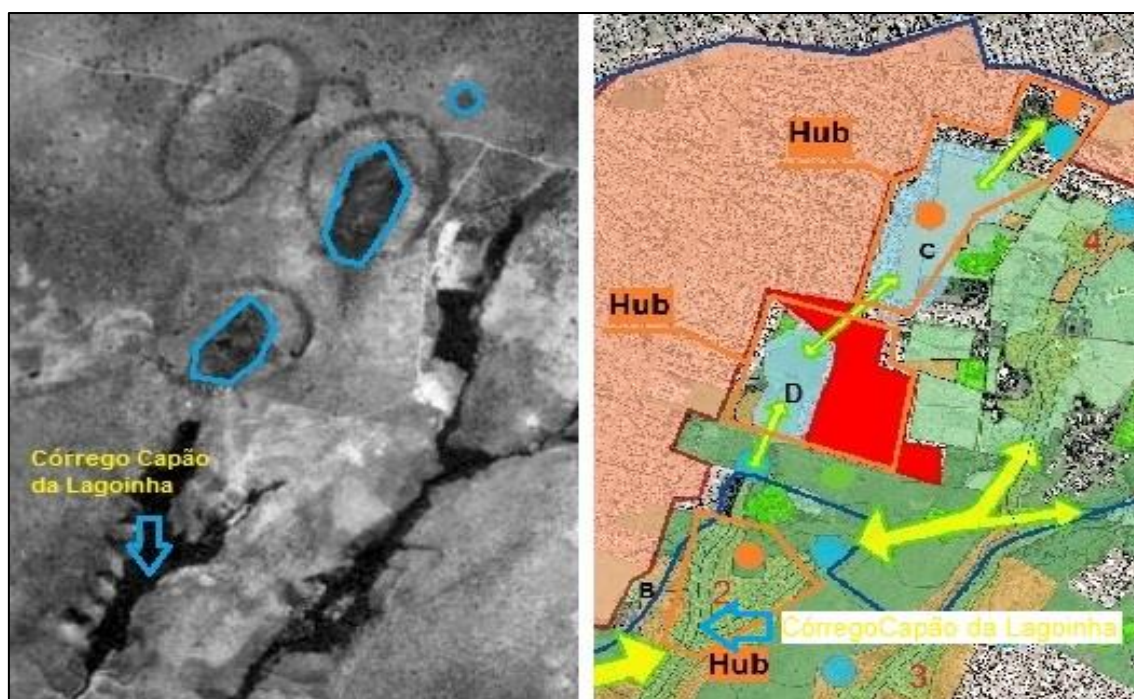


Figura 6.8: A esquerda, foto aérea de 1964 com a presença das áreas úmidas sem ligação com o Córrego Capão da Lagoinha. Fonte: Geoportal/SEDUH.

¹⁴ <http://www.ibram.df.gov.br/projeto-parque-educador/>



Figura 6.9: Imagem de 2018 com os remanescentes antropizados das áreas úmidas. Fonte: Geoportal/SEDUH.

Acima, na figura 6.9, a mesma área da figura 6.8, em imagem atual. Considerando a decisão de realocar as moradias marcadas de vermelho (figura 6.5 e 6.8), com a intenção de desfragmentar as áreas úmidas “C” e “D”, indicando a necessidade de recuperação dessas áreas para restabelecer o seu fluxo ecológico, a área composta pela mancha vermelha e a área úmida “D” pode ser apontada como uma alternativa para amortecimento da drenagem da sub-bacia L2. Dentre os dispositivos utilizados em parques para o amortecimento da vazão de pico da drenagem urbana, os alagados construídos ou wetlands podem indicar algumas características convergentes nesse caso, com vantagens sobre as bacias de detenção e de retenção. Primeiro porque costumam ser projetados para baixa profundidade e segundo porque podem deter água pluvial sendo parcialmente alagadas ao longo do tempo, como as bacias de detenção.

A respeito da importância das zonas úmidas, Pilon (2016) e Oliveira (2016) afirmam que estas áreas por meio do processo de biorretenção são responsáveis por grande parte dos serviços ecossistêmicos globais (40%), dentre os quais, a autora cita: “purificação da água, controle de sedimentos, controle de erosão, regulação do nível dos corpos d’água, reabastecimento de aquíferos e sequestro de carbono”. Afirma que no contexto do cerrado, as fitofisionomias das áreas úmidas são importantes refúgios para a fauna, em especial na época da seca e que a recuperação dessas áreas quando perturbadas pode se dar por técnica de semeadura de espécies ou por transplantes de material de campo (touceiras de gramíneas e plantas inteiras). A respeito do processo de biorreten-

ção, Ferreira (2017) e Moura (2014) indicam o potencial das gramíneas para sua utilização na mitigação da poluição difusa na drenagem pluvial, auxiliando a amenizar os seus efeitos.

Considerando os aspectos abordados a respeito das áreas úmidas e alagados construídos, este trabalho pretendeu propor e avaliar um sistema de wetland incorporado à paisagem no sentido de mitigação do impacto da drenagem aliado à recuperação da área úmida degradada, mantendo características de lâmina d'água variável com detenção provisória para não ocasionar risco de proliferação de mosquitos. Assim, as águas pluviais percorrem um caminho por 4 lagoas vegetadas com espécies nativas de áreas úmidas do Cerrado que sobrevivem em tanto na condição submersa quanto na ausência de água na superfície do solo. Nesse sentido, a criação do cenário e sua modelagem visa avaliar o comportamento de um sistema de wetland, parcialmente alagado, durante a vazão oriunda de evento de precipitação.

Os dispositivos foram propostos na área de solo degradado, para receber a vazão da sub-bacia L1 e L2. As lagoas da sub-bacia L1 (1A e 1B) e da Sub-bacia L2 (2A, 2B, 2C e 2D), todas com uma profundidade máxima de 0,50m, conforme a figura 6.10. No design foi previsto que a área de nascente e o campo úmido, que ainda guardam as características de solo alagado (hidromórfico), sejam áreas de acesso restrito e isoladas para o manejo voltado à sua recuperação, identificadas como número 3 na figura 6.10. Esta ilustração representa, de forma sugestiva a possibilidade de adequação da área como um parque bucólico para a população, atendendo aos objetivos e estratégias elaborados na tabela 6.2. A instalação de mobiliário urbano voltado à prática de esporte, atividades culturais, educação ambiental e de recreação em meio natural de forma gratuita, submetendo a gestão ao órgão ambiental, responsável pela administração de áreas protegidas do Distrito Federal. As áreas propostas para as intervenções estão em declividade entre 0 e 5% minimizando a movimentação de terra, respeitando as restrições estabelecidas pelas características ambientais, conforme figura 6.11 e 6.12).

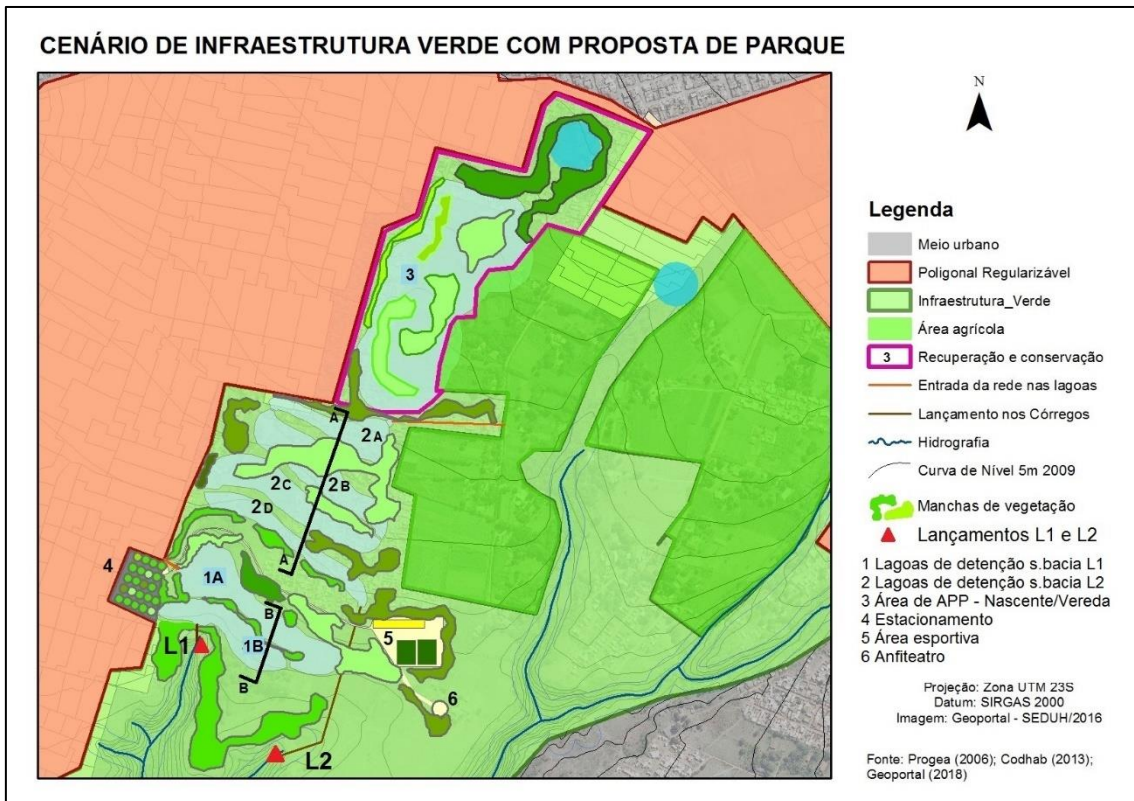


Figura 6.10: Ilustração representativa do Cenário da Infraestrutura Verde no PCSWMM.

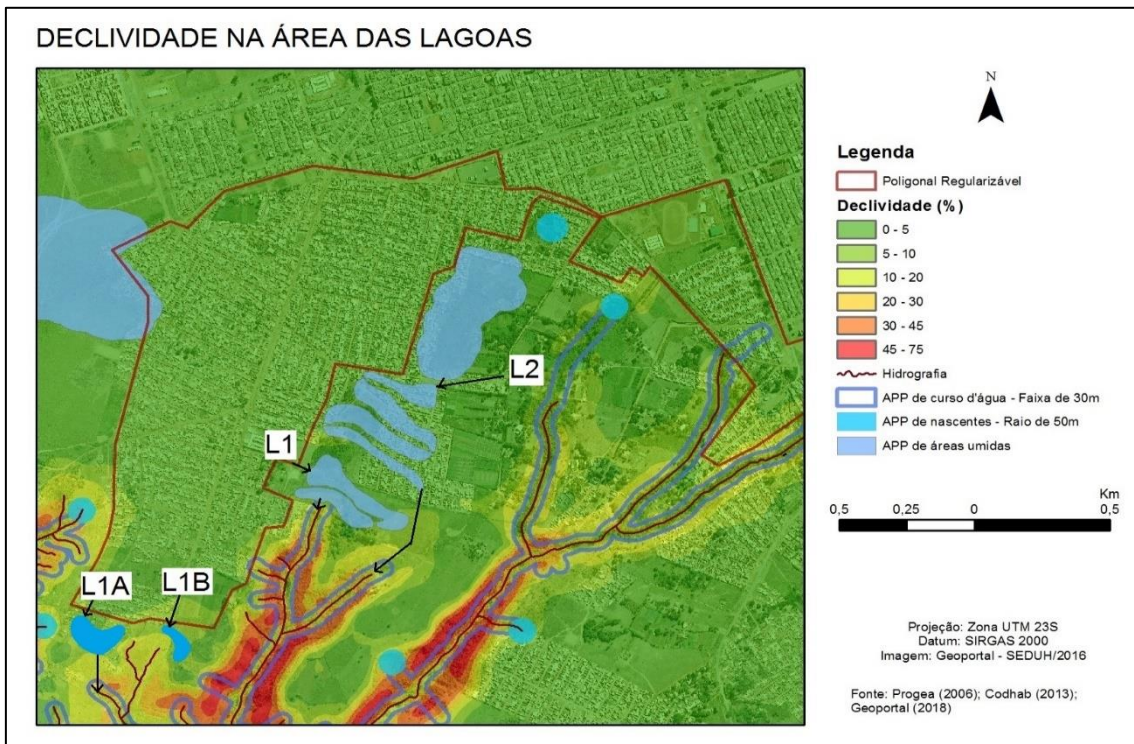


Figura 6.11: Declividade no Cenário da Infraestrutura Verde no PCSWMM.

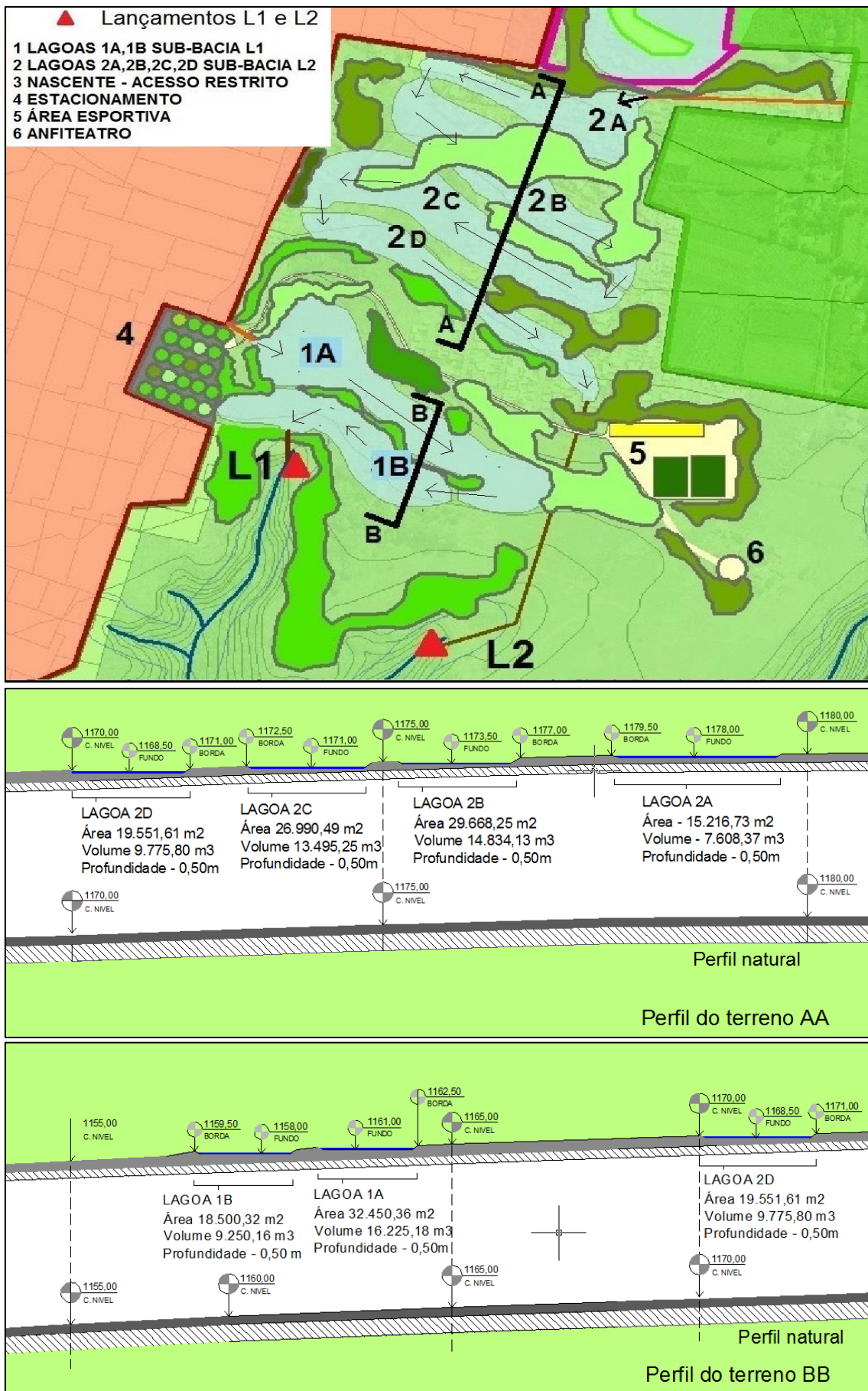


Figura 6.12: Perfil natural do terreno e cotas de nível das lagoas das sub-bacias L1 e L2.

6.2. Parametrização

A modelagem foi feita no programa PCSWMM com o objetivo de simular os processos hidrológicos com chuva de projeto. O escoamento superficial foi modelado com método *Soil Conservation Service/SCS*, criado nos Estados Unidos em 1975. Os itens seguintes detalham os procedimentos para a entrada de dados.

6.2.1. Inserção de dados dos cenários

As camadas do sistema de drenagem composto pela rede de drenagem projetada (em execução) e pelas redes antigas de Ceilândia, obtidas nos projetos, foram inseridas no programa ArcGis, onde os respectivos atributos foram cadastrados. As tabelas de atributos foram organizadas manualmente com os dados técnicos dos projetos para os PV (Cotas de nível do fundo e da tampa), os condutos (comprimento, dimensões da seção e cotas de entrada e saída em cada PV), os reservatórios de armazenamento (dimensões, cotas de terreno e de fundo, com a profundidade), os orifícios de descarga de fundo (dimensões da seção) e os lançamentos (cotas de nível). A rugosidade de Manning inserida foi a equivalente ao de “concreto em bom estado” (Porto, 2006), no valor de 0,013. Com a inserção destes dados foi possível formatar os 2 cenários da rede projetada no programa PCSWMM.

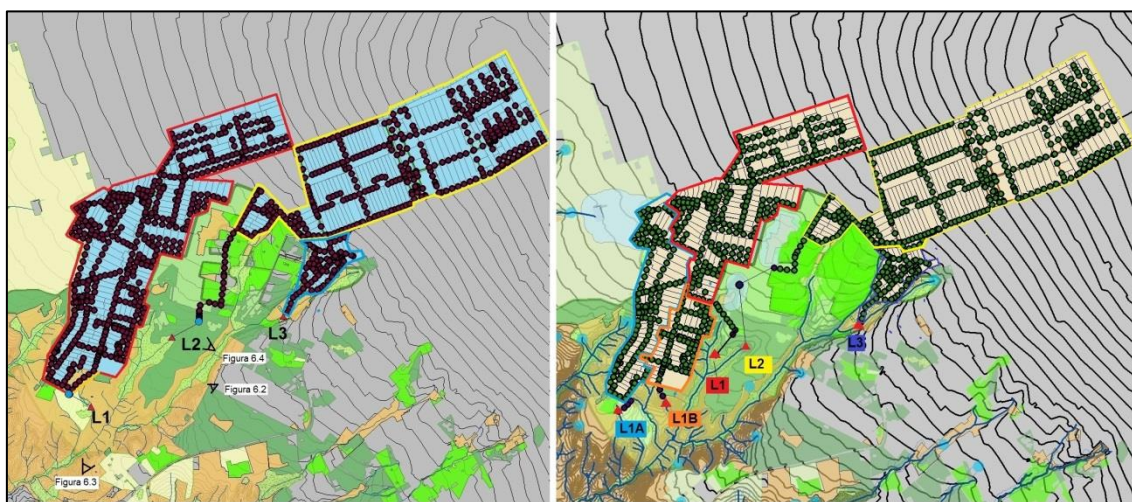


Figura 6.13: A esquerda, a representação do cenário da rede projetada com as bacias de retenção e à direita, o cenário da Infraestrutura Verde com as modificações das sub-bacias.

Na sequência, partindo da base de atributos da rede projetada inserida, foi criado o cenário da Infraestrutura Verde. Em primeiro lugar, a sub-bacia L1 foi dividida em 3: L1, L1A e L1B com o objetivo de diminuir o tamanho dos dispositivos de amortecimento em área com declividade entre 10 e 20% (4 bacias de retenção da rede projetada).

Para efetuar esta modificação, foram considerados os PV e condutos com cotas de nível e localização com oportunidade de interceptação e redirecionamento. Nesse contexto, foram inseridos os novos *storages* (dispositivos de reservação) com suas dimensões, curva de armazenamento e orifícios.

6.2.2. Inserção de parâmetros de modelagem (Subetapa 3.2)

No contexto do método SCS, o CN (Curva número) é fator fundamental para a execução da simulação no PCSWMM, também chamado de Curva Runoff, encontrado na relação entre o grau de impermeabilização na ocupação do solo e o tipo de solo quanto ao grau de permeabilidade. Outro parâmetro imprescindível é a chuva de projeto adotada e, nesse caso, está sendo adotada a equação da curva de Intensidade-Duração-Frequência/IDF do PDDU/DF. Além disso, foram adotadas diversas recomendações constantes no manual da Chewater para o caso específico do uso do CN, para parâmetros dos componentes como, por exemplo, o coeficiente de impermeabilização de cada sub-bacia deve ser nulo, já que este aspectos está sendo considerado no CN. A figura 6.14 representa o processo de preparação do modelo para a simulação do evento.

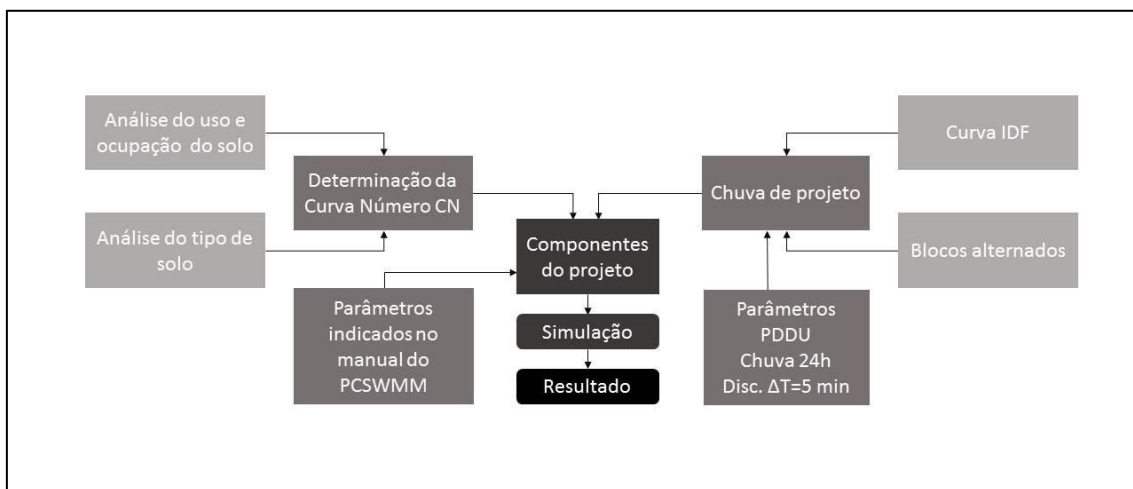


Figura 6.14: Fluxograma do processo da modelagem executada no PCSWMM em ambos os cenários estudados.

Definição do CN (Curva Número)

O CN ou curva *runoff* ou curva do escoamento superficial é um índice resultado da combinação entre 3 características: grupo do solo, cobertura do solo e umidade antecedente (McCuen, 1998 APUD Tomaz 2011). Tucci et al (1993) APUD Tomaz (2011) desenvolveu a tabela “Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas”, cujo teor está na tabela 6.3.

Tabela 6.3. Valores de CN para áreas residenciais em bacias urbanas e suburbanas

Utilização ou cobertura do solo	GRUPO DE SOLOS			
	A	B	C	D
Zonas residenciais – Lotes (m ²) - % impermeável				
<500 65	77	85	90	92
1000 38	61	75	83	87
1300 30	57	72	81	86
2000 25	54	70	80	85
4000 20	51	68	79	84

Fonte: Tucci et al (1993) APUD Tomaz (2011)

O latossolo vermelho-amarelo, predominante nas áreas de contribuição do Trecho 3 do SHSN e o latossolo vermelho-escuro predominante em Ceilândia são classificados no Grupo A que são os solos que produzem pouco escoamento superficial e alta infiltração. A porção de gleissolo (solo hidromórfico) é enquadrada no Grupo D com propriedade de baixa infiltração e produção de escoamento superficial. Cabe salientar que as ocupações residenciais do Trecho 3 não se enquadram nos requisitos da tabela 6.3 no que se refere ao padrão de impermeabilização. Como os lotes têm aproximadamente 200 m², a tendência é que tenham entre 90 e 100% de impermeabilização, número bem superior aos 65% estabelecidos para as ocupações inferiores a 500 m². Nesse sentido, a determinação de CN=77 possivelmente será irreal, indicando um escoamento superficial inferior à realidade porque, apesar dos solos terem permeabilidade, sua cobertura dificulta sensivelmente a infiltração.

Fileni (2017) modelou 2 sub-bacias na Ceilândia e 2 no SHSN. Com base no uso do solo, o autor elaborou um mapa de CN médio da região. Os valores de CN encontrados apresentaram grande amplitude, mas com concentração entre 81 e 98. Destas sub-bacias, aquela denominada Ceilândia SB1 (Sub-bacia 1) é sobreposta a área da Sub-bacia L2 deste trabalho, sendo considerada pelo autor como “área urbanizada de alta densidade”. Esta área específica, avaliada pelo autor, também é similar às áreas de contribuição do SHSN, modeladas neste estudo, razão pela qual este trabalho adotou o seu valor de CN (86,2) como referência para fins de modelagem.

Na figura 6.15, a coluna da esquerda mostra a área SB1 que Fileni (2017) avaliou que é a mesma configuração das áreas de contribuição L1 e L2 nas porções de Ceilândia deste trabalho. Na coluna da direita, o padrão do SHSN.

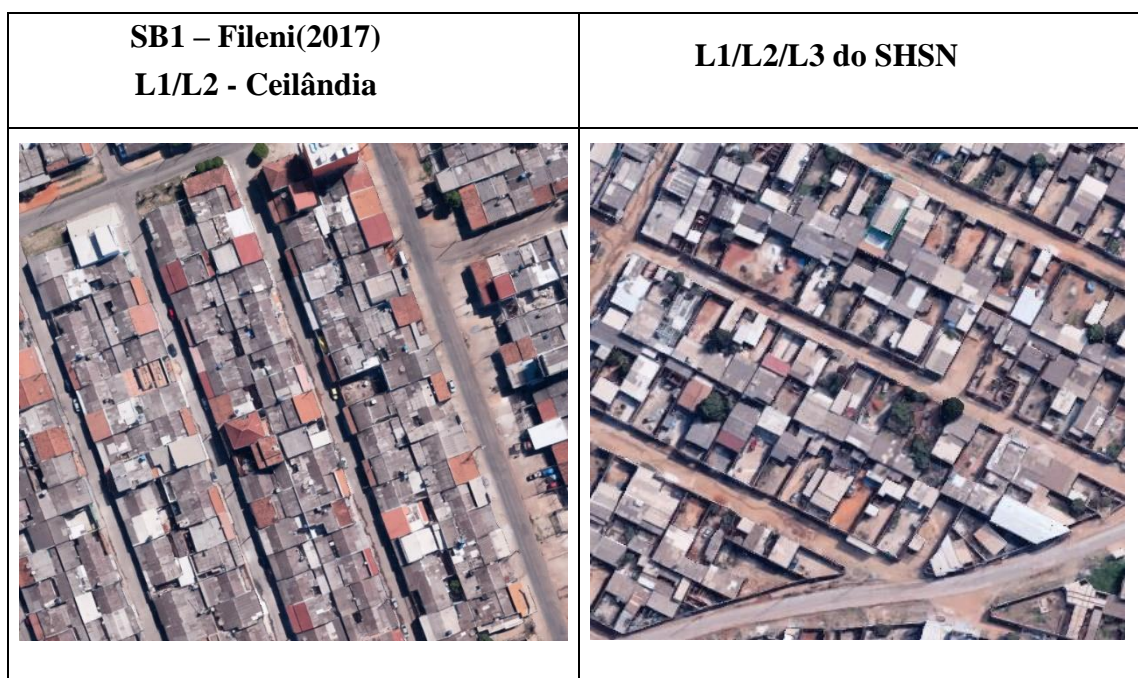


Figura 6.15: Imagens de satélite das áreas estudadas por Fileni (2017) e aquelas que são objeto desta pesquisa.

Definição da chuva de projeto (IDF)

Como dito foi adotada a curva IDF recomendada no PDDU, com blocos alternados. Outros parâmetros recomendados: Duração de 24 horas, discretização com $\Delta t=5$ minutos e tempo de retorno/TR de 10 anos. A equação 7.1 é a IDF utilizada nas simulações.

$$I = 1574,70 \cdot \frac{T^{0,207}}{(t+11)^{0,884}} \quad (6.1)$$

Onde I é intensidade em mm/h, T é período de retorno em anos e t é duração em minutos.

6.3. ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES NO PCSWMM

Com as entradas dos parâmetros no PCSWMM, foram efetuadas as simulações e tabulados os resultados para análise. Primeiramente, foram avaliados os cenários de rede projetada do GDF com e sem as bacias de detenção projetadas para o amortecimento da vazão a ser lançada aos córregos. O lançamento direto nos corpos hídricos receptores foi simulado para avaliar a eficiência das bacias. Na sequência, foram realizadas as simulações com o cenário de Infraestrutura Verde, avaliando o funcionamento das lagoas propostas para o amortecimento da vazão a ser lançada na malha hídrica local. Por fim, o trabalho expõe uma comparação entre os cenários. Vale ressaltar que não há comparação direta de vazões entre um cenário e outro porque os pontos de lançamento e áreas de contribuição não são os mesmos pelas decisões de projeto já explicitadas.

6.3.1. Cenários de Rede projetada atual

A rede projetada do GDF foi subdividida em 3 sub-bacias e 3 lançamentos (L1, L2 e L3), como a figura 6.16. A sub-bacia L1 dispõe de 4 bacias de detenção (reservatórios de armazenamento) localadas em série no final da rede e que lançam a drenagem em afluente do Córrego Capão da Lagoinha. A sub-bacia L2 dispõe de 3 bacias de detenção também em série no final da rede, lançando efluente no Córrego citado acima. A sub-bacia L3 não possui estrutura de armazenamento para amortecer a vazão, dada sua pequena superfície. Todas as bacias de detenção se caracterizam como troncos de pirâmides invertidos de base retangular possuindo seção trapezoidal tanto longitudinal quanto transversalmente.

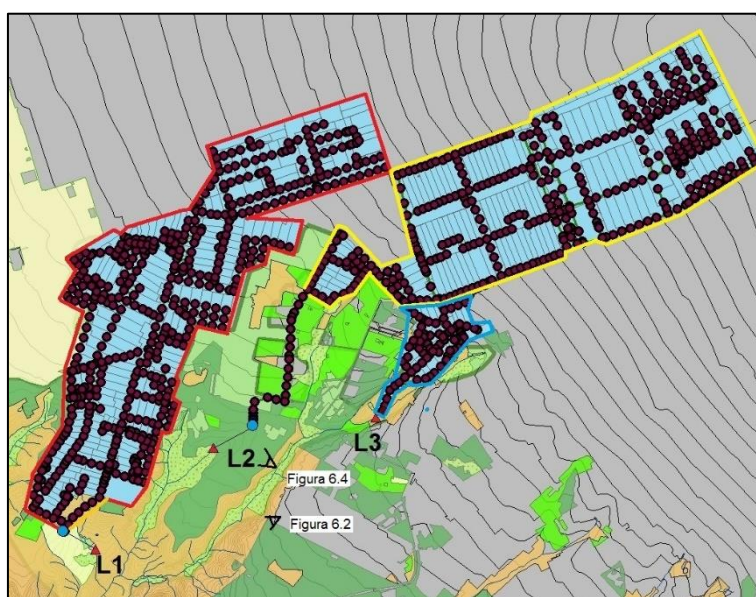


Figura 6.16: Esquema dos Lançamentos da rede projetada.

A rede apresentou extravasamento em 170 dos 1063 PV para simulação com tempo de retorno de 10 anos. No entanto, as bacias de detenção tiveram suas capacidades utilizadas de forma eficiente, considerando a vazão máxima regulada no DF pela ADASA de 24,4 l/s.ha, conforme demonstram os resultados.

Sub-bacia L1

As 4 bacias de detenção da sub-bacia L1 somam juntas a capacidade de armazenamento de 52.416,00 m³ (4 x 13.104,00 m³) com profundidade máxima de 2,00 metros. Ocupam uma área de aproximadamente 4,36 hectares (considerando os taludes) em cambissolo, com declividade entre 10 e 20%. A simulação com tempo de retorno de 10 anos, obteve êxito no controle da vazão máxima para lançamento. O amortecimento ocorre de um dispositivo para outro até o lançamento no córrego com o pico de vazão de cerca de 23 l/s.ha ou 5,32 m³/s para a contribuição de 230,65 hectares, dentro do limite de 24,4 l/s.ha estabelecido pela ADASA.

Tabela 6.4. Dados do lançamento da sub-bacia L1 - rede projetada - TR - 10 anos.

Bacias de detenção	Volume máximo (m ³)	Volume atingido (m ³)	Percentual (%)	Vazão de entrada (m ³ /s)	Vazão de saída (m ³ /s)
1	13.104,00	13.090,00	99	42,79	14,07
2	13.104,00	13.080,00	99	14,07	8,35
3	13.104,00	12.768,00	97	8,35	6,20
4	13.104,00	12.663,00	97	6,20	5,32
Lançamento (230,65 ha)		-	-	5,32	23,06 l/s.ha

Vale ressaltar que as bacias chegam perto do limite de sua capacidade, como mostra a tabela 6.4. Da mesma forma, a vazão máxima chega bem próximo ao máximo outorgável pela ADASA. Estes dados indicam que em eventos com tempo de retorno maior poderá haver extravasamento e, com isso, a vazão de lançamento no corpo hídrico exceder a estabelecida (24,4 l/s.ha). Observando a tabela 6.4 é possível dizer que os dispositivos de amortecimento da rede projetada reduzem o pico de vazão de lançamento em cerca de 88%, como pode ser observado no hidrograma da figura 6.17. E também pode ser comprovada, na comparação entre os picos de vazão, a importância destes reservatórios de armazenamento temporário. Na tabela 6.5 são mostradas as dimensões dos orifícios, que vão diminuindo as seções de uma bacia a outra até o lançamento final, amortecendo a vazão.

Tabela 6.5. Dados de entrada e saída das bacias de detenção da sub-bacia L1.

Sub-bacia	Entrada Bacia 1	Orifício Bacias 1 - 2	Orifício Bacias 2 - 3	Orifício Bacias 3 - 4	Bacia 4 - Lançamento
L1	Galeria 2500 x 2500 mm	Tubulação 3 x 1500 mm	Tubulação 2 x 1500 mm	Tubulação 1200 mm	Tubulação 500 mm

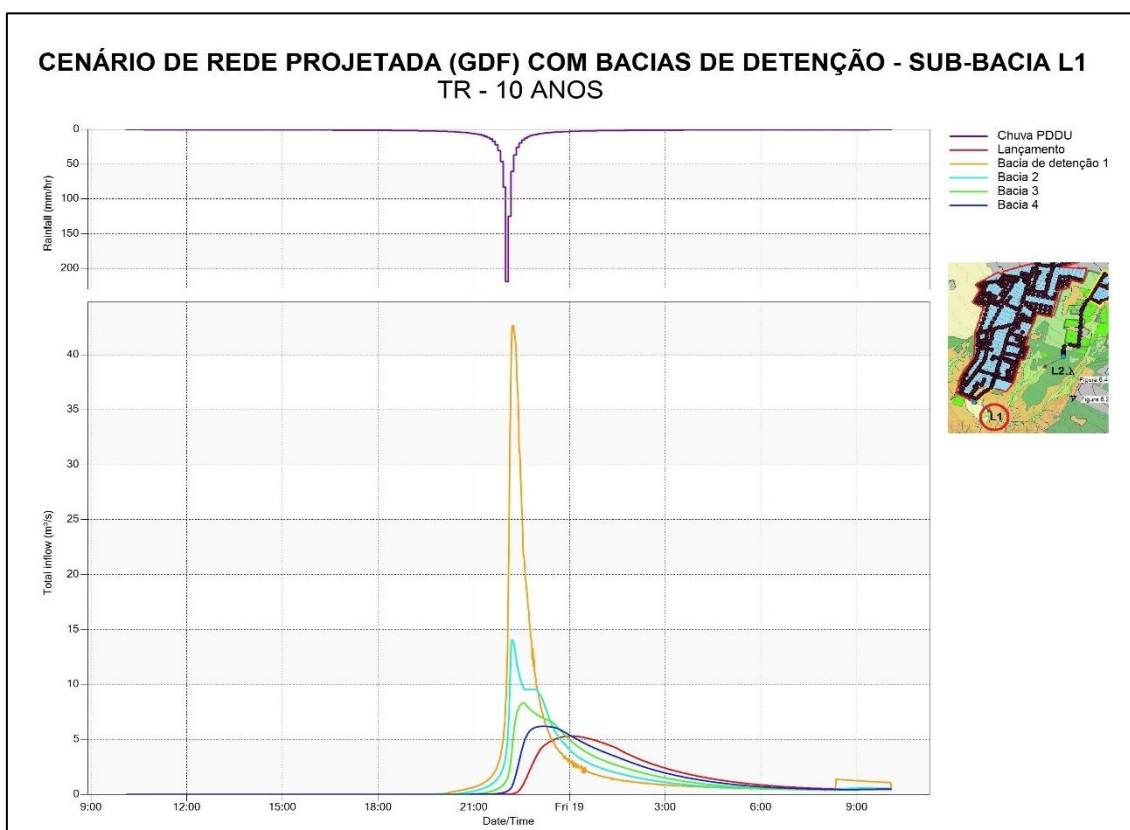


Figura 6.17: Hidrograma de entrada das bacias e do lançamento da sub-bacia L1 da rede projetada para TR - 10 anos.

Sub-bacia L2

As 3 bacias de detenção da L2 somam juntas a capacidade de armazenamento de 56.286,00 m³ (3 x 18.762,00 m³), com profundidade máxima de 2,00 metros. Ocupam uma área de aproximadamente 4,27 hectares (considerando os taludes) onde ocorre transição entre latossolo vermelho-amarelo e cambissolo, com declividade entre 0 e 10%.

A simulação com tempo de retorno de 10 anos, assim como na sub-bacia L1, obteve êxito no controle da vazão máxima de lançamento. O amortecimento ocorre de um dispositivo para o outro até o lançamento no córrego com a vazão de um pouco menos de 18 l/s.ha ou 4,32 m³/s para a contribuição de 243,60 hectares.

Tabela 6.6. Dados do lançamento da sub-bacia L2 - rede projetada - TR - 10 anos.

Bacias de detenção	Volume máximo (m ³)	Volume atingido (m ³)	Percentual (%)	Vazão de entrada (m ³)	Vazão de saída (m ³)
1	18.762,00	18.500,00	98	29,59	5,69
2	18.762,00	17.494,00	93	5,69	4,86
3	18.762,00	14.950,00	80	4,86	4,32
Lançamento (243,60 ha)		-	-	4,32	17,72 l/s.ha

As bacias da L2 chegam perto de seu limite de capacidade máxima, como mostra a tabela 6.6. Neste caso, com base nesta tabela, nota-se que as bacias de detenção da L2 reduzem o pico de vazão de lançamento em cerca de 85%, como indica graficamente o hidrograma da figura 6.18. E, assim como na sub-bacia L1, pode ser comprovada a importância destes reservatórios de armazenamento temporário, cumprindo o amortecimento para o qual foram projetados. Na tabela 6.7 são mostradas as dimensões dos orifícios, que interligam uma bacia a outra até o lançamento final, amortecendo a vazão.

Tabela 6.7. Dados de entrada e saída das bacias de detenção da sub-bacia L2.

Sub-bacia	Entrada Bacia 1	Orifício Bacias 1 - 2	Orifício Bacias 2 - 3	Bacia 3 - Lançamento
L2	Galeria 2000 x 2000 mm	Tubulação 2 x 1500 mm	Tubulação 1200 mm	Tubulação 500 mm

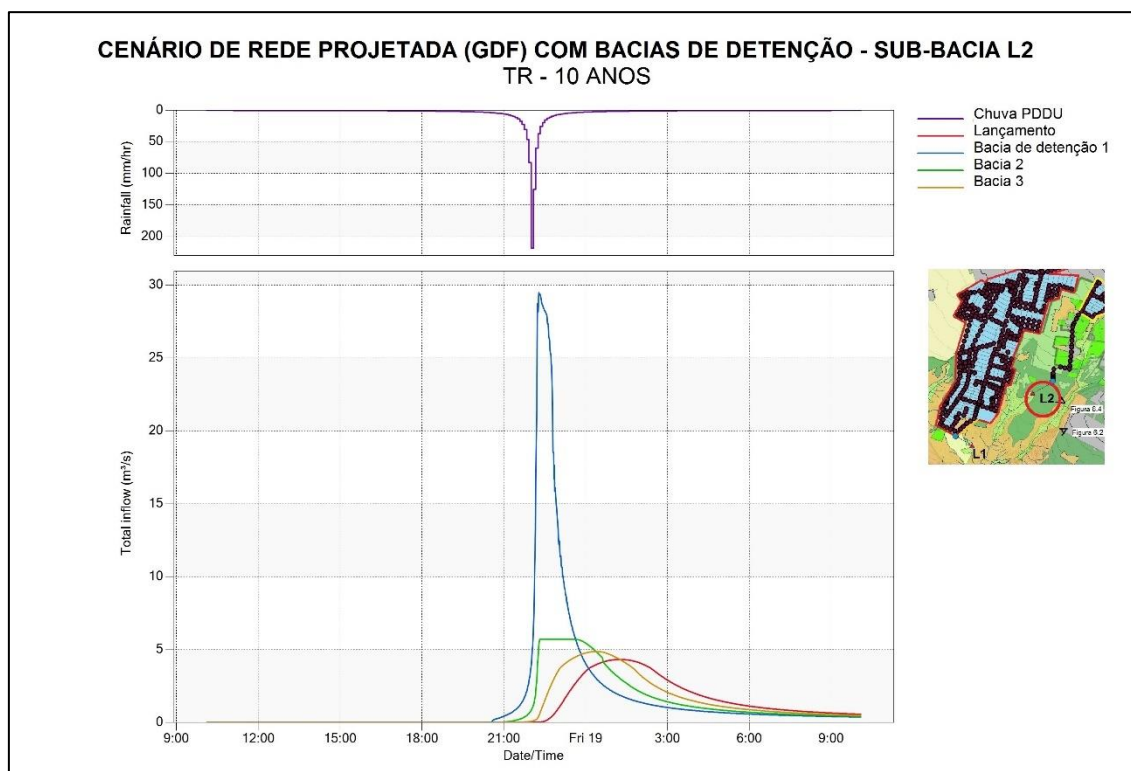


Figura 6.18: Hidrograma de entrada das bacias e do lançamento da sub-bacia L2 da rede projetada para TR - 10 anos.

6.3.2. Cenário de Infraestrutura Verde

O cenário em questão foi formado com a subdivisão da sub-bacia L1 (rede projetada) em 3 sub-bacias de contribuição com pontos de lançamento distintos, com o objetivo de diminuir o dimensionamento de dispositivos de retenção na área de declive mais acentuado, na qual estão sendo construídas as 4 bacias de retenção da rede projetada. Assim, a sub-bacia L1 foi dividida em: L1, L1A e L1B. A Sub-bacia L1 passou a abranger 137,80 hectares, a L1A, 60,00 hectares e a L1B, 32,85 hectares, perfazendo um total de 230,65 hectares. Em relação aos componentes da sub-bacia L2 e à extensão de sua área de contribuição permaneceram integralmente os mesmos, exceto por parte da área objeto de realocação. A solução para o amortecimento foi alterada nesta proposta e modelada para simulação. Assim, o foco deste cenário são os dispositivos de amortecimento e a forma de integração destes nos espaços por eles ocupados. Nesse sentido, utilizaram-se os componentes da rede projetada de todas as sub-bacias envolvidas, alterando apenas as áreas de contribuição da sub-bacia L1 e os sistemas de amortecimento de pico de vazão, conforme mostra a figura 6.19.

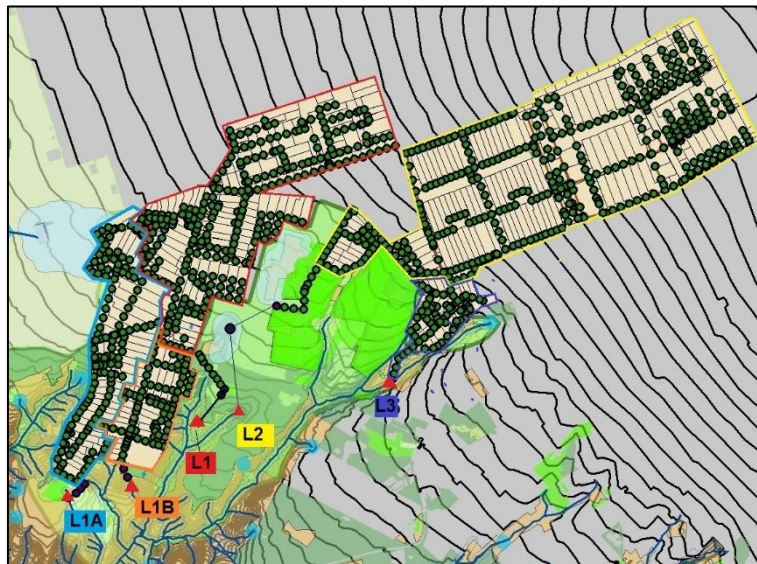


Figura 6.19: Esquema dos Lançamentos da rede projetada.

Sub-bacia L1

Para a sub-bacia L1, que corresponde a 137,8 hectares de contribuição, foram criadas 2 lagoas com capacidade total de 25.475,34 m³ (16.225,18 m³ + 9.250,16 m³), com uma profundidade máxima de 0,50 m e ocupando aproximadamente 5,1 hectares em latossolo vermelho amarelo antropizado, com declividade entre 0 e 10%.

A simulação com tempo de retorno de 10 anos, obteve resultado amplamente favorável para o controle de pico de vazão, dentro dos critérios regulamentares do DF. O amortecimento ocorre de uma lagoa para outra até o lançamento no córrego com a vazão de cerca de 10 l/s.ha ou 1,42 m³/s para a contribuição de 137,87 hectares.

Tabela 6.8. Dados do lançamento da sub-bacia L1 – Infraestrutura Verde

Lagoas	Volume máximo (m ³)	Volume atingido (m ³)	Percentual (%)	Vazão de entrada (m ³ /s)	Vazão de saída (m ³ /s)
1	16.225,00	15.967,00	98	18,86	1,46
2	9.250,00	5.686,00	61	1,46	1,42
Lançamento (137,87 ha)		-	-	1,42	10,3 l/s.ha

Apesar de a lagoa 1 alcançar quase o seu volume máximo, a lagoa 2 apenas 61% de seu volume utilizado em evento com TR de 10 anos, como mostra a tabela 6.8. Além disso, o baixo valor no pico de vazão lançada no córrego possibilita arranjos de dimensionamento no conduto final, no caso de TR maiores, a princípio, sem comprometer o pico de vazão máximo outorgável pela ADASA. A lagoa 1 tem a profundidade média de 0,19 m e a lagoa 2 de 0,14 m, alcançadas durante o evento. As máximas foram de 0,48 m e 0,32 m, respectivamente.

Analisando a tabela 6.8, é possível identificar que as lagoas propostas para a sub-bacia L1 reduzem o pico de vazão de lançamento em cerca de 93%, atendendo a normativa da ADASA, como mostra o valor da vazão de lançamento. O hidrograma da figura 6.20, indica a eficiência constatada pelos números alcançados, na redução sensível obtida nas curvas do hidrograma. Vale ressaltar que o resultado positivo das lagoas propostas, com baixa profundidade, tem o custo de ocupar uma superfície maior, quando comparado com as bacias de retenção, o que será objeto da análise comparativa. Na tabela 6.9 são mostrados a seção dos orifícios utilizados da lagoa 1 para a 2 e desta para o lançamento final.

Tabela 6.9. Dados de entrada e saída das lagoas da sub-bacia L1.

Sub-bacia	Entrada Lagoa 1	Orifício Lagoas 1 – 2	Lagoa 2 - Lançamento
L1	Galeria 2500 x 2500 mm	Seção retangular 3000 x 400 mm	Tubulação 500 mm

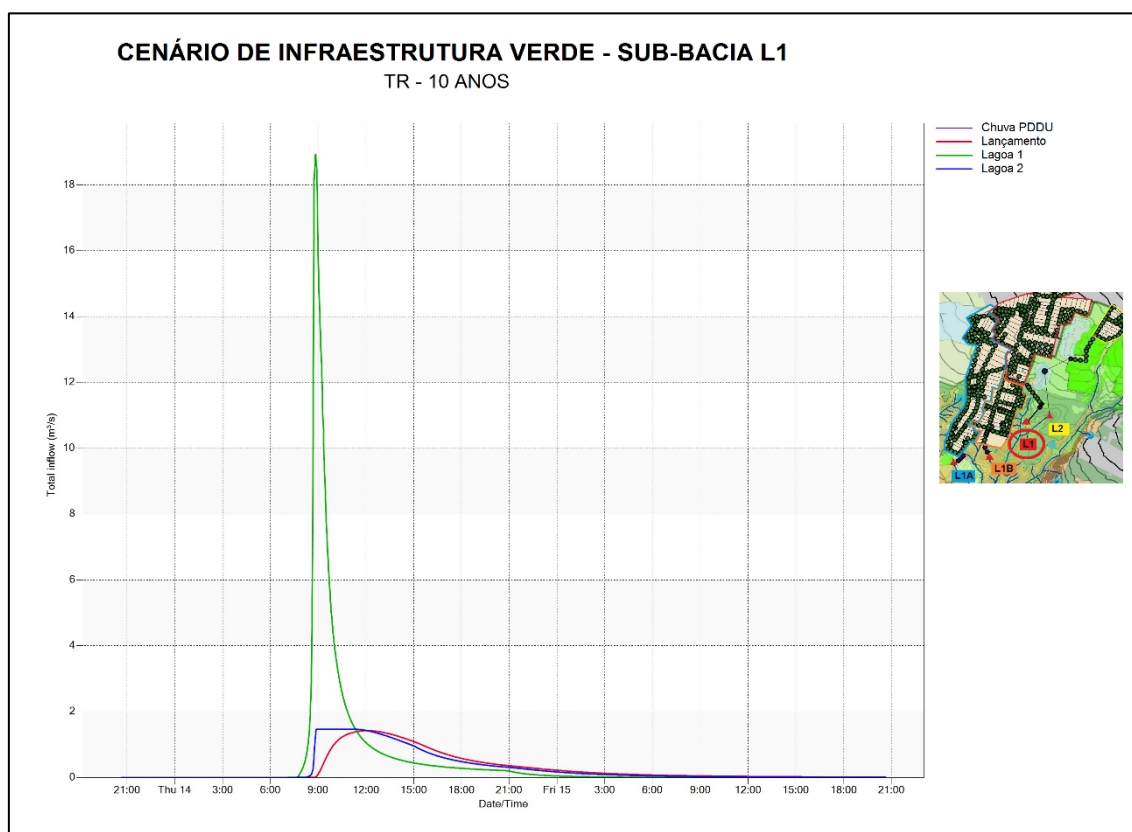


Figura 6.20: Hidrograma de entrada das bacias e do lançamento da sub-bacia L1 da Infraestrutura Verde.

Sub-bacia L1A

Para a sub-bacia L1A, que corresponde a 60,016 hectares, foi criada 1 lagoa com capacidade de 12.580,00 m³, com profundidade máxima de 0,50 m e ocupando 2,15 hectares em latossolo vermelho amarelo, com declividade entre 10 e 20%.

Tabela 6.10. Dados do lançamento da sub-bacia L1A – Infraestrutura Verde

Lagoas	Volume máximo (m ³)	Volume atingido (m ³)	Percentual (%)	Vazão de entrada (m ³ /s)	Vazão de saída (m ³ /s)
1	12.580,00	11.690,00	92	10,89	0,836
Lançamento (60,01 ha)		-	-	0,836	13,93 l/s.ha

A simulação com tempo de retorno de 10 anos, obteve resultado dentro dos critérios regulamentares do DF, com a vazão de cerca de 13,9 l/s.ha ou 0,836 m³/s para a contribuição de 60,01 hectares. De acordo com os resultados da tabela 6.10, é possível

identificar que a lagoa da proposta para a sub-bacia L1a reduz o pico de vazão de lançamento em cerca de 93%, e atende a normativa da ADASA. O hidrograma da figura 6.21 confirma a redução obtida nas curvas do hidrograma. A lagoa 1 teve profundidade média de 0,20 m e máxima de 0,47 m durante o evento de precipitação simulado. A tabela 6.11 mostra a entrada da rede e o orifício de saída da única lagoa para o lançamento final, suficiente para a redução de vazão em função da pequena contribuição.

Tabela 6.11. Dados de entrada e saída da lagoa da sub-bacia L1A.

Sub-bacia	Entrada Lagoa	Lagoa - Lançamento
L1A	Galeria 1650 x 1650 mm	Tubulação 500 mm

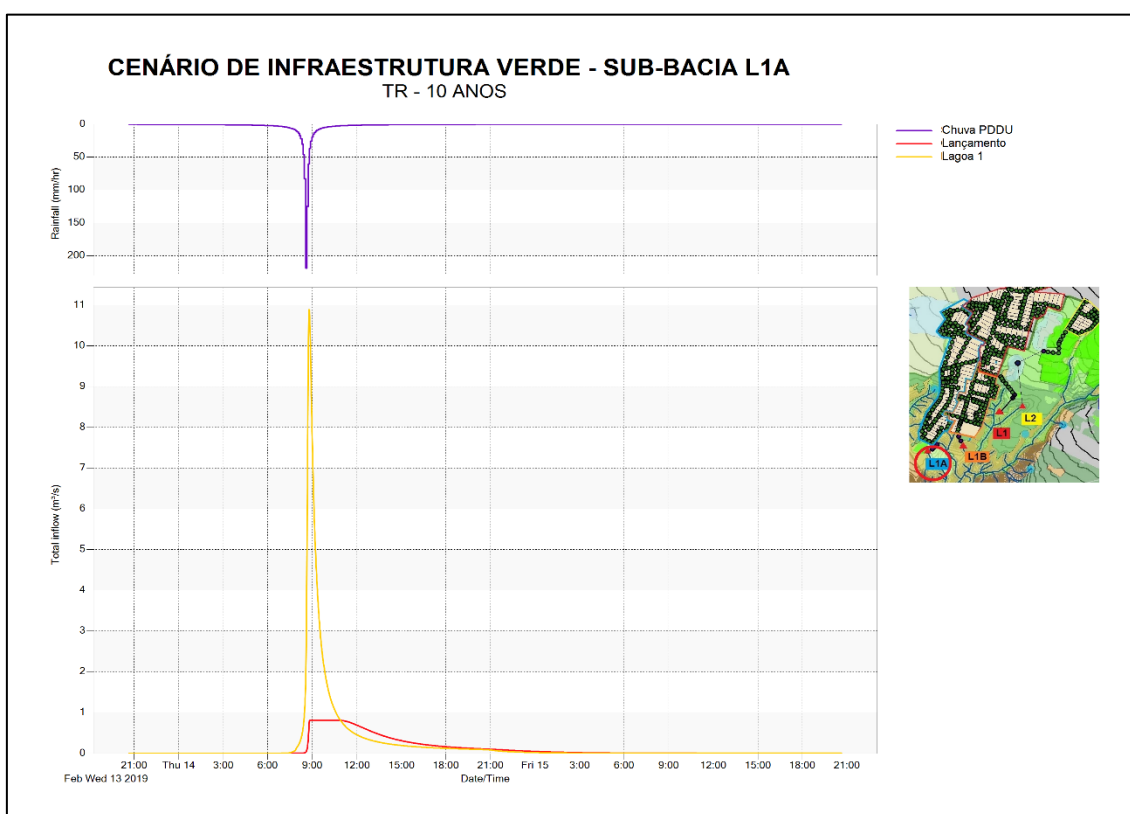


Figura 6.21: Hidrograma de entrada das bacias e do lançamento da sub-bacia L1A da Infraestrutura Verde.

Sub-bacia L1B

Para a sub-bacia L1B, que corresponde a 32,85 hectares, foi criada 1 lagoa com capacidade total de 5.980,00 m³, com uma profundidade máxima de 0,50 m e ocupando aproximadamente 1,1 hectares (11.160,00 m²) em latossolo vermelho amarelo, com declividade entre 5 e 10%.

Tabela 6.12. Dados do lançamento da sub-bacia L1B – Infraestrutura Verde ,

Lagoas	Volume máximo (m ³)	Volume atingido (m ³)	Percentual (%)	Vazão de entrada (m ³ /s)	Vazão de saída (m ³ /s)
1	5.980,00	5.646,00	94	6,74	0,423
Lançamento (32,85 ha)		-	-	0,423	12,87 l/s.ha

A simulação com tempo de retorno de 10 anos, obteve resultado de cerca de 12,87 l/s.ha ou 0,423 m³/s para a contribuição de 32,85 hectares. De acordo com os resultados da tabela 6.12, é possível identificar que a lagoa da proposta para a sub-bacia L1B reduz o pico de vazão de lançamento em cerca de 94%, e atende a normativa da ADASA. O hidrograma da figura 6.22, ilustra a redução sensível no amortecimento da vazão de lançamento. A lagoa teve profundidade média de 0,18 m e máxima de 0,47 m no evento simulado. A tabela 6.13 mostra a entrada da rede e o orifício de saída da única lagoa em direção ao lançamento final.

Tabela 6.13. Dados de entrada e saída da lagoa da sub-bacia L1B.

Sub-bacia	Entrada Lagoa	Lagoa - Lançamento
L1B	Galeria 1500 x 1500 mm	Tubulação 400 mm

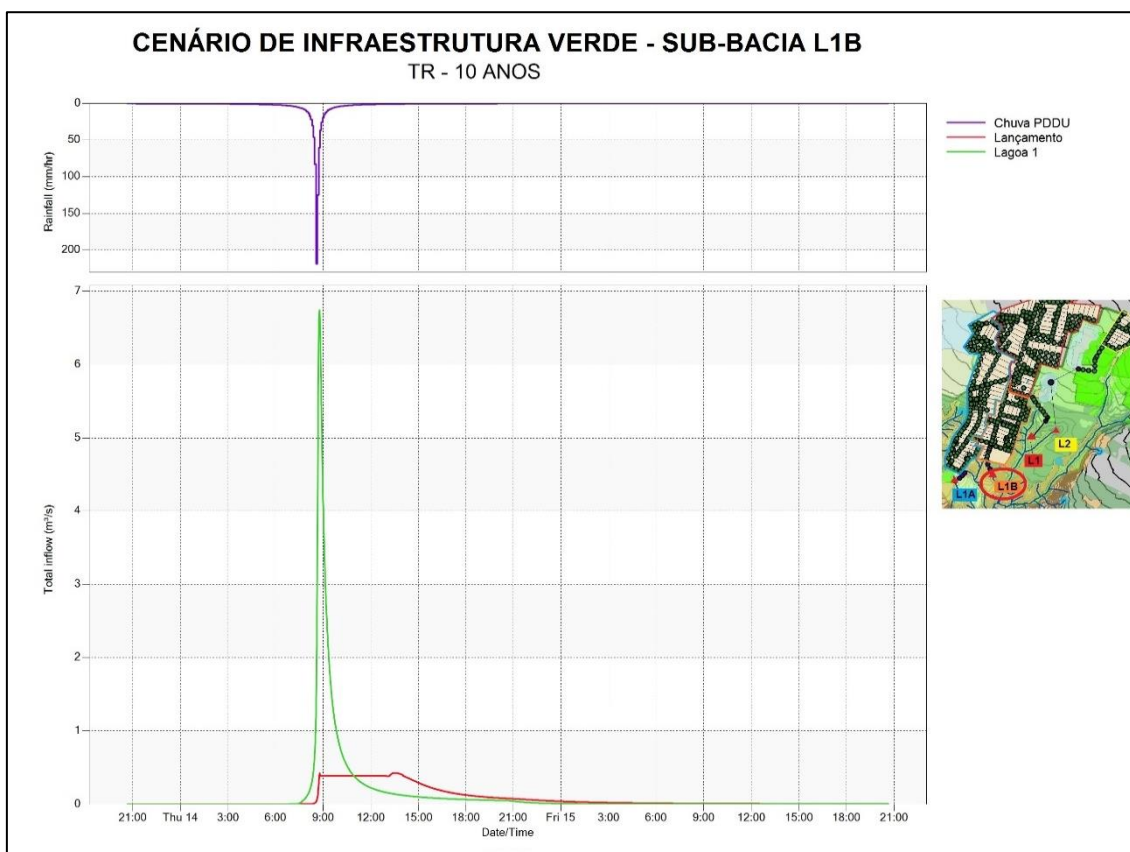


Figura 6.22: Hidrograma de entrada das bacias e do lançamento da sub-bacia L1B da Infraestrutura Verde.

Sub-bacia L2

Para a sub-bacia L2, que corresponde a maior contribuição deste cenário, com 243,60 hectares, foram criadas 4 lagoas com capacidade total de 44.642,00 m³, profundidade máxima de 0,50 m e ocupando aproximadamente 9,15 hectares, uma parte em latossolo vermelho amarelo e outra em gleissolo, ambos antropizados, com declividade entre 0 e 5%. Assim como as demais sub-bacias, a simulação com tempo de retorno de 10 anos, obteve o melhor resultado para o controle de pico de vazão com ampla margem de segurança. O amortecimento ocorre de uma lagoa para outra até o lançamento no corpo hídrico receptor com o resultado de cerca de 5,34 l/s.ha ou 1,30 m³/s para a contribuição de 243,60 hectares.

As lagoas 1 e 2 alcançam praticamente o seu volume máximo enquanto as lagoas 3 e 4 se mantêm quase cheias, próximo dos 90% de sua capacidade. Nessa situação, o pico de vazão de 1,30 m³/s está bem abaixo da regulamentação da ADASA que, para esta sub-bacia, seria de até cerca de 5,90m³/s. As profundidades média e máxima das lagoas foram de 0,21 e 0,49 m na lagoa 1; 0,20 e 0,48 na lagoa 2; 0,19 e 0,46 m na lagoa 3; e 0,19 e 0,47 m na lagoa 4.

Tabela 6.14. Dados do lançamento da sub-bacia L2 – Infraestrutura Verde

Lagoas	Volume máximo (m ³)	Volume atingido (m ³)	Percentual (%)	Vazão de entrada (m ³ /s)	Vazão de saída (m ³ /s)
1	7.367,00	7.298,00	99	28,92	2,01
2	14.660,00	14.194,00	97	2,01	1,56
3	13.129,00	12.079,00	92	1,56	1,35
4	9680,00	9.082,00	93	1,35	1,30
Lançamento (243,60 ha)		-	-	1,30	5,34 l/s.ha

Apesar de o controle quantitativo ocorrer na primeira lagoa, vale ressaltar que se pretende utilizar esses dispositivos para facilitar a recuperação da área no sentido de formar ligação ecossistêmica entre as áreas úmidas e o Córrego Capão da Lagoinha. Analisando a tabela 6.14, é possível identificar que as lagoas propostas para a sub-bacia L1 reduzem o pico de vazão de lançamento em cerca de 95%, atendendo a Resolução nº 9/2011 da ADASA. O hidrograma da figura 6.23, ilustra a eficiência dos números alcançados, por meio da redução do pico de vazão obtida nas curvas do gráfico. A tabela 6.15 mostra a entrada da rede e os orifícios de saída de cada lagoa interligando os dispositivos em direção ao lançamento final.

Tabela 6.15. Dados de entrada e saída das lagoas da sub-bacia L2.

Sub-bacia	Entrada Lagoa 1	Orifício Lagoas 1 - 2	Orifício Lagoas 2 - 3	Orifício Lagoas 3 - 4	Lagoa 4 - Lançamento
L2	Galeria 2000 x 2000 mm	Seção retangular 3000 x 400 mm	Seção retangular 3000 x 300 mm	Seção retangular 2800 x 300 mm	Tubulação 500 mm

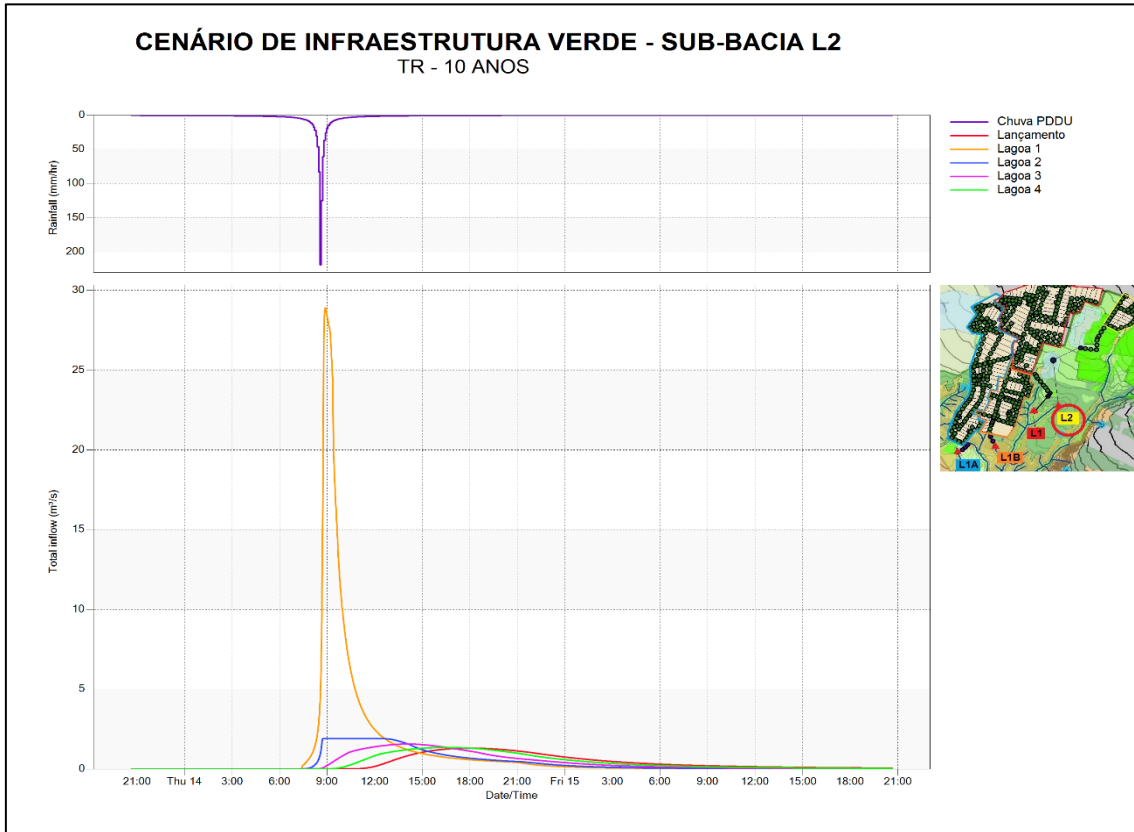


Figura 6.23: Hidrograma de entrada das bacias e do lançamento da sub-bacia L2 da Infraestrutura Verde.

6.3.3. Comparação entre os cenários de Rede Projetada e de Infraestrutura Verde

A tabela 6.16 avalia os cenários com base no atendimento aos objetivos estabelecidos anteriormente para serem alcançados pela elaboração do cenário de Infraestrutura Verde, enumerando os diversos benefícios.

Tabela 6.16. Comparação dos benefícios gerados pelos cenários

Objetivos ABC	Cenário de rede projetada	Cenário de Infraestrutura Verde
Controle de erosão nas rupturas de relevo e de assoreamento nos corpos hídricos.	SIM, na medida em que obedece a vazão máxima outorgável para os lançamentos de drenagem	
Amenização da temperatura do ar	NÃO	SIM, pois propõe a recuperação e criação de flora, amenizando os efeitos de ilha de calor da ocupação.
Evitar enxurradas do acúmulo do escoamento superficial das águas pluviais	SIM, desde que outros elementos da rede de drenagem estejam dimensionados para a demanda do escoamento superficial	
Limite à expansão fundiária	NÃO	SIM, limita a expansão da irregularidade e protege as áreas sensíveis locais, na medida em que a população se aproprie da área de parque.
Recuperação de nascentes	NÃO	SIM, propondo a recuperação das áreas degradadas e de seus processos bióticos fortalecendo a resiliência de todo o sistema ecológico da região.
Recuperação de vereda	NÃO	
Restabelecimento de habitat p/flora e fauna	NÃO	
Atendimento à capacidade dos córregos	SIM, de acordo com o estabelecido por regulação da ADASA	SIM, de acordo com o estabelecido por regulação da ADASA. E aumenta a resiliência de flora e fauna relacionada aos novos habitats recuperados e/ou criados pela proposta.
Recreação gratuita	NÃO. As bacias de detenção devem ser isoladas da população para evitar riscos à vida.	SIM, a proposta oferece espaços de lazer, práticas esportivas, educação e cultura em área desprovida de equipamentos dessa natureza.
Saúde preventiva	NÃO	SIM, considerando que as práticas de recreação, esporte e integração social auxiliam à prevenção de doenças.
Integração social	NÃO	SIM, com as áreas para trilhas, educação ambiental, quadras esportivas e anfiteatro, a população tem a oportunidade de convivência sadia.
Educação ambiental	NÃO	SIM, a educação ambiental é realizada especialmente em ambientes naturais, nos quais é possível a observação e interação com os aspectos ecossistêmicos inerentes.

Todas essas funcionalidades extras que podem ser reconhecidas como externalidades positivas de projetos de drenagem com incorporação de Infraestrutura Verde também podem ser monetariamente valoradas a fim de evidenciar para o poder decisório o real valor de soluções desse tipo. Os benefícios adicionais desses sistemas podem justificar suas escolhas, embora esse não tenha sido o foco do presente trabalho.

Tabela 6.17. Comparação das áreas ocupadas e volumes dos dispositivos

Cenário	Sub-bacias	Área ocupada (m ²)	Volume (m ³)
Rede Projetada	L1	43.600,00	52.416,00
	L2	42.700,00	56.286,00
Infraestrutura Verde	L1	51.000,00	25.475,34
	L1A	21.500,00	12.580,00
	L1B	11.160,00	5.980,00
	L2	91.500,00	44.642,00

Cabe dizer que as lagoas rasas propostas no cenário de Infraestrutura Verde precisam de mais espaço do que as bacias de detenção utilizadas na rede projetada e, no entanto, necessitam de menor volume para o amortecimento, conforme mostra a comparação de áreas ocupadas e volumes na tabela 6.17. Analisando a tabela, temos que na sub-bacia L1 da Rede Projetada, as bacias de detenção ocupam área de 43.600,00 m², enquanto que as sub-bacias L1, L1A e L1B da Infraestrutura Verde, equivalentes em área de contribuição, ocupam um total 83.660,00 m². A capacidade volumétrica das bacias de detenção da L1 da Rede Projetada é de 52.416,00 m³, enquanto que na Infraestrutura Verde, a soma do volume das lagoas chega a 44.035,34 m³. A mesma tendência pode ser observada na comparação da sub-bacia L2 em ambos cenários.

Nesse sentido, as lagoas de fluxo raso, ocupando mais superfície de solo, são mais adaptáveis em ambientes urbanos com espaço disponível para implantação de parques, seja no interior da malha urbana ou em seu entorno imediato, juntos a corpos hídricos receptores. Essa situação é comum no Distrito Federal onde, diferente de outras regiões metropolitanas do País, ainda existe espaço em áreas adjacentes às Áreas de Preservação Permanente/APP, possibilitando a formação de corredores para interligar parques e unidades de conservação locais. Por outro lado, em áreas urbanas com cobertura do solo impermeabilizada e sem espaços disponíveis, essa solução pode não encontrar os meios para ser desenvolvida, sendo mais indicado os dispositivos que ocupem menos espaço ou uma ação de requalificação urbana onde se crie as condições para a

abordagem da Infraestrutura Verde. Cabe ressaltar que o cenário da Infraestrutura verde elaborado neste trabalho propõe na sub-bacia L1 da Rede Projetada, uma redivisão em 3 áreas de contribuição, com pontos de lançamento distintos com o objetivo de dissipar o pico de vazão a ser amortecido em um único ponto, o que poderia ser utilizado também para o cenário com bacias de retenção.

As lagoas propostas possibilitam o plantio sistemático de espécies vegetais de áreas úmidas de borda, ou seja, aquelas que podem ficar em solo alagado e também sobreviverem ao período de estiagem, o que é comum no Distrito Federal. Nesse sentido, tanto as gramíneas quanto espécies arbustivas e arbóreas podem ser manejadas em seu interior e no seu entorno, proporcionando diversos benefícios, entre os quais, a filtração de poluentes por biorretenção, o que também favorece o desenvolvimento da vegetação e de processos ecológicos que potencializam a criação de habitats para animais típicos dessas áreas como anfíbios, aves e pequenos mamíferos.

Este contexto é fértil para o fortalecimento da abordagem da Infraestrutura Verde, ligando áreas e restabelecendo blocos ecossistêmicos, trazendo a população para usufruir do potencial recreativo em meio natural dentro de parques e/ou unidades de conservação. Ao contrário das bacias de retenção de grande profundidade, de caráter monofuncional, esses dispositivos rasos agregam, mais do que valores multifuncionais, valores multissistêmicos, uma vez que podem criar dinâmicas socioambientais em seu contexto e entorno, não apenas do Trecho 3, mas dos Trechos 1 e 2, próximos da área do parque.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa buscou apresentar os conceitos da Infraestrutura Verde como uma base para o planejamento urbano visando soluções de drenagem de menor impacto sobre os recursos hídricos em áreas com elevado grau de ocupação do solo. Ao mesmo tempo, o trabalho indica que o estabelecimento de um planejamento de Infraestrutura Verde para as cidades, que ofereça os benefícios socioambientais para usufruto da população, em especial as mais carentes, pode inserir conceitos de sustentabilidade na comunidade. Ao invés de se esperar que parta da população um cuidado maior com o meio ambiente urbano, a ação de ofertar uma gama de benefícios por meio do planejamento da Infraestrutura Verde local pode ser mais efetiva na melhoria das condições urbanas locais e até mesmo na escala particular dos lotes, por meio da conscientização e da percepção dos mecanismos ecológicos.

Diante da dificuldade na promoção de ações governamentais que requalifiquem áreas urbanas com solo extremamente ocupado, no sentido do estabelecimento de sistemas sustentáveis de drenagem com controle do escoamento na fonte, este trabalho buscou compreender a viabilidade de se trabalhar a mitigação dos impactos causados pela impermeabilização apenas nas áreas de parques. Não apenas com a alocação em seu interior de reservatórios de detenção provisória de caráter monofuncional que podem trazer riscos à população e, por isso, são espaços segregados e ociosos quando na época de estiagem. Mas, sim, propondo solução capaz de atender às diversas demandas de equipamentos e mobiliários urbanos ausentes, ao passo em que reconstitui e fortalece os espaços naturais com a formação de uma estrutura ecossistêmica. Nesse cenário, propôs lagoas provisórias com interface paisagística e ecológica com o meio natural e com a população, com baixa profundidade e comportando vegetação adaptável às condições elaboradas.

Os resultados obtidos com a modelagem no PCSWMM demonstraram que as lagoas propostas proporcionaram um pico de vazão no lançamento no corpo hídrico receptor menor do que a vazão máxima estabelecida para o Distrito Federal no âmbito da regulação da ADASA, em que a eficiência de amortecimento de pico de vazão variou de 93 a 95%. Quando comparadas ao cenário da rede projetada, cujo amortecimento de vazão foi entre 85 a 88%, o cenário da Infraestrutura Verde indica vantagens que podem proporcionar atendimento a eventos com TR superiores.

Apesar de algumas lagoas, de acordo com os resultados, não serem necessárias para o alcance desse objetivo, a proposta não envolve apenas o controle de vazão, mas também a recuperação de área degradada e o estabelecimento de processos ecológicos. Nesse sentido, a comparação elaborada entre os cenários em relação ao atendimento dos objetivos elencados para a área, demonstra os benefícios da multifuncionalidade da proposta da Infraestrutura Verde, na possibilidade de atender a diversas demandas e ainda criando um espaço de integração para a população.

Vale ressaltar que ao criar um parque ecológico ou uma unidade de conservação, abre-se a oportunidade de aplicação de recursos oriundos da compensação ambiental que é valor percentual cobrado dos empreendedores com base no grau de impacto do empreendimento e em valor de referência baseado nos custos de implantação, seguindo metodologia específica definida no Decreto no 4.340, de 22 de agosto de 2002 e suas alterações, regulamentando o Sistema Nacional de Unidades de Conservação/SNUC. Na prática é valor de 0 a 0,5% dos custos de implantação de infraestrutura no parcelamento do solo e que deverá ser utilizado, entre outros, para fins de *“aquisição de bens e serviços necessários à implantação, gestão, monitoramento e proteção da unidade, compreendendo sua área de amortecimento”*. Em síntese, os dispositivos de drenagem convencionais são implantados com recursos relacionados às obras de infraestrutura. No caso dos parques, podem ser utilizado recursos da Compensação Ambiental. Além disso, a gestão e manejo dessas áreas é de responsabilidade do órgão ambiental, o que facilita a manutenção e manejo voltado à drenagem e à recuperação da área.

Os benefícios alcançados pelo cenário proposto alcançam aspectos ambientais, sociais e de infraestrutura urbana. O SHSN por ter ocupação em áreas protegidas e sensíveis tem indicação para realocação de população para áreas mais seguras estabelecidas no próprio setor. Nesse contexto, o cenário revela importância nessa delimitação de espaço restrito à ocupação, tanto do ponto de vista ambiental quanto do fundiário, evitando sua ocupação e expansão da ocupação, o que agravaria ainda mais as condições de vida da comunidade. Os aspectos dos benefícios sociais trazem, entre outras coisas, um local propício ao programa de educação ambiental para a população local, exigência do procedimento de licenciamento.

Dentro de todos os aspectos abordados, é possível concluir que o cenário proposto é indicado como solução compatível para ocupações com espaços de parques disponíveis que comportem a superfície necessária para o desenvolvimento de dispositivos

adequados, adicionando benefícios extras para a solução de importantes questões urbanas atuais.

Recomenda-se a continuidade deste estudo na direção da valoração dos benefícios que a multifuncionalidade incorpora, podendo ser monetariamente valorados e poder, assim, subsidiar dados para os tomadores de decisão. Da mesma forma, recomenda-se a continuidade do estudo com objetivo de compreender e indicar as ações de recuperação e as características necessárias para a eficiência do processo de biorretenção voltadas à qualidade das águas pluviais e ao manejo dos dispositivos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHERN, J. Greenways as Strategic Landscape Planning: Theory and Application. Universidade de Wageningen 2002. Disponível em:< https://www.researchgate.net/publication/40217268_Greenways_as_Strategic_Landscape_Planning_Theory_and_Application>

AHERN, J. Green Infrastructure for Cities: The Spatial Dimension. In: Cities of the Future – Towards Integrated Sustainable Water Landscape Management, (orgs.) Novotny, V. e Brown, P. IWA Publishing, London, 2007. pp. 267-283.

AHERN, J. Planning and Design for Sustainable and Resilient cities: Theories, Strategies and Best Practice for Green Infrastructure, in: Novotny, V., Ahern, J., and Brown, P. (Eds). Water-Centric Sustainable Communities. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2010.

AHERN, J. Urban landscape sustainability and resilience: The promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. Landscape Ecology 28, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/257616980_Urban_landscape_sustainability_and_resilience_The_promise_and_challenges_of_integrating_ecology_with_urban_planning_and_design>

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/>

ALVES, P. Simulações de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem: proposta em duas microbacias urbanas. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande/PB, 2017. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/1262/1/PRISCILA%20BARROS%20RAMALHO%20ALVES-DISSERTA%C3%87%C3%83O%20%28PPGECA%29%202017.pdf>>

ARKIS, 2017 Relatório Técnico do Projeto de Drenagem do Trecho 3 da ARIS SOL NASCENTE, Brasília-DF, 2017.

ARTMANN M.; XIE M.; LI J. Special Issue on Green Infrastructure for Urban Sustainability. Journal of Urban Planning and Development, June 2015. Universidade de Maryland, 2015.

BALEEIRO, C. B. R. Análise do Parque Linear Macambira Anicuns como Infraestrutura Verde em Goiânia. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: <https://www.eec.ufg.br/up/140/o/AN%C3%81lise_do_parque_linear_macambira_anicuns_como_infraestrutura_verde_em_goi%C3%82nia_-_final.pdf>

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>>

BELANGER, P. Landscape Infrastructure: Urbanism Beyond Engineering. Universidade de Wageningen, Wageningen, 2013. Disponível em: <https://www.academia.edu/7642504/Landscape_Infrastructure_Urbanism_beyond_Engineering?auto=download>

BELANGER, P. Landscape as Infrastructure. Landscape Journal 28: 79-85, 2009. Disponível em: <<https://www.jstor.org/>>

BONZI, R. Andar sobre Água Preta: a aplicação da infraestrutura verde em áreas densamente urbanizadas / Ramón Stock Bonzi. --São Paulo, 2015.

BONZI, R. Emerald Necklace – Infraestrutura Urbana Projetada como Paisagem. Revista Labverde, n. 9, p. 106-127, 28 jan. 2015. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/84547>

BRASIL. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. ADASA. Cadastro georreferenciado das redes de drenagem do Distrito Federal. Brasília-DF, 2018.

BRASIL. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. ADASA. Resolução n° 09 de 8 de abril de 2011. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados. Disponível em: http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/Legislacao/Res_ADASA/Resolucao_009_2011.pdf

BRASIL. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. ADASA. Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal. Disponível em: http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/drenagem_urbana/Manual_Drenagem/Manual_Drenagem.pdf

BRASIL. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. ADASA. Plano Diretor de Drenagem Urbana. Brasília-DF, 2009. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/drenagemurbana/plano-diretor-de-drenagem-urbana-pddu-df>>

BRASIL. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. CODEPLAN. PDAD/CEILÂNDIA – 2018 Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílio. Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2015. Disponível em: <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/05/Ceil%C3%A2ndia.pdf>

BRASIL. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. Brasília-DF, 2009. Lei Complementar n° 803, de 25 de abril de 2009.

BRASIL. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Sistema Distrital de Unidades de Conservação/SDUC. Lei Complementar n° 827, de 22 de julho de 2010.

CABRAL, J.; Mascarenhas, F.; Castro, M.; Miguez, M.; Peplau, G.; Bezerra A. Cap. 3 - Modelos Computacionais para Drenagem Urbana. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396 p.

CANHOLI, A. P., Drenagem Urbana e Controle de Enchentes, 2ª edição, São Paulo: Oficina de textos, 2014.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS – USEPA. Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices. Washington, D.C., 2007. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/2008_01_02_nps_lid_costs07uments_reducingstormwatercosts-2.pdf>

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. AGÊNCIA PUGET SOUND ACTION TEAM - PSAT; WASHINGTON STATE UNIVERSITY PIERCE COUNTY EXTENSION – WSU. Low Impact Development: Technical Guidance Manual for Puget Sound. Washington, D.C., 2005. Disponível em: <https://www.psp.wa.gov/downloads/LID/LID_manual2005.pdf>

FABOS, Julius. G. Land-Use Planning: From Global to Local Challenge. New York: Dowden and Culver, 1985.

FERREIRA, L. Avaliação do funcionamento de um dispositivo de biorretenção: monitoramento e modelagem. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2017.

FILENI, F. Modelagem da Drenagem Urbana - Aplicação de Técnicas de Drenagem Sustentável em Quatro Sub-bacias na Região Administrativa de Ceilândia-df. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Brasília-DF. 2017

FIREHOCK, K. Short history of the term Green Infrastructure and selected literature. Disponível em: Acesso em: 05/08/2019.

FIREHOCK, K. Green Infrastructure at Multiple Scales: How to Re-green and Re-link the Urban Landscape. The Green Infrastructure Center Inc. The Potomac Watershed Partnership, 2014. Disponível em: < <https://potomacpartnership.org/wp-content/uploads/2015/11/Green-Infrastructure-at-Multiple-Scales.pdf>>

FRANCO, M. Infraestrutura Verde em São Paulo - O Caso do Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos. Rev. LABVERDE, São Paulo, v.1, n.1, p. 134-155, 2010.

FRANCO, M; SUASSUNA, S. Conexão de manchas verdes urbanas em São Paulo (SP). Estudo de caso: Parque Alfredo Volpi e Parque do Povo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2018.

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

GERMAIN, S. Projeto de Urbanismo de Regularização de Parcelamento da ARIS Sol Nascente Trecho 3. Brasília-DF, 2009. Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009.

GINER, B. La Infraestructura Verde como Base de La Resiliencia Urbana: Estrategias para la regeneración de corredores fluviales urbanos del Banco Interamericano de Desarrollo. Universidade de Madrid – Escola Técnica de Arquitetura. Madrid, 2016.

HERZOG, C. Guaratiba verde: subsídios para o projeto de infraestrutura verde em área de expansão urbana na Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ / FAU, 2009

HERZOG, C. ; ROSA, L. Infraestrutura verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. Revista LABVERDE, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/revistalabverde/article/view/61281/64217>>.

McHARG, Ian L. Design with Nature. New York: The Natural History Press, 1969.

MARTINS, J. R. S. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia é suficiente? Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras_Hidr%C3%A1ulic/gestaodrenagem.pdf>

METZER, J. O que é ecologia de paisagens? Biota Neotropica, Vol. 1, números 1 e 2, 2001. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/fullpaper?bn00701122001+pt>>

MOURA, N. C. B. R., Biorretenção: Tecnologia Ambiental Urbana para Manejo das Águas da Chuva, São Paulo, 2013.

OLIVEIRA, R. C. Guia de Gramíneas do Cerrado. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA – UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2018 – Soluções Baseadas na Natureza para a Gestão das Água. Perúgia, Itália, 2018.

OTSUKA, C. Y. Aplicação de Protocolo de Avaliação Rápida no Córrego Água Espreada, São Paulo/SP. Camila Yumi Otsuka – Florianópolis, 2013

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>>

PELLEGRINO, P. Pode-se Planejar a Paisagem? Paisagem E Ambiente, (13), 159-179. Universidade de São Paulo/USP, 2000.

Disponível em:<<https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i13p159-179>>

PILON, N. Técnicas de restauração de fisionomias campestres do cerrado e fatores ecológicos atuantes. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia. Campinas, 2016.

PROGEA Engenharia E Estudos Ambientais. Estudo De Impacto Ambiental E Relatório De Impacto Do Meio Ambiente. Brasília, 2006.

RIBEIRO, M. Infraestrutura verde, uma estratégia de conexão entre pessoas e lugares: por um planejamento urbano ecológico para Goiânia. Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2010.

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. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf

RIGUETTO, A. M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. Cap. 1 - Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396 p.

ROCHA, M. Paisagem urbana integrada às técnicas compensatórias de drenagem: solução para os alagamentos em Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 199p.

ROSSMAN, L. Storm water management model User's manual Version 5.0. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency, 2010. 285 p. Disponível em:<https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=114231

ROSSMAN, L. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1 - manual. US EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-14/413 (NTIS EPA/600/R-14/413b), 2015. Disponível em:< https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=310032

SALATI, E. Controle de qualidade de água através de sistemas de wetlands construídos. Fundação Brasileira para o desenvolvimento sustentável, Rio de Janeiro, 2001

SOARES, M. Parques lineares em São Paulo: uma rede de rios e áreas verdes que conecta lugares e pessoas. Faculdade de Arquitetura/FAU e Urbanismo da Universidade de São Paulo/USP, 2014.

TOMAZ, P. Infiltração usando o Método do número da curva CN do SCS. 2011.

TUCCI, C. E. M., Relatório Técnico da Resolução de Outorga de Águas Pluviais, Brasília-DF, 2010. Disponível em: <http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/audiencia_publica/ANEXO_I_NT_001011_Relatorio_Tecnico_Aguas_Pluviais.pdf>

TUCCI, C. E. M., Águas Urbanas, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07.pdf/>>

TUCCI, C. E. M., Gestão da drenagem urbana, Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs_Ipea_Cepal/tdcepal_048.pdf>

TUCCI, C. E. M., Regulamentação da drenagem urbana no Brasil, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/9ab609843c59c2457a38937f5da8e1ac_32607cf292f137e7d029aac1c7362436.pdf>

TUCCI, C. E. M.; SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/professor/cfs/abrh2012.pdf>

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.

WHITEHEAD, P. G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. *Journal de Hydrology*, 145:217-230, 1993. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/222741324_Experimental_basin_studies-an_international_and_historical_perspective_of_forest_impacts>

YU, K. ; PADUA, M. *The Art of Survival – Recovering Landscape Architecture*. Victoria: The Images Publishing Group Pty, 2006. Disponível em:< https://www.asla.org/uploadedFiles/CMS/Business_Quarterly/tha%20Art%20of%20Survival.pdf>