

# Paisagem urbana natureza & pessoas

Maria do Carmo de Lima Bezerra  
(organizadora)

EDITORA



**UnB**



Pesquisa,  
Inovação  
& Ousadia



**Universidade de Brasília**

**Reitora** : Márcia Abrahão Moura  
**Vice-Reitor** : Enrique Huelva

EDITORA



**UnB**

**Diretora** : Germana Henriques Pereira

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



# Paisagem urbana

Natureza & pessoas

Maria do Carmo de Lima Bezerra  
(organizadora)



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

: © 2020 Editora Universidade de Brasília

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

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

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

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

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília

---

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

ISBN 978-65-5846-006-0

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

---

CDU 711.4

# Sumário

**Prefácio 9**

**Introdução 13**

Parte I

Capítulo 1

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

Maria do Carmo de Lima Bezerra

Marly Santos da Silva

Introdução **19**

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

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

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

Considerações finais **43**

Capítulo 2

**Contribuições da infraestrutura verde para o planejamento da paisagem urbana 45**

Camila Gomes Sant'Anna

Maria do Carmo de Lima Bezerra

Introdução **45**

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

2 Princípios da infraestrutura verde **57**

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

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

Considerações finais **69**

## Parte II

### Capítulo 3

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

Maria do Carmo de Lima Bezerra  
Mariana Arrabal  
Vitor Camuzi

##### Introdução **73**

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

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

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

##### Considerações finais **107**

### Capítulo 4

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

Ana Paula Seraphim  
Aline Oliveira

##### Introdução **109**

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

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

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

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

##### Considerações finais **142**

## Parte III

### Capítulo 5

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

Anna Carollina Palmeira

Tatiana Chaer

##### Introdução 147

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

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

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

Considerações finais 173

### Capítulo 6

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

Maria do Carmo de Lima Bezerra

##### Introdução 175

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

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

3 Gestão urbana e compatibilidade com preservação ambiental 189

Considerações finais 193

## Parte IV

### Capítulo 7

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

Carolina Pescatori

Luciana Saboia

Tauana Ramthum do Amaral

#### Introdução **199**

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

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

Considerações finais **215**



## Parte II



Saída

ATENCIÓN  
El cliente debe mantenerse dentro del espacio  
Reservado para el personal de la oficina.  
No se permite el acceso de terceros.  
Se reserva el derecho de modificar las condiciones de uso sin previo aviso.

oda  
& Rosa



# 4

Capítulo 4

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

Ana Paula Seraphim  
Aline Oliveira

### Introdução

O processo de urbanização resulta em alterações na cobertura do solo, com consequentes alterações do regime hidrológico, principalmente, quanto à interceptação, ao escoamento, à infiltração, à evaporação, à



evapotranspiração e à recarga das águas subterrâneas. Leva, assim, a uma redução na quantidade e na qualidade da água em ambientes urbanos.

Os impactos da ocupação urbana na quantidade e na qualidade de água acontecem de forma mais pronunciada nas áreas de maior sensibilidade hidrológica, como as áreas à beira d'água e as áreas de recarga de aquíferos. Dessas, as áreas de recarga impõem um maior desafio devido às semelhanças entre as características do ambiente físico tanto em relação à recarga do aquífero, como em relação à urbanização (SERAPHIM, 2018; SERAPHIM; BEZERRA, 2019). Essas semelhanças dificultam evitar a ocupação urbana nas áreas de recarga, aumentando a proporção do impacto sobre o ciclo hidrológico. Isso torna a implementação de estratégias de ocupação urbana de baixo impacto para a recarga de aquíferos necessária em áreas urbanas. No entanto, essa tarefa representa um grande desafio devido à complexidade e à heterogeneidade dos padrões urbanos e sua relação com os impactos hidrológicos.

Historicamente, a modelagem hidrológica urbana tem sido feita principalmente pela área da engenharia civil, com foco em estimar o escoamento superficial para dimensionar as redes de drenagem. Os vários modelos utilizam a porcentagem de áreas impermeáveis como a principal característica urbana considerada para estimar o escoamento superficial, como demonstrado em *Soil and water analysis tool* (ARNOLD *et al.*, 2012; ROSSMAN, 2015) e em *Stormwater management model* (LEE; NIETCH; PANGULURI, 2017).

Esses modelos constroem cenários para estimar o escoamento superficial considerando os seguintes parâmetros: *i*) geoambientais, relacionados a características da vegetação, do clima, da geomorfologia, da hidrogeologia, da declividade, das drenagens naturais, da radiação solar, da temperatura, da velocidade dos ventos, da umidade do ar, da intensidade e do volume da chuva, da condutividade hidráulica saturada, da capacidade de campo do solo, dos tipos de cobertura vegetal natural, entre outros; e *ii*) relacionados à antropização das áreas, medidos normalmente de acordo com as densidades construtivas ou percentuais de áreas impermeabilizadas.

Embora essa medida possa ser suficiente para alguns casos e tenha sido utilizada como modelo predominante para soluções de drenagem urbana, ela também tem levado a vários problemas que induziram o desenvolvimento de novas soluções denominadas *urbanismo sensível à água*. Trata-se de novas abordagens que procuram relacionar os impactos sobre o sistema hidrológico com a forma urbana, possibilitando que as áreas do planejamento e do projeto urbano possam contribuir para a gestão sustentável da água.

Desde meados da década de 1980, novas abordagens urbanísticas têm buscado integrar o uso e a ocupação do solo urbano com a gestão da água, fornecendo uma gama de soluções para mitigar os impactos negativos da urbanização no regime hidrológico, como o Low Impact Development (LID) e o Water Sustainable Urban Design (WSUD). As diretrizes propostas por essas abordagens representam um avanço importante na construção de cidades sensíveis à água. No entanto, sua implementação ainda ocorre de forma pontual e incompleta, devido à sua complexidade e incertezas quanto ao seu alcance, exigindo o desenvolvimento de técnicas que auxiliem na sistematização das soluções e na redução das incertezas.

Este capítulo apresenta os resultados de uma pesquisa (SERAPHIM, 2018; SERAPHIM; BEZERRA; OLIVEIRA, 2019) que buscou contribuir para esse tema construindo um referencial metodológico que evidencie as associações entre: *i*) principais fatores que levam à perda de infiltração natural nas cidades; *ii*) estratégias de urbanização sensível à água que possam mitigar a ocorrência desses fatores; e *iii*) elementos configuracionais da forma urbana que podem ser utilizados na gestão da ocupação urbana. Esse arcabouço e suas conexões causais podem ajudar a aprofundar a compreensão da ligação entre a forma urbana e o impacto hidrológico, principalmente, quanto à infiltração natural, o que proporciona diretrizes claras para a ocupação de menor impacto nas áreas de recarga dos aquíferos.

Para a construção desse quadro metodológico de análise, parte-se de uma revisão bibliográfica e da sistematização dos principais impactos do processo de urbanização sobre a dinâmica da infiltração natural. Logo

em seguida, organizam-se as estratégias de urbanização sensível à água de acordo com seu potencial de mitigação dos impactos anteriormente identificados. Por fim, relacionam-se essas estratégias com elementos configuracionais e com parâmetros urbanísticos, de modo que possam ser utilizados para a análise e a elaboração de projetos e de planos de ocupação de regiões a serem urbanizadas em áreas de recarga de aquíferos.

Em um segundo momento deste estudo, os parâmetros listados no quadro metodológico foram utilizados na elaboração de um plano de ocupação urbana em uma área de recarga de aquíferos na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, no Distrito Federal, Brasil. O plano de ocupação desenvolvido foi comparado a outros, em dois cenários distintos, com simulações hidrológicas: *i*) um pré-urbanização; e *ii*) um de ocupação dispersa e de baixa densidade.

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

A infiltração natural da chuva em superfícies permeáveis é controlada por três mecanismos: a taxa máxima possível de entrada da água através da superfície do solo, a taxa de movimento da água através da zona vadosa e a taxa de drenagem da zona vadosa para a zona saturada. A infiltração natural é significativamente reduzida nas áreas urbanas devido, principalmente, a fatores que afetam a taxa máxima possível de entrada da água e a características das primeiras camadas da zona vadosa.

Apesar de as alterações nas taxas naturais de infiltração das águas da chuva em áreas urbanas serem atribuídas principalmente à menor disponibilidade de superfícies permeáveis, esse não é o único fator que influencia essa alteração. O estudo da bibliografia recente sobre o tema faz concluir que são três os principais fatores causados pelo processo de urbanização que levam à alteração da taxa máxima possível de entrada da água no solo e das características das primeiras camadas da zona vadosa: *i*) o selamento do solo por superfícies impermeáveis (FOSTER; MORRIS; LAWRENCE, 1994; ARNOLD; GIBBONS, 1996;

MAKSIMOVIC; TUCCI, 2001; SHUSTER *et al.*, 2005; MARSALEK *et al.*, 2006; JACOBSON, 2011); *ii*) a compactação do solo (GREGORY *et al.*, 2006; PITT *et al.*, 1999, 2003, 2009); e *iii*) a redução da cobertura vegetal arbórea (AMARAL, 2015; HAMILTON; WADDINGTON, 1999; KAYS, 1980).

### 1.1 Selamento do solo

O selamento do solo por meio de superfícies impermeáveis é o impacto mais visível da urbanização na infiltração natural, consistindo em edifícios e em áreas pavimentadas com materiais impermeáveis, nos quais a taxa de entrada da água no solo é igual a zero. O impacto dessas superfícies não é apenas na diminuição da infiltração, mas também no aumento da velocidade de escoamento, na redução do tempo de resposta dos corpos receptores, na contaminação da água e na maior ocorrência de alagamentos ou enchentes (BOOTH, 1991; MARSALEK *et al.*, 2006; SHUSTER *et al.*, 2005).

A média de superfícies impermeáveis em áreas residenciais de baixa densidade é por volta de 20% do total de área ocupada (ARNOLD; GIBBONS, 1996; MAKSIMOVIC; TUCCI, 2001). Refere-se principalmente à malha viária, que causa aumento de volume e de carga de poluentes de origem difusa. Em áreas mais densamente povoadas e em distritos comerciais, a proporção de superfícies impermeáveis pode atingir entre 60% a 80% de toda a área ocupada (ARNOLD; GIBBONS, 1996; FOSTER; MORRIS; LAWRENCE, 1994). Refere-se principalmente aos telhados e aos estacionamentos, que causam o acúmulo de poluentes de deposição atmosférica e de emissões veiculares.

Ao analisar seu impacto na infiltração, é necessário considerar, além de sua extensão de área, outras características da forma urbana que afetam o regime hidrológico, como sua interconexão e sua conexão com áreas permeáveis próximas, que podem receber seu escoamento. A este respeito, muitos estudos separam a área impermeável em: *i*) diretamente conectada com a rede de drenagem convencional, como ruas e estacionamentos ligados ao sistema de drenagem; *ii*) indiretamente

conectada, como telhados e calçadas, que escoam em direção a áreas vegetadas (JACOBSON, 2011; SHUSTER *et al.*, 2005). A água, ao cair sobre áreas impermeabilizadas diretamente conectadas, é rapidamente drenada para fora dos limites da área urbana e despejada em corpos hídricos superficiais, com ou sem tratamento, diminuindo significativamente oportunidades para infiltração, enquanto a água sobre as áreas impermeabilizadas indiretamente conectadas pode contribuir para a infiltração natural, por meio de áreas permeáveis próximas.

Alguns autores (HOUGH, 1984; MOTA, 1981), utilizando modelos matemáticos, fazem correlações diretas entre percentual de superfícies impermeáveis e parâmetros de infiltração ou de escoamento. Com base em relações estatisticamente significativas, tem-se que, em condições gerais, para áreas naturais, cerca de 50% da água da chuva infiltra no solo e, em áreas urbanas de alta densidade construtiva, esse valor pode ser reduzido para até 15%. Entretanto, outros autores (BRUN; BAND, 2000; JACOBSON, 2011) que realizaram testes de campo chegaram à conclusão de que essa correlação entre tipos de cobertura do solo e taxas de infiltração não é tão linear, podendo variar bastante entre áreas com a mesma porcentagem de superfícies impermeáveis e tipo de solo.

Ademais, existe dificuldade em se conseguir dados confiáveis para as análises. As taxas de impermeabilização e suas características específicas são difíceis de serem medidas com precisão, e muitas têm sido as metodologias adotadas para sua quantificação. Por exemplo, Lee e Heaney (2003) realizaram um estudo sobre o impacto de diferentes métodos de estimativa e de classificação de superfícies impermeáveis. O resultado mostra diferença nos fluxos de pico modelados da ordem de 265%, conforme a metodologia adotada.

## 1.2 Compactação do solo

A compactação do solo também tem grande impacto sobre a infiltração natural urbana. Ela ocorre nas áreas urbanas principalmente devido a atividades associadas ao processo inicial de urbanização, como importação

de solos e posterior compactação e ruptura de sua estrutura durante operações de corte, de terraplanagem e de fundação (PITT *et al.*, 1999, 2009; GREGORY *et al.*, 2006). Isso demonstra que a compactação causada por equipamentos leves, no dia a dia da cidade, influencia menos a infiltração do que aquela causada por equipamentos pesados, como caminhões e tratores, que ocorre, geralmente, na fase de urbanização e em zona industriais.

Em empreendimentos convencionais que não adotam técnicas de perturbação mínima do solo, grande parte dos lotes, se não todos, é desmatada, aplainada e, posteriormente, gramada (HINMAN, 2012). Nesse tipo de empreendimento, é possível assumir que as áreas que foram “limpas” dentro da zona de construção, mesmo que posteriormente vegetadas, tornam-se compactadas tanto pelas atividades de movimentação de terra, quanto pela passagem de maquinários pesados e terão taxas de infiltração bastante reduzidas (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973; HINMAN, 2012).

A compactação afeta as propriedades físicas do solo, diminuindo significativamente a porosidade de suas primeiras camadas e levando a uma baixa da permeabilidade, podendo, inclusive, dificultar a penetração das raízes (GREGORY *et al.*, 2006; PITT *et al.*, 2003, 2009). Estudos demonstram que a compactação pode reduzir a taxa de infiltração de solos arenosos, em média, seis vezes e meia (PITT *et al.*, 1999, 2003, 2009), enquanto a infiltração em solos argilosos é afetada grandemente pela compactação, podendo reduzir em até 11 vezes as taxas de infiltração e aproximá-las de zero (PITT *et al.*, 1999, 2003, 2009).

Existe uma expectativa de que a compactação do solo urbano diminua com o tempo, desde que não perturbado novamente (PITT *et al.*, 1999). Ou seja, em novos empreendimentos, os solos compactos são dominantes, enquanto em áreas onde a perturbação do solo urbano ocorreu há bastante tempo, o solo pode ter recuperado parte de sua capacidade de infiltração devido ao desenvolvimento de estruturas radiculares e à presença de insetos do solo. De qualquer forma, PITT *et al.* (1999) indicam que são necessárias várias décadas para que os solos compactados se recuperem até condições similares às de pré-desenvolvimento.

### 1.3 Redução da cobertura vegetal

A cobertura vegetal também afeta as taxas de infiltração da água no solo. As raízes das plantas, os insetos e os micróbios escavam, penetram e juntam as partículas do solo, de forma a melhorar sua estrutura e porosidade (HINMAN, 2012). Os micros e macroporos criados por essas estruturas melhoram a capacidade de retenção e de infiltração do solo. Isto ocorre principalmente em áreas com cobertura arbórea, que possuem raízes mais profundas e, portanto, são capazes de alterar a estrutura do solo em grandes áreas ao seu redor, enquanto a porosidade criada pelas raízes da maioria das espécies de gramíneas é apenas superficial (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973; AMARAL, 2015).

Sendo assim, juntamente com a perturbação do solo, a substituição da vegetação nativa, principalmente do porte arbóreo, por gramíneas ou por solo exposto, é outro fator de grande influência sobre a permeabilidade do solo urbano. Kays (1980) analisou as taxas de infiltração em uma bacia residencial de baixa densidade, que teve a maior parte de seu solo perturbado, conseqüentemente, compactado, e de sua vegetação nativa removida durante a urbanização. O estudo mostra que, embora as superfícies impermeáveis tenham selado apenas 27,1% do solo, a taxa de infiltração nas áreas gramadas foi reduzida em até 30 vezes, em comparação com a área de floresta remanescente que, com o mesmo tipo de solo, alcançou taxas de infiltração inferiores a 0,45 cm/h.

Outro estudo, realizado por Kelling e Peterson (1974), procurou demonstrar que diferenças de taxa de infiltração entre áreas urbanas gramadas com o mesmo tipo de solo devem-se principalmente à compactação do solo. Esse estudo conclui que áreas gramadas apresentam, naturalmente, menores taxas de infiltração do que áreas com cobertura arbórea, mas, no meio urbano, as áreas gramadas encontram-se normalmente associadas à perturbação e conseqüente compactação do solo, havendo uma redução ainda maior da taxa de infiltração.

## 2 Diretrizes de urbanização facilitadoras da infiltração natural

Esta seção de desenvolvimento da metodologia investigou os seguintes manuais e documentos em busca de diretrizes de desenho urbano com influência no aumento da infiltração natural no solo urbanizado: i) *Ian McHarg, Sutton e Spirn* (1973); ii) – *Programa Hidrológico Internacional (IHP)*, conforme Andjelkovic (2001); iii) *Low Impact Development (LID)*, conforme Hinman (2012), *Prince Georges County* (2000); *Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA)* (2000a, 2000b); iv) *Water Sustainable Urban Design (WSUD)*, conforme Melbourne Water (2014); v) e *Sistemas de Drenagem Sustentável (SuDS)*, conforme Woods-Ballard *et al.* (2015). As técnicas, as estratégias e as diretrizes encontradas foram organizadas de acordo com sua utilidade para mitigar os três principais fatores intervenientes na capacidade de infiltração natural da água no solo.

### 2.1 Diretrizes para mitigar os impactos negativos do selamento

Com base na leitura das diretrizes dos manuais, identificaram-se aquelas que se aplicam à mitigação do impacto de áreas impermeabilizadas. Elas foram divididas em dois grupos de estratégias principais: i) redução da área de superfícies impermeáveis; e ii) desconexão de áreas diretamente conectadas ao sistema de drenagem convencional.

#### 2.1.1 Redução da área total

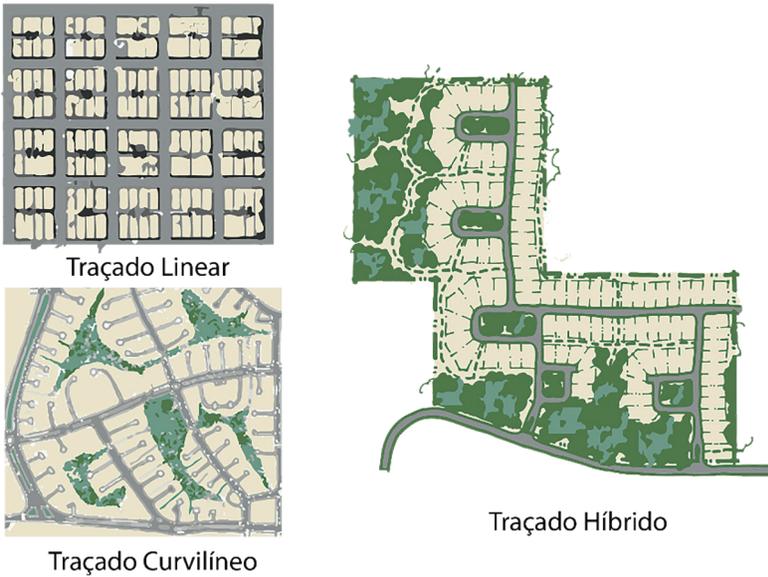
Para redução da área de superfícies impermeáveis, o sistema viário é um dos elementos mais relevantes a ser trabalhado, uma vez que ele é responsável por grande parte do total das superfícies seladas em áreas urbanas e, muitas vezes, está diretamente conectado ao sistema de drenagem convencional, o que gera menores oportunidades para infiltração. A escolha do traçado viário pode causar variações no total

de sua superfície em até 30% (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000; HINMAN, 2012). O sistema de traçado em grelha uniforme é o que ocupa a maior área e o que mais predomina nas cidades. Para diminuir sua extensão, é possível reduzir possíveis cruzamentos de vias por meio da ampliação de quarteirões. Os traçados curvilíneos, por sua vez, ocupam as menores áreas (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000). Entretanto, apesar de o traçado em grelha resultar em uma proporção maior de áreas impermeabilizadas, ele promove acesso mais direto aos serviços, enquanto os sistemas curvilíneos geralmente desencorajam as viagens a pé por serem longos, confusos e menos conectados. Recentemente, planejadores têm integrado os dois modelos para incorporar pontos positivos dos dois (ANDRADE, 2014; HINMAN, 2012). Essa disposição de vias tem recebido vários nomes, como *traçado híbrido* ou *planos de cabeceiras*, como se vê na figura 1 (HINMAN, 2012).

Além do tipo de traçado, a largura das vias também possui grande influência na área coberta pelo sistema viário. Pode-se reduzir a largura pela redução do número de vagas laterais, pela redução do tamanho de bolsões de retorno e pela redução da largura das faixas (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000; HINMAN, 2012). Uma redução de largura da faixa de 8 m para 6 m pode reduzir o total de área impermeabilizada de uma rua em 30%, o que resulta em 25% de redução do escoamento superficial gerado por essa área (HINMAN, 2012). O manual LID para a região de Puget Sound, nos Estados Unidos, recomenda que, para reduzir o total de áreas seladas, as ruas de serviço ou de acesso a áreas residenciais não possuam mais de 3,5 m de largura quando de mão única e 5 m quando de mão dupla (HINMAN, 2012). O impacto dessa adequação pode ser enorme. A Associação Americana de Estradas e Transportes estima que 65 a 80% das ruas pavimentadas do país são ruas de serviço ou de acesso a áreas residenciais ou rurais (HINMAN, 2012, p. 47). Em adição, a redução da largura das vias de acesso pode ser uma medida que auxilia na redução da velocidade, tornando essas vias mais seguras. Outras medidas consideradas *traffic calming* são: estrangulamentos, desalinhamentos, refúgios de travessia e balões, que podem também reduzir o total de área impermeabilizada das vias

e a velocidade de escoamento da água, gerando mais oportunidades para infiltração.

**Figura 1:** Tipos de traçado viário



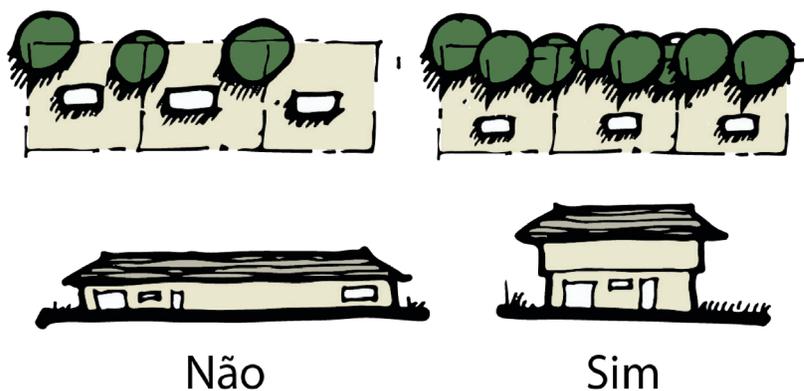
Fonte: Elaboração das autoras.

Na escala do lote, para reduzir o total de áreas impermeabilizadas, recomendam-se, segundo vários autores (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973; PRINCE GEORGES COUNTY, 2000; ANDJELKOVIC, 2001): *i*) verticalização das construções, para que ocupem menor percentual da área do lote para um mesmo total de metros quadrados construídos; *ii*) entradas de garagens compartilhadas, para limitar o percentual pavimentado dentro dos lotes; *iii*) limitação da largura de garagens ao máximo de 2,45 m; *iv*) redução do afastamento frontal das construções, para minimizar o comprimento das áreas de acesso; *v*) adoção de casas geminadas ou de afastamento lateral obrigatório reduzido.

Estudos realizados pelo LID demonstram que a adoção dessas estratégias pode aumentar a área considerada permeável de um lote de 500 m<sup>2</sup> em até 70%, como se vê na figura 2 (HINMAN, 2012). Ainda,

a configuração dos lotes influencia na configuração do traçado viário e, conseqüentemente, no percentual impermeabilizado total do parcelamento. Casas mais agrupadas em lotes com menores frentes reduzem a área total de ruas necessária para cada unidade imobiliária (HINMAN, 2012).

**Figura 2:** Diretrizes de ocupação dos lotes



Fonte: Elaboração das autoras.

É comum a associação das estratégias de desenho urbano sensível à água a baixas densidades construtivas, entretanto, isto é equivocado. Análises que associam o aumento da densidade ao aumento da impermeabilização do solo não levam em consideração o número de habitações que esse empreendimento comporta ou o impacto geral sobre a área da região ou da bacia hidrográfica no aumento da população nos mesmos moldes.

Áreas de baixa densidade apresentam maior quantidade de superfícies impermeabilizadas por residência. Por exemplo, um estudo da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2000b) modelou cenários de escoamento superficial para três densidades urbanas, em três escalas de ocupação, para examinar a premissa de que a urbanização de alta densidade permite uma maior infiltração da água considerando a área da bacia (tabela 1). Descobriu-se que as densidades mais

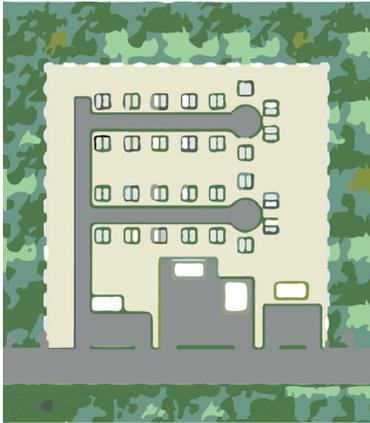
altas geram menos escoamento pluvial total e por moradia em todas as escalas analisadas (figura 3).

**Tabela 1:** Associação entre diferentes densidade de ocupação urbana e geração de áreas impermeáveis e escoamento superficial

Cenário	km <sup>2</sup>	% imperme.	Escoam. total (m <sup>2</sup> /ano)	Escoam. / domicílio (m <sup>2</sup> /ano)	% escoam. / domicílio em relação ao cenário A
Na escala de um acre					
A: 1 domicílio	0,004	20%	530	530	0
B: 4 domicílios	0,004	38%	700	175	67%
C: 8 domicílios	0,004	65%	1.120	140	74%
8 casas acomodadas nos diferentes cenários de densidade					
A: 8 domicílios	0,032	20%	4.235	530	0
B: 8 domicílios	0,008	38%	1.405	175	67%
C: 8 domicílios	0,004	65%	1.120	140	74%
Na escala de uma bacia hidrográfica (40 km <sup>2</sup> )					
A: 10.000 domicílios	40	20%	5.295.250	530	0
B: 10.000 domicílios	10	9,5%	1.755.645	175	67%
C: 10.000 domicílios	5	8,1%	1.401.683	140	74%

Fonte: Elaboração das autoras, com base em dados de EPA (2000b).

**Figura 3:** Comparação da disposição de parcelamento espreado e parcelamento agrupado



**Empreendimento convencional**



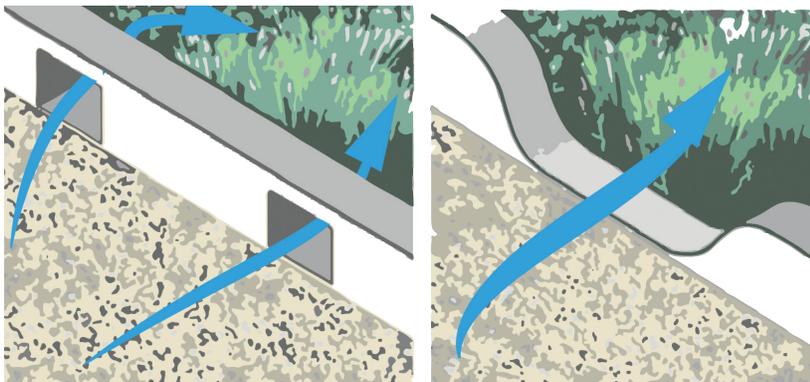
**Empreendimento sensível à água**

Fonte: Elaboração das autoras.

### 2.1.2 Desconexão de áreas diretamente conectadas

As áreas impermeáveis não passíveis de redução ainda podem receber intervenções para se tornarem desconectadas entre si e com o sistema de drenagem convencional. Nessa perspectiva, é possível projetar ruas para que seu escoamento superficial seja drenado para sistemas naturais, zonas vegetadas e solos de alta permeabilidade. Neste desenho, elementos, como os meios-fios e as baias, devem ser rebaixados e/ou os próprios canais laterais de escoamento das vias podem ser substituídos por valas vegetadas com potencial de integrar elementos de drenagem sustentável, como jardins de chuva, conforme pode ser visto na figura 4.

**Figura 4:** Intervenção nos meios-fios para permitir o escoamento para zonas vegetadas



Fonte: Elaboração das autoras.

Outra medida possível é a utilização de pavimentos semipermeáveis, que podem servir para aumentar as taxas de infiltração<sup>1</sup> e, principalmente, a retenção da água. Esses pavimentos são mais adequados para áreas destinadas a caminhar, a andar de bicicleta ou de patinete ou a acessar áreas de residências, de serviço e de estacionamentos (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000). Também as áreas impermeáveis remanescentes dentro dos lotes podem ter seu escoamento direcionado para zonas vegetadas e solos de alta permeabilidade, onde podem ser introduzidas técnicas de drenagem sustentável ou de infraestrutura verde.

## 2.2 Diretrizes para mitigar os impactos negativos da compactação

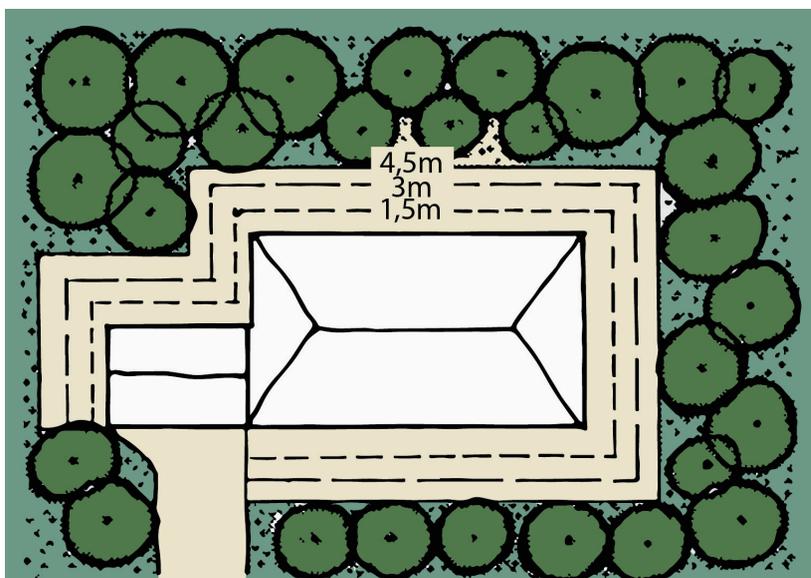
As diretrizes dos manuais identificadas como aquelas que melhor se aplicam à mitigação do impacto negativo da compactação do solo na infiltração natural foram divididas em dois grupos de estratégias: *i)* mínima perturbação do solo; e *ii)* recuperação de áreas já compactadas.

<sup>1</sup> A infiltração proporcionada por esses pavimentos, apesar de superior às das superfícies impermeáveis, ainda é bastante baixa, uma vez que suas camadas inferiores normalmente são compactadas para sua implantação e pelo uso diário (HINMAN, 2012).

### 2.2.1 Mínima perturbação do solo

As técnicas de perturbação mínima do solo visam a reduzir a proporção de áreas onde a estrutura do solo é rompida e compactada. As medidas citadas no item 2.1.1 para redução das áreas impermeabilizadas dentro dos lotes, que levam à menor ocupação proporcional do lote, podem levar também à redução da perturbação do solo. Em adição a essas estratégias, é necessário também reduzir o tamanho das áreas geralmente perturbadas durante uma obra, ou seja, essas áreas devem ser reduzidas ao mínimo.

**Figura 5:** Afastamento mínimo necessário para construção



Fonte: Elaboração das autoras.

McHarg, Sutton e Spirn (1973) estimam que a área mínima a ser desmatada e perturbada no entorno da construção varia entre 1,5 m e 4,5 m, a depender do tipo e do tamanho da construção, considerando técnicas de construção convencionais, como se vê na figura 5. Podem-se utilizar ainda, para propiciar uma menor perturbação do solo, instalação do canteiro em contêineres compactos e afastados do solo, assim

como técnicas de fundações de baixo impacto, que envolvem poucas escavações e nivelamento, possibilitando que a estrutura nativa do solo sob a unidade continue a desempenhar parte de sua função hidrológica (HINMAN, 2012).

Além dessas medidas, a incorporação das características naturais do terreno no projeto minimiza a perturbação das áreas naturais, evitando a perda de sua funcionalidade hidrológica. Para isso, devem-se manter, sempre que possível, a topografia e os canais de escoamento naturais orientando o maior eixo das edificações e das vias ao longo do contorno topográfico, evitando, assim, a necessidade de cortes e de aterros associados à sua implantação (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973; PRINCE GEORGES COUNTY, 2000). Nessa perspectiva, os traçados curvilíneos ou híbridos também podem reduzir a necessidade dos cortes e dos aterros, facilitando o posicionamento das ruas principais alinhadas às curvas de nível do terreno (ANDJELKOVIC, 2001; PRINCE GEORGES COUNTY, 2000).

### *2.2.2 Recuperação de áreas compactadas*

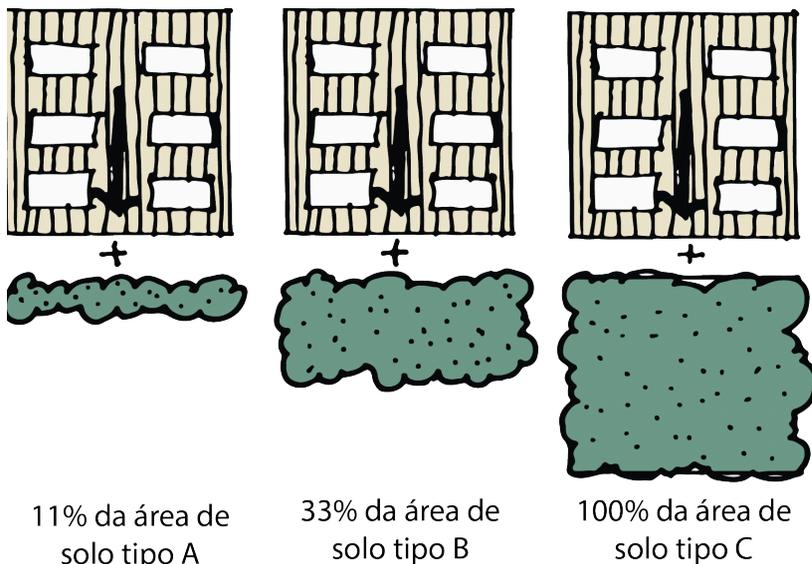
Para recuperação das áreas já compactadas, a utilização apenas de gramados não é recomendada, uma vez que seu sistema radicular superficial permite uma menor recuperação do solo, não o protegendo contra o processo continuado de compactação devido às atividades humanas diárias (ANDJELKOVIC, 2001). Recomendam-se então, para recuperação desses solos, replantio de indivíduos de porte arbóreos, principalmente, nativos, e uso de técnicas de compostagem do solo.

## *2.3 Diretrizes para mitigar os impactos negativos da redução de cobertura vegetal*

Conforme diretrizes dos manuais, identificaram-se aquelas que se aplicam à mitigação do impacto da redução de cobertura vegetal na infiltração natural como sendo relacionadas principalmente à prevenção do desmatamento e à recuperação das áreas sensíveis à manutenção de

funções hidrológicas: *i*) áreas com vegetação nativa; *ii*) corpos d'água e suas zonas de amortecimento; *iii*) zonas úmidas naturais; *iv*) solos de alta permeabilidade e capacidade de armazenamento; e *v*) canais naturais de drenagem (HINMAN, 2012; PRINCE GEORGES COUNTY, 2000).

**Figura 6:** Área proporcionalmente necessária para absorver o escoamento de um parcelamento a depender do tipo de solo



Fonte: Elaboração das autoras.

Em relação aos solos de alta permeabilidade, um estudo de McHarg, Sutton e Spirn (1973) classificou os solos de um empreendimento urbano em quatro diferentes tipos: (A) solo ótimo para recarga; (B) solo bom para recarga; (C) solo mediano para recarga; e (D) solos ruins para recarga. Esses autores analisaram diferentes áreas urbanas com essas características observando o comportamento de infiltração de uma chuva de 16 mm/h, concluindo que teriam que preservar um mínimo de 10% da área quando implantada em solos do tipo A; 25%, em solos do tipo B; 50%, em solos do tipo C; e 100% em solos do tipo D (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973). Para os casos onde as áreas urbanizadas estão sobre solos C ou D, seria necessário, para cada unidade ocupada, 11%

a mais de área preservada de solos do tipo A; ou 33%, em solos do tipo B; ou 100%, do tipo C, de modo a garantir a infiltração natural da água da chuva. O estudo recomendava a ocupação em solos do tipo D ou C e preservação, onde possível, dos solos do tipo A e B, conforme figura 6 (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973).

Seguindo essas recomendações, grandes espaços livres de uso público, como parques, que possuem maior potencial para manter grandes áreas vegetadas, devem estar prioritariamente associados a áreas de solo do tipo A e B. Devem ser planejados de forma a integrar sistemas de gestão da água às suas multifunções com a preservação das áreas sensíveis e a utilização de técnicas de drenagem sustentável.

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

A construção do quadro metodológico se concentra na tradução, em parâmetros urbanísticos, das diretrizes de urbanização sensível à água sistematizadas no item anterior, o que necessita de uma definição de elementos morfológicos urbanos. Elementos morfológicos são unidades ou partes físicas que, associadas e estruturadas, constituem a forma urbana (LAMAS, 2004). São elementos comuns à forma urbana e funcionam como chaves de leitura. Dessa forma, auxiliam a tradução do que se quer ler sobre a configuração de uma cidade quando a eles são atribuídos parâmetros urbanísticos. Seu entendimento permite assertividade nas decisões de planejamento e de projeto.

A forma urbana é produto de várias decisões sobre ordenamento territorial tomadas ao longo dos anos e pode constituir uma resposta adequada ou, em si mesma, constituir um problema que precisa ser solucionado durante o processo contínuo de planejamento. Para Lamas (2004), a forma urbana apresenta a leitura de um momento da cidade, que depende das condições históricas, sociais, políticas e econômicas e das teorias e das posições culturais e estéticas de quem as planeja, idealiza-as e as constrói. Não se pode desprezar o fato de que grande

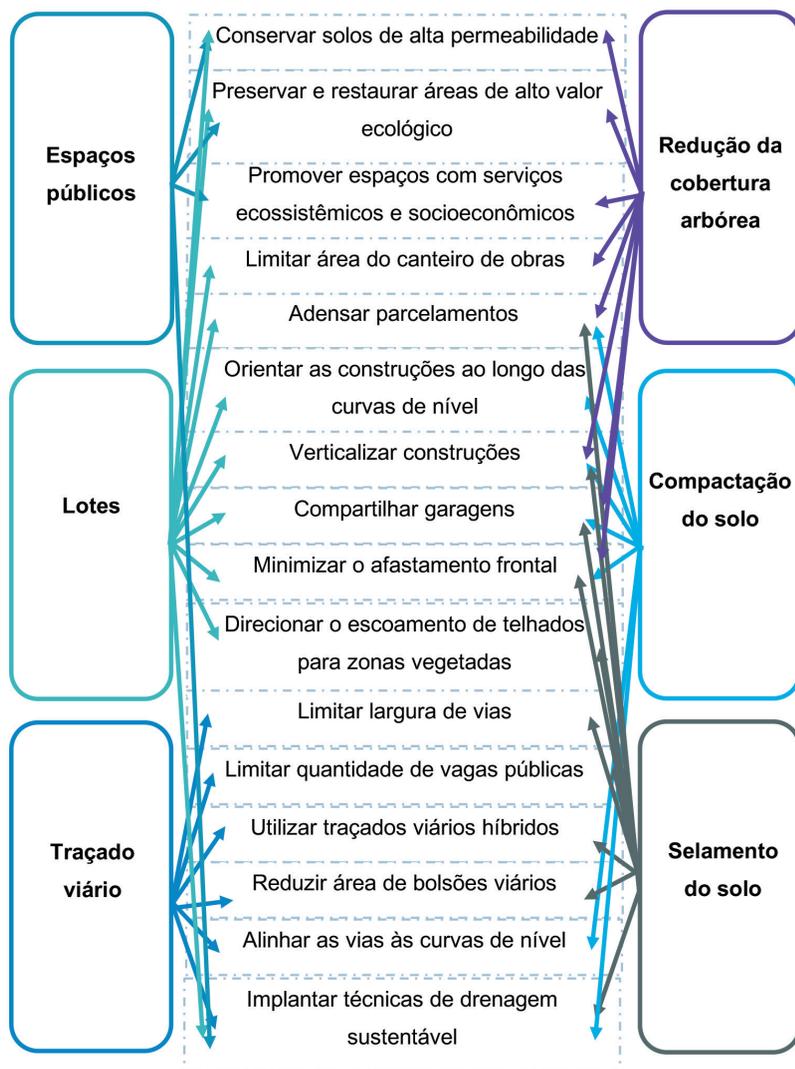
percentual da área das cidades foi constituído de modo espontâneo, sem projeto, sem planejamento, o que acaba por gerar impactos que agregam um desafio a mais para sua reconvenção a padrões ecológicos.

Lamas (2004) identifica 11 elementos configuracionais que compõem a forma urbana: *i)* o pavimento; *ii)* o edifício; *iii)* o lote; *iv)* o quarteirão; *v)* a fachada; *vi)* o logradouro; *vii)* a rua; *viii)* a praça; *ix)* o monumento isolado; *x)* a vegetação; e *xi)* o mobiliário urbano. Panerai (2014) propõe uma organização desses elementos do tecido urbano em três conjuntos: *i)* rede de vias e espaços públicos; *ii)* parcelamentos fundiários ou lotes; e *iii)* edificações.

Em ambos os estudos, considera-se que o sistema viário e os demais espaços públicos constituem-se na estrutura básica definidora do espaço urbano. Panerai (2014) define os elementos que compõem esse espaço, como ruas, avenidas, praças, passeios, pontes, rios e praias e destaca que esses se organizam em rede, a fim de permitir a circulação na cidade. Nos lotes, as normas de uso e de ocupação do solo associadas ao zoneamento determinam como as edificações ocupam sua área, alinhadas ou recuadas, geminadas ou isoladas, altas ou baixas, tendo a rua como referência.

Entre esses conjuntos de elementos morfológicos, apenas os relacionados à ocupação do solo são relevantes para a análise do potencial de infiltração natural. Devido à importância do traçado viário para o manejo da água urbana, optou-se por separá-lo do conjunto de espaços públicos. Sendo assim, os conjuntos de elementos morfológicos analisados serão: *i)* traçado viário; *ii)* espaços públicos; e *iii)* lotes. As estratégias de urbanização sensível à água revisadas permeiam-se entre cada um desses conjuntos de elementos, servindo muitas vezes a mais de um deles de uma só vez e se conectando aos fatores relacionados à perda de infiltração natural da água, podendo mitigá-los. O quadro 1 apresenta essa síntese.

**Quadro 1:** Relação entre os elementos do tecido urbano, estratégias de urbanização sensíveis à infiltração da água e condicionantes da perda de infiltração na área urbana



Fonte: Elaboração das autoras.

A combinação desses três conjuntos de elementos configuracionais urbanos identificados como relevantes para a compreensão do fenômeno

pode resultar em uma multiplicidade de tipologias.<sup>2</sup> Para estabelecer as características que serão utilizadas como critérios de identificação ou de avaliação dessas tipologias, importa sua relação com os três fatores do processo de urbanização com impacto na redução da infiltração natural – selamento, compactação e redução da cobertura vegetal – por meio de quatro parâmetros gerais: *i*) percentual de áreas seladas, onde não ocorre a infiltração; *ii*) percentual de áreas compactadas, que se entende, no estudo, como as áreas que passaram pelo processo de urbanização tendo sua cobertura vegetal natural retirada e substituída, onde as taxas de infiltração são bastante reduzidas; e *iii*) percentual, dentro da área urbanizada, de cobertura vegetal de porte arbóreo, onde as raízes são capazes de recuperar parte da compactação e auxiliar na infiltração. Vale ainda verificar, na forma analisada ou projetada, a quantidade de área selada por habitante, para demonstrar o impacto *per capita* da conformação adotada.

Os critérios associados individualmente a cada um dos elementos morfológicos são aqueles que podem alterar o resultado dos critérios gerais e estão apresentados no quadro 2. Esses critérios de avaliação podem ser diretamente relacionados a parâmetros urbanísticos existentes ou podem constituir novos parâmetros urbanísticos relevantes ao planejamento de ocupações urbanas em áreas de alto potencial de recarga. Essa ponte construída na análise entre os fatores que causam a perda de infiltração, as diretrizes de desenho sensível à água e os elementos morfológicos tem o objetivo de facilitar a análise, o planejamento e o projeto de tipologias urbanas adequadas à implantação em áreas de recarga de aquíferos, permitindo uma menor perda da infiltração natural.

---

<sup>2</sup> De acordo com Panerai (2014), tipologia urbana é o conjunto de determinados elementos reunidos por uma lógica de variação de características estabelecidas.

**Quadro 2:** Quadro metodológico para avaliação, planejamento ou projeto da forma urbana para um melhor desempenho quanto à recarga de aquíferos

Elementos Morfológicos		Critérios de avaliação	Critérios de síntese da tipologia
Público	Sistema Viário	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Percentual de área ocupada no parcelamento</li> <li>. Percentual ocupado por estacionamentos</li> <li>. Largura das ruas de serviço e de acesso residencial</li> <li>. Área por habitante</li> <li>. Conexão com a rede de drenagem convencional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Percentual total de áreas seladas</li> <li>. Área selada por habitante</li> <li>. Percentual de solo potencialmente compactado</li> <li>. Percentual de área com cobertura arbórea-arbustiva</li> </ul>
	Espaços públicos livres	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Percentual de área ocupada no parcelamento</li> <li>. Percentual de pavimentos impermeáveis</li> <li>. Percentual de cobertura arbórea-arbustiva</li> <li>. Associação com áreas de alta sensibilidade hidrológica</li> <li>. Multifuncionalidade e conectividade</li> </ul>	
Privado	Lotes	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Percentual de área ocupada no parcelamento</li> <li>. Tamanho do lote</li> <li>. Taxa de ocupação</li> <li>. Percentual de pavimentos impermeáveis</li> <li>. Percentual de cobertura arbórea-arbustiva</li> <li>. Compartilhamento e posição da garagem</li> <li>. Orientação das construções em relação ao contorno topográfico</li> <li>. Quantidade de andares permitidos</li> <li>. Afastamentos obrigatórios</li> <li>. Área impermeável por habitante</li> <li>. Conexão com a rede de drenagem convencional</li> </ul>	

Fonte: Elaboração das autoras.

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

Com o objetivo de verificar a aplicabilidade dos estudos realizados, foram procedidas análises utilizando técnicas de urbanismo sensível à água, com ênfase em baixo impacto na infiltração em uma área destinada à expansão urbana de Brasília inserida em zona de recarga de aquíferos.

Esse exercício visa a testar e a validar os pressupostos apresentados e a contribuir para a revisão das técnicas tradicionais do urbanismo.

A área de estudo está localizada no Distrito Federal (DF), na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, Região Administrativa do Lago Norte, conhecida como Setor Habitacional Taquari, trecho 2 (SHTq 2). Esse setor enquadra-se em uma das áreas de expansão urbana no DF e localiza-se em uma área de elevada sensibilidade à recarga de aquíferos. Para avaliar o potencial de infiltração com as alterações dos padrões de ocupação na região, foi utilizada simulação no programa SWMM.

#### *4.1 O Distrito Federal e as áreas de recarga de aquíferos*

No DF, a problemática da recarga dos aquíferos tem relevância para o equilíbrio hídrico nacional, dado que seu território é área de nascentes de afluentes dos três maiores rios brasileiros – o Rio Maranhão (afluente do Rio Tocantins), o Rio Preto (afluente do Rio São Francisco) e os rios São Bartolomeu e Descoberto (tributários da bacia do Rio Paraná). Tem relevância também na escala regional, uma vez que o território do DF está integralmente inserido na região do Planalto Central e do bioma cerrado, com importante papel de recarga regional e berço de importantes rios de 10 das 12 regiões hidrográficas do Brasil (LIMA, 2011).

A recarga dos aquíferos também é importante para o equilíbrio hídrico local, dado que seu território se caracteriza por conformações naturais que não permitem grandes retenções de águas superficiais e por um clima composto de um período chuvoso e de um período seco, fazendo com que os aquíferos tenham função estratégica para: *i*) manutenção das vazões dos corpos hídricos superficiais na época de seca; *ii*) reservatório natural de estocagem estratégica de água; e *iii*) abastecimento de núcleos rurais.

A redução da quantidade de água subterrânea no DF vem sendo observada desde os anos 2000, na região de Sobradinho, onde existem áreas sem abastecimento por rede. Um poço com vazão de 10.000 l/h, em 1992, passou a ter uma vazão de cerca de 3.500 l/h (CAMPOS, 2004) nos anos 2000. A crise hídrica pela qual o DF passou entre o final de

2015 até fins de 2017 se fez sentir nos reservatórios de abastecimento, mas também acometeu os reservatórios de água subterrânea. Nas áreas abastecidas por poços profundos, devido à diminuição de vazão e a falhas na captação, a Companhia de Abastecimento e Saneamento Básico (Caesb) adotou a redução de pressão e o rodízio de abastecimento.<sup>3</sup>

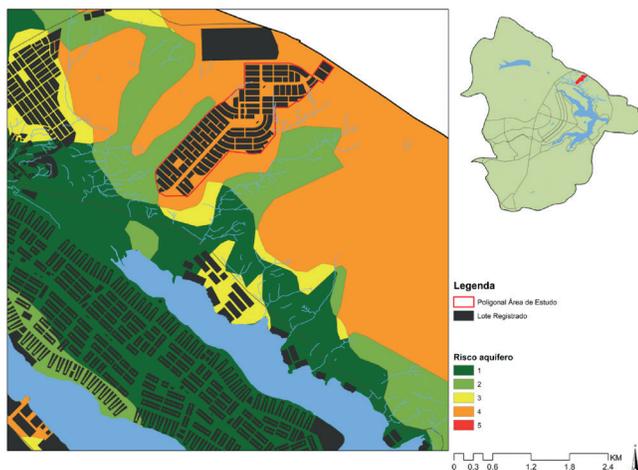
No DF, a Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá foi selecionada por ser densamente urbanizada e ter grande percentual de ocupação urbana sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga, especificamente, a área do SHTq 2 que, como já dito, localiza-se em uma área de elevado potencial à recarga de aquíferos e representa uma das últimas áreas remanescentes de alto potencial à recarga ainda não urbanizada na bacia. É uma região que, já em 1987, na elaboração do Brasília Revisitada, Lucio Costa apontou como possível área de expansão dentro da bacia. Ribas (1988), utilizando os critérios de estudo do meio físico para escolha de áreas a serem urbanizadas, atestou sua aptidão à ocupação urbana e alertou que o padrão de ocupação deveria adequar-se às fragilidades ambientais do sítio e dialogar com a alta sensibilidade à recarga de aquíferos.

Estudos para elaboração do Zoneamento Econômico Ecológico do Distrito Federal (ZEE-DF), realizados pela Secretaria de Meio Ambiente do Distrito Federal (Sema-DF) em 2018 e apontados na figura 7 a seguir, também constatam, ao elaborar o mapa de sensibilidade à recarga de aquíferos, o que havia dito Ribas, 30 anos antes. Hoje, a área consta no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT-DF) de 2012 como área de expansão urbana. Seus parâmetros não consideram as referidas fragilidades ambientais e seu potencial de produção de água.

---

<sup>3</sup> Resolução nº 21 da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa), de 8 de setembro de 2018.

**Figura 7:** Poligonal do SHTq 2 sobre área de elevado grau de risco à recarga de aquífero na bacia do Paranoá



Fonte: Elaboração das autoras.

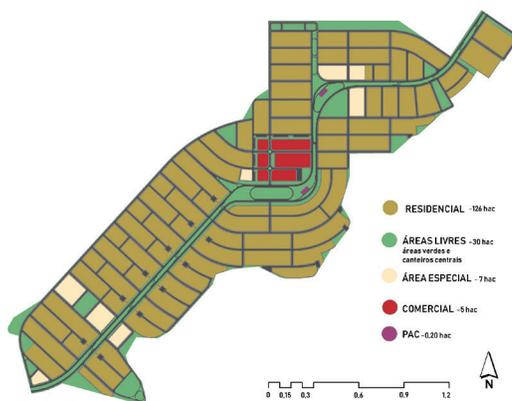
#### 4.2 Proposta urbana para o Setor Habitacional Taquari Trecho 2

A grande mancha de expansão urbana definida por Lucio Costa em 1987 e denominada Setor Habitacional Taquari hoje se encontra subdividida em setores habitacionais com denominações de trechos associados a um número que a posiciona em relação à sua implantação. O projeto de parcelamento urbano para a poligonal do SHTq 2, desenvolvido pela Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal (Terracap) e que aparece na figura 8, está em processo de análise nos órgãos competentes. Os primeiros estudos para urbanização remontam do fim dos anos 1990, assim como as normas de gabarito e o Memorial Descritivo de urbanização. Nos últimos anos, devido às pressões da sociedade civil relativas ao licenciamento ambiental, o projeto passa por revisões para se adequar às novas exigências dos órgãos ambientais e aos termos do Ministério Público do Distrito Federal e Territórios (MPDFT).<sup>4</sup>

<sup>4</sup> As pressões da sociedade civil quanto ao licenciamento ambiental da área levaram o MPDFT a estabelecer um termo de ajustamento de conduta.

A justificativa para as pressões sociais, que resultaram sendo contempladas nos pareceres dos órgãos ambientais que, por sua vez, exigiram ajustes no projeto urbano se deve, em parte, ao advento da crise hídrica em Brasília e à utilização do Lago Paranoá como manancial de abastecimento.<sup>5</sup> Todas essas circunstâncias ampliaram as preocupações com a diminuição da capacidade de infiltração na região e com o aumento da carga de poluentes sobre o Lago Paranoá. Até o momento (2019), não foram contempladas as exigências de modificação dos projetos, principalmente, o de drenagem urbana, que não inclui sistemas de infiltração para recarga dos aquíferos e lança um percentual de águas pluviais acima do permitido pela Resolução nº 9/2011 da Adasa para o Lago Paranoá.

**Figura 8:** Projeto urbano e uso do solo da Terracap para o SHTq 2



Fonte: Elaboração das autoras.

A Secretaria de Meio Ambiente do Distrito Federal, ao emitir parecer técnico ao MPDFT, no ano de 2017, em resposta às discussões sobre o licenciamento do projeto de urbanização do trecho 2, considerou como interferências antrópicas negativas sobre o ciclo hidrológico os

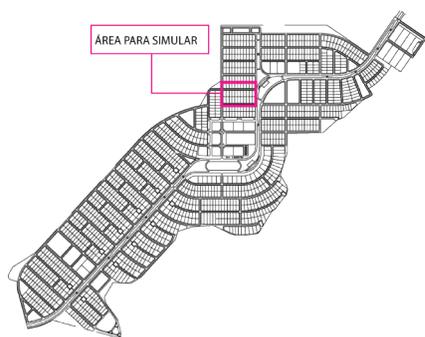
<sup>5</sup> O Lago Paranoá, além de captar o efluente de regiões administrativas do DF, também trabalha como corpo receptor das águas pluviais. O parcelamento do SHTq 2, quando implantado, utilizará o lago para lançamento das águas da rede de drenagem. A preocupação do MPDFT é com a carga de poluentes em excesso, pois, atualmente, o Lago Paranoá tornou-se um dos mananciais de abastecimento no Distrito Federal.

bloqueios físicos ao fluxo de infiltração natural e os processos hidrológicos por meio da impermeabilização e da sobrecarga de áreas de preservação permanente devido à estratégia convencional de drenagem (SEMA, 2017). A indicação das interferências no meio físico feitas pelos órgãos ambientais ao projeto elaborado pela equipe técnica da Terracap levou a primeira parte do estudo a se concentrar em sua verificação adotando uma análise, por meio da simulação hidrológica, do sistema de drenagem adotado no projeto para posterior utilização da metodologia construída na pesquisa referida.

### 4.3 Modelagem hidrológica da infiltração

Para a modelagem hidrológica, foi delimitada uma área de 3,33 h dentro do projeto de loteamento da Terracap, cujo padrão de desenho se repete por quase todo o projeto. A fração escolhida representa o loteamento como um todo para efeito da simulação da rede de drenagem. A mesma área foi posteriormente utilizada para modelagem dos demais cenários analisados, com suas respectivas particularidades de ocupação, que seguem as estratégias de urbanismo sensível à água e de baixo impacto na infiltração. Na figura 9, pode ser visualizado o recorte da área definida para as simulações.

**Figura 9:** Delimitação da parcela simulada



Fonte: Elaboração das autoras.

Foram modelados três cenários para efeito de comparação dos resultados utilizando as estratégias de projeto urbanístico propícias à infiltração. Eles foram concebidos com a análise realizada na primeira parte desse projeto.

As simulações foram elaboradas para análise do potencial de infiltração em cada modelo: *i*) cenário pré-urbanização, área sem parcelamentos urbanos, com cobertura vegetal tipo campo; *ii*) cenário Padrão Terracap, projeto elaborado pela própria companhia; e *iii*) cenário Padrão sensível à água, simulação de novo padrão de urbanização baseado no quadro metodológico.

O modelo SWMM, no programa PCSWMM, desenvolvido pela Chiwater,<sup>6</sup> foi a ferramenta utilizada por ser um modelo dinâmico chuva-vazão. Foi considerada uma chuva de projeto para simulação, com tempo de retorno (TR) de dez anos. Essa chuva é indicada pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal para parâmetro em projetos de Drenagem Urbana. Em relação à infiltração, foi adotado o método Soil Conservation Service (SCS), que utiliza o conceito de curva número (CN) para cálculo de infiltração.

A CN é um índice que representa a combinação empírica de três fatores: grupo do solo, cobertura do solo e condições de umidade antecedente do solo (MCCUEN, 1998 *apud* TOMAZ, 2011a). Para utilizar o método SCS, adotou-se a tabela de CN, traduzida por Tucci. A tabela necessita da classificação dos solos da região a analisar, para que seja relacionada à cobertura do solo. Para a classificação desse solo, foram utilizados os levantamentos de características pedológicas encontradas na área do SHTq 2. De acordo com o levantamento de solo do ZEE-DF, a região possui latossolo vermelho-amarelo e classifica-se como solo tipo A, um tipo de solo que produz baixo escoamento superficial e alta infiltração (TUCCI, 1993 *apud* TOMAZ, 2011b). Com a classificação do tipo de solo, determinam-se as tipologias de cobertura do solo (vegetação, pavimento, paralelepípedos).

<sup>6</sup> A companhia Chiwater, canadense, forneceu a licença estudantil para elaboração desta pesquisa de âmbito acadêmico.

### 4.3.1 Descrição dos cenários

Para simulação do cenário 1, foi considerada a área da parcela do loteamento sem nenhum tipo de ocupação urbana, com cobertura do solo com vegetação tipo campo para classificação do parâmetro CN. Não foram incluídas, na simulação, indicações de floresta ou de cerrado nativo, pois não é a condição em que hoje se encontra. Sendo assim, o CN utilizado no cenário 1 corresponde a 39, que indica uma superfície de vegetação rasteira em mais de 75% de sua área.

Para o cenário 2, com o projeto urbanístico da Terracap, a área simulada corresponde ao total de 33 lotes unifamiliares com previsão de 132 habitantes. Foram considerados os elementos urbanos descritos no item 3 deste capítulo: ruas, espaços públicos, lotes. Na simulação da área edificada e impermeabilizada dos lotes, foram considerados o percentual máximo de ocupação (40%) previsto para edificação e o percentual mínimo de área que deve ser mantida sem ocupação, no caso, considerado como área com possibilidade de infiltração (50%). Essas definições tomaram, como base, a norma de gabarito NBG 111/99, que estabelece os parâmetros urbanos do SHTq 2. Os demais 10% de área de lote foram previstos também como áreas permeáveis. Dada essa configuração, na área interna aos lotes, foi considerado o CN de 77.

No que se refere à tipologia dos espaços públicos – vias e calçadas – que delimitam a parcela simulada, foram considerados dois tipos de calçada com dimensões variadas. As informações dos elementos dos espaços públicos também foram retiradas do projeto urbanístico elaborado pela Terracap. Na tabela 2, são apresentados os parâmetros utilizados na simulação deste cenário:

**Tabela 2:** Parâmetros para simulação cenário 2 – projeto Terracap

ELEMENTO	DIMENSÃO	CN UTILIZADO
VIA COLETORA	7,00 m	98
VIA LOCAL	7,00 m	98
CALÇADA TIPO 1	5,00 m	98
CALÇADA TIPO 2	3,00 m	98
PARÂMETRO		CN UTILIZADO
OCUPAÇÃO UNIFAMILIAR COM ÁREAS VERDES		77

Fonte: Elaboração das autoras.

Para o cenário 3, foram explorados os critérios apresentados no estudo da primeira parte do capítulo. Os lotes, as vias e as calçadas propostos pela Terracap foram removidos e substituídos por projeções multifamiliares, por áreas verdes públicas, por vias e calçadas com novas dimensões e por áreas para estacionamento.

A composição desse cenário, além de levar em consideração as proposições do urbanismo sensível à água, procurou dialogar com a linguagem urbanística do projeto de Brasília, pois se trata de uma área que se insere no Plano Brasília Revisitada, proposto por Lucio Costa, em 1987. Houve, porém, releitura do Urbanismo Modernista à luz da atualidade, com as preocupações da ecologia urbana.

Dessa forma, utilizou-se o padrão de blocos e de amplos espaços verdes semelhantes às superquadras, que mesmo seus críticos consideraram um ambiente residencial acolhedor. Foram consideradas, para a área simulada, seis projeções, cada uma com seis pavimentos. Outra condição se refere à previsão de três apartamentos por andar, com média de 300 m<sup>2</sup> (incluídas as circulações verticais), o que dá um total de 108 famílias, com uma população de 432 pessoas.

A substituição de ocupação unifamiliar para multifamiliar, a redução da largura de vias locais e de calçadas ocasionaram o aumento das áreas

permeáveis e também da densidade populacional em relação ao cenário 2 proposto pela Terracap, que possui apenas 33 famílias, com total de 132 habitantes na mesma parcela estudada. As alterações também ocorreram para o tipo de pavimento das calçadas, das vias coletoras, dos locais e dos estacionamentos, quando foram considerados pavimentos com maior permeabilidade, o que levou à alteração do CN, como apresentado na tabela 3.

**Tabela 3:** Parâmetros para simulação cenário 3 – urbanismo sensível à água

ELEMENTO	DIMENSÃO	CN UTILIZADO
VIA COLETORA	7,00 m	98
VIA LOCAL	7,00 m	76
CALÇADA TIPO 1	5,00 m	76
PARÂMETRO		CN UTILIZADO
OCUPAÇÃO MULTIFAMILIAR COM ÁREAS VERDES		77
ESTACIONAMENTOS		76

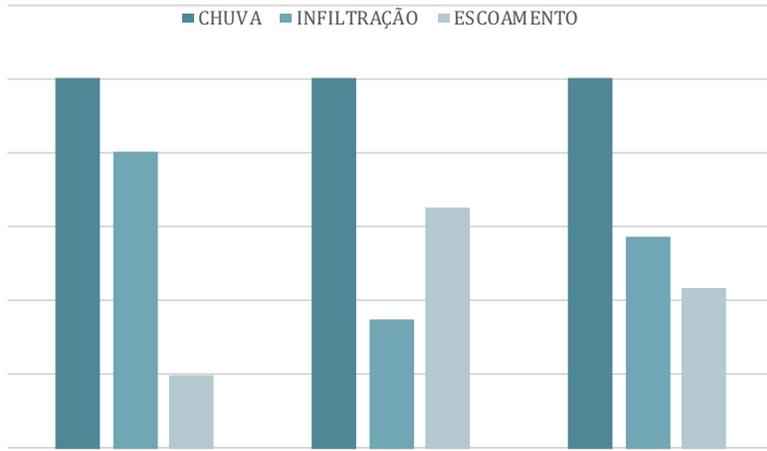
Fonte: Elaboração das autoras.

#### 4.3.2 Resultados das simulações

As simulações foram efetuadas utilizando uma chuva de projeto com duração de 24 horas, com intervalos a cada cinco minutos. O TR adotado foi de dez anos e está em consonância com o que estabelece o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU). A lâmina total precipitada, com a duração de 24 horas de chuva, foi de 97,57 mm.

No gráfico 1, são apresentados os resultados do escoamento superficial da infiltração e da chuva simulada para os três cenários. Percebe-se que o cenário 3, parcelamento sensível à infiltração, teve uma infiltração de 57,04% e parcelamento padrão Terracap 21,98% menor, totalizando 35,06% da precipitação.

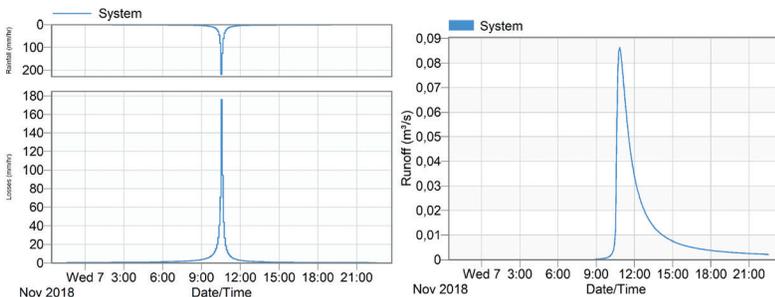
**Gráfico 1:** Percentual escoamento superficial, infiltração e chuva simulada



Fonte: Elaboração das autoras.

Com base na análise dos hidrogramas de perdas por infiltração e por escoamento superficial do cenário 1 – parcela com terreno natural não urbanizado –, pode ser verificado, conforme gráfico 2, o comportamento no período de pré-urbanização, o qual gera, durante o maior pico da precipitação, um escoamento superficial de aproximadamente 0,085 m<sup>3</sup>/s ou 19,72% do total da precipitação. Esses dados indicam que quase a totalidade da chuva precipitada foi infiltrada.

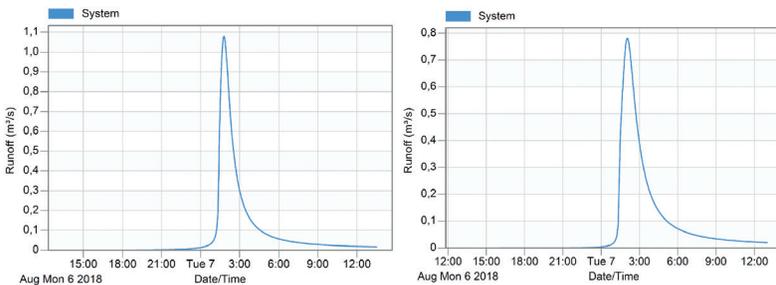
**Gráfico 2:** Hidrograma perdas por infiltração e escoamento superficial do cenário 1 – parcela com terreno natural



Fonte: Elaboração das autoras.

Na comparação entre os cenários 2 e o 3, verifica-se não apenas que este último gera um escoamento superficial bem menor, mas também que esse escoamento tem menor pico de vazão e maior tempo de concentração. Conseqüentemente, aproxima-se do cenário pré-urbanização e tem as chances de alagamento, de perda de recarga e de impactos negativos sobre os corpos hídricos adjacentes reduzidas, como se vê no gráfico 3.

**Gráfico 3:** Hidrogramas escoamento superficial dos cenários 2 e 3



Fonte: Elaboração das autoras.

## Considerações finais

A avaliação metodológica de padrões morfológicos de ocupação urbana frente ao desempenho de infiltração e de escoamento exposta no presente trabalho é uma fase inicial da articulação entre uso e ocupação do solo com base na abordagem do urbanismo sensível à água. Os estudos e a metodologia desenvolvidos possibilitam tornar claras as interfaces e as estratégias a serem utilizadas para que os padrões urbanísticos sejam implementados, a fim de proporcionar soluções integradas à natureza e viabilizar a urbanização em áreas de recarga de aquíferos.

As simulações realizadas se referem à capacidade de mitigação do escoamento somente frente à adoção do que se denominou *padrão resiliente* de ocupação urbana. Deve-se ter em conta que se podem acrescentar essas análises utilizando as técnicas compensatórias de drenagem urbana circular ou de infraestruturas verde e azul, as quais já se

mostraram, em estudos anteriores realizados pelo grupo de pesquisa – alguns relatados neste livro –, eficientes e capazes de impulsionar o aumento da infiltração em áreas urbanizadas por meio da captação do escoamento superficial não captado pela rede de drenagem tradicional.

Outra abordagem a ser adotadas se refere às técnicas de manejo do solo, em especial, da redução da compactação e/ou da adoção de pavimentos permeáveis onde se fizer necessária a pavimentação. Por fim, o estudo aponta serem viáveis as mudanças dos paradigmas de uso e de ocupação do solo e de drenagem correntes com a utilização de soluções que potencializem a capacidade de infiltração das águas, o que contribuirá para melhores qualidade de vida, ambiental e cidades.



Saída

Entrada

Atendimento ao Cliente

Ilha de Atendimento

Ali nem achei de falar,  
e em mim e a estava arrependido com  
Grande Sertão Veredas, não  
que socializar. Não pertu

Este livro foi composto em UnB Pro e Liberation Serif.

# Paisagem urbana

## natureza & pessoas

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

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

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

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

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

### Foto ao fundo:

Interior da  
Biblioteca  
Central/UnB.  
Por Alexandra  
Martins.



EDITORA



UnB