

para
Texto

discussão

**RELAÇÕES ENTRE AS ÁREAS DE RECARGA
DOS AQUÍFEROS E ÁREAS DESTINADAS À
URBANIZAÇÃO: ESTUDO DOS PADRÕES
DE OCUPAÇÃO DO SOLO DA UNIDADE
HIDROGRÁFICA DO LAGO PARANOÁ - DF**

Ana Paula Albuquerque Campos Costalonga Seraphim

nº 55/dezembro de 2018

ISSN 2446-7502

**RELAÇÕES ENTRE AS ÁREAS DE RECARGA
DOS AQUÍFEROS E ÁREAS DESTINADAS À
URBANIZAÇÃO: ESTUDO DOS PADRÕES DE
OCUPAÇÃO DO SOLO DA UNIDADE HIDROGRÁFICA
DO LAGO PARANOÁ - DF**

Ana Paula Albuquerque Campos Costalonga Seraphim¹

Brasília-DF, Dezembro de 2018

¹ Ana Paula Albuquerque Campos Costalonga Seraphim - Graduação em Arquitetura e Urbanismos e Mestrado Acadêmico em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade de Brasília – UnB.

Texto para Discussão

Veículo de divulgação de conhecimento, análises e informações, sobre desenvolvimento econômico, social, político, gestão e política públicas, com foco no Distrito Federal, na Área Metropolitana de Brasília (AMB) e na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE) e estudos comparados mais amplos, envolvendo os casos acima.

Os textos devem seguir as regras da [Resolução 143/2015](#), que regem o Comitê Editorial da Codeplan, e não poderão evidenciar interesses econômicos, político-partidários, conteúdo publicitário ou de patrocinador. As opiniões contidas nos trabalhos publicados na série Texto para Discussão são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, de qualquer maneira, o ponto de vista da Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Codeplan.

É permitida a reprodução parcial dos textos e dos dados neles contidos, desde que citada a fonte. Reproduções do texto completo ou para fins comerciais são proibidas.

Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Codeplan

Texto para Discussão

TD - n. 55 (2018) - . - Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2018.

n. 55, dezembro, 29,7 cm.

Periodicidade irregular.

ISSN 2446-7502

1. Desenvolvimento econômico-social. 2. Políticas Públicas
3. Área Metropolitana de Brasília (AMB). 4. Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE).
I. Companhia de Planejamento do Distrito Federal. II. Codeplan.

CDU 338 (817.4)

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL
Rodrigo Rollemberg
Governador

Renato Santana
Vice-Governador

**SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO
E GESTÃO DO DISTRITO FEDERAL - SEPLAG**
Renato Jorge Brown Ribeiro
Secretário

COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL - CODEPLAN
Lucio Remuzat Rennó Júnior
Presidente

Martinho Bezerra de Paiva
Diretor Administrativo e Financeiro

Bruno de Oliveira Cruz
Diretor de Estudos e Pesquisas Socioeconômicas

Ana Maria Nogales Vasconcelos
Diretora de Estudos e Políticas Sociais

Aldo Paviani
Diretor de Estudos Urbanos e Ambientais

RESUMO

Por um lado, é inerente ao processo de urbanização a alteração do regime hidrológico, fato que gera desafio à sua gestão em áreas urbanas, dada a impossibilidade de prescindir da água como substrato à vida. Por outro, verifica-se que o tema é secundário às estratégias de planejamento urbano e ordenamento territorial e não é corrente o uso de técnicas e normas urbanísticas voltadas para a menor perturbação e/ou manutenção do comportamento natural da água nas cidades. Nesse sentido, a pesquisa visa a contribuir para essa discussão, debruçando-se sobre as relações entre tipologias de ocupação urbana e seus impactos sobre a infiltração natural em áreas de recarga de aquíferos, rumo a um planejamento urbano que auxilie a menor perturbação do ciclo da água. Para atingir este objetivo, o desenvolvimento da pesquisa percorreu o entendimento das conexões entre planejamento urbano, sustentabilidade, ecologia e hidrogeologia. Como contribuição para construção de um planejamento urbano sensível à água, constata: (i) a importância da consideração do comportamento natural do ciclo hidrológico, metodologias de planejamento ecológico e a valorização dos serviços ecossistêmicos urbanos; (ii) a relação entre características do meio físico geomorfológico e pedológico que condicionam o processo de recarga e, também, o processo de urbanização; (iii) a identificação dos três principais fatores dificultadores da infiltração natural de água em áreas urbanas, a saber: o selamento, a compactação e o desmatamento do solo; e (iv) a consolidação de estrutura teórico-metodológica, que identificou elementos configuracionais urbanos (sistema viário, espaços livres públicos e lotes) para caracterização e avaliação da oportunidade de infiltração natural gerada por diferentes tipologias urbanas. Esses princípios foram verificados a partir do estudo dessas relações sobre o território do Distrito Federal e na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá.

Palavras-chave: Recarga de aquíferos; Condicionantes físicos da urbanização; Tipologias urbanas sensíveis à água.

SUMÁRIO

RESUMO

1. INTRODUÇÃO	7
2. RELAÇÕES ENTRE O PROCESSO DE RECARGA DOS AQUÍFEROS E O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO	12
2.1. Ciclo da água	12
2.2. Condicionantes físicos do processo de recarga dos aquíferos	12
2.3. Condicionantes físicos do processo de urbanização	14
2.4. Alterações da recarga dos aquíferos causadas pelo processo de urbanização	15
3. ELEMENTOS DA FORMA URBANA COM IMPLICAÇÕES SOBRE A PERDA DE INFILTRAÇÃO NATURAL	17
3.1. Fatores relacionados com a infiltração natural nas cidades	17
3.1.1. Fatores de manipulação do solo urbano com implicações sobre a infiltração natural	17
3.1.2. Medidas de urbanização sensíveis à infiltração de água no solo.....	21
3.2. Relações entre a forma urbana e a infiltração de água no solo	25
4. RELAÇÕES ENTRE AS ÁREAS PROPÍCIAS À RECARGA DOS AQUÍFEROS E À URBANIZAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL.....	29
4.1. Conjuntura dos aquíferos do Distrito Federal	29
4.2. Fatores físicos condicionantes do processo de recarga e ocupação urbana no Distrito Federal.....	31
5. ALTERAÇÕES NA COBERTURA DO SOLO SOBRE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO POTENCIAL DE RECARGA DE AQUÍFEROS NO DISTRITO FEDERAL.....	37
6. IMPACTOS DAS TIPOLOGIAS DE OCUPAÇÃO URBANA SOBRE AS ÁREAS DE RECARGA DOS AQUÍFEROS DA UH DO LAGO PARANOÁ.....	45
6.1. Seleção da Unidade Hidrográfica de análise.....	45
6.2. Tipologias urbanas de densidade construtiva homogênea	47
6.3. Elementos configuracionais com implicações sobre a infiltração natural da água da chuva nas tipologias identificadas	49
7. CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

Está consagrado no conhecimento científico que a urbanização altera significativamente o regime hidrológico, levando a consequências negativas que causam alteração ou perda de importantes serviços ecossistêmicos, como: água em quantidade e qualidade para substrato à vida; fornecimento de insumo ao sistema produtivo; assimilação de resíduos gerados por atividades de origem antrópica; provisão de utilidades estéticas e de lazer; e base para a regulação climática do Planeta, por meio do ciclo hidrológico e da circulação atmosférica global. Nesse contexto, a preservação dos recursos hídricos é imperativa. Entretanto ainda persistem defasagem de instrumentos e práticas do planejamento urbano para se lidar com o tema.

Para isso, a noção do desenvolvimento sustentável perante o conceito de urbanismo ecológico pode ser aplicada de forma a expandir e aprofundar o debate sobre as águas urbanas. Dentro dos debates sobre sustentabilidade, o desenvolvimento das cidades de forma sustentável possui um papel preponderante, dada a concentração de população e o consumo de recursos e geração de resíduos nesse espaço. Segundo Acselrad (1999), existem três representações distintas da cidade dita sustentável: (i) uma que associa a transição para a sustentabilidade à adaptação das estruturas urbanas, a partir de modelos de racionalidade ecoenergética, que se baseiam nos estudos da manutenção dos ciclos biogeoquímicos; (ii) uma em que a matriz técnica da cidade é pensada em razão de qualidade de vida, notadamente no que se refere às implicações sanitárias, de cidadania, identidade e cultura; e (iii) uma que busca a reconstituição da legitimidade das políticas urbanas, tanto para garantir eficiência na administração dos recursos públicos como para democratizar o acesso aos serviços, que vêm tomando um foco tecnológico.

Enquanto Tudela (1996) afirma que o paradigma do desenvolvimento sustentável amplia as concepções tradicionais do processo de urbanização em três planos: (i) conceitual, que amplia os enfoques para avaliação de relações entre outros domínios, como meio físico, ecológico e sociocultural, esbarrando no desafio da transdisciplinaridade; (ii) espacial, que amplia o alcance da análise das cidades, ressaltando sua conexão com as áreas ambientais e rurais, com o território, a ponto de alcançar dimensões planetárias; e (iii) temporal, que implica consideração dos interesses das gerações futuras, ampliando a dimensão temporal de análise.

Para expandir os alcances do conhecimento do fato urbano nos pontos apontados por Acselrad (1999) e Tudela (1996), a aplicação dos conceitos da ecologia urbana pode ser especialmente útil, uma vez que este campo transdisciplinar e holístico leva em consideração a interação de aspectos naturais e não naturais do ambiente construído. Segundo Wu (2014), a ecologia urbana estuda padrões espaço-temporais e impactos ambientais da urbanização, com ênfase na biodiversidade e processos e serviços ecossistêmicos, onde aspectos socioeconômicos e práticas de planejamento urbano influenciam profundamente os resultados. Esse campo normalmente analisa grandes áreas que apresentam centenas de ecossistemas concomitantes, utilizando conceitos ecológicos para compreender como esses ecossistemas estruturam-se, funcionam, oferecem serviços e como eles se relacionam entre si e com as estruturas socioeconômicas formando um mosaico de padrões dinâmicos (MCPHEARSON *et al.*, 2016; WU, 2014).

O principal método de identificação desses padrões no planejamento ecológico é o de sobreposição de informações cartográficas ambientais e socioeconômicas, que permitem

visualizar a distribuição espacial de processos naturais e antrópicos e suas relações. Essa metodologia permite a tomada de decisão sobre alternativas de ocupação que mediem ações humanas e processos naturais, uma vez que a dimensão espacial dada aos processos ecológicos oferece uma linguagem comum para interação entre planejamento urbano e ecologia (LEITÃO; AHERN, 2002).

Esse método ganhou força dentro do campo ecológico nos anos 1950; e suas principais abordagens foram desenvolvidas nessa época por Hills em 1961, Lewis em 1963 e McHarg em 1969 (NDUBISI, 2002). Essas abordagens envolvem: (i) o levantamento de características do meio físico; (ii) a organização dessas características em padrões espaciais; (iii) a valoração desses padrões de acordo com seu desempenho; e (iv) o relacionamento desses valores com potencialidades do território para usos antrópicos. Foi a partir de 1980 que os avanços no sensoriamento remoto e o desenvolvimento da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitiram a ampliação dessas metodologias.

Brown, Keath e Wong (2009), a partir de análise histórica de normas e regulações de planejamento e gestão da água no meio urbano, organizam seis estágios de desenvolvimento, a saber: (i) seguridade do acesso à água tratada; (ii) saúde pública por meio do esgotamento; (iii) mitigação de enchentes por meio da drenagem; (iv) acesso da população aos corpos d'água como forma de lazer e proteção ambiental; (v) compreensão dos limites de uso dos recursos hídricos, por meio da abordagem do ciclo da água; e (vi) o uso de infraestruturas multifuncionais que reforçam o comportamento natural da água.

Dessas fases, as três primeiras já foram alcançadas, em maior ou menor grau, pela maioria das cidades do mundo (BROWN; KEATH; WONG, 2009); e fazem parte do que se conhece por saneamento ambiental convencional ou higienista, que utiliza infraestruturas monofuncionais para o abastecimento, esgotamento e drenagem urbana. Este tipo de planejamento e gestão da água urbana deu origem a uma lógica de planejamento separada da base ecológica do território, na qual corpos d'água são canalizados, efluentes sem tratamento lançados ao ambiente, áreas de mananciais desmatadas e áreas de especial interesse para a recarga de aquíferos impermeabilizadas. Como resultado, as áreas urbanas sofrem com enchentes e diminuição da quantidade e qualidade de água, o que destaca a importância de se considerar a base ecológica do território.

Desde 1970, estão surgindo abordagens de gestão da água no meio urbano ligadas a uma visão mais sustentável de gestão, que possuem como características as últimas três fases descritas no estudo de Brown, Keath e Wong (2009), a exemplo de iniciativas como a *Low Impact Development (LID)*, *Water Sustainable Urban Design (WSUD)* e *Sustainable Drainage Systems (SuDS)*. No Brasil, segundo Souza, Cruz e Tucci (2012), essas novas abordagens começaram a ser recomendadas a partir do final dos anos 2000, com o desenvolvimento do Programa de Drenagem Sustentável por parte do Ministério das Cidades em 2006, mas, sua adoção, quando existente, ainda comparece de forma muito pontual.

Contudo, para que seja possível alcançar de fato uma gestão mais sustentável da água no meio urbano, respeitando a base ecológica do território e os limites do ciclo natural da água, é necessário também que ocorram avanços na interface entre os serviços de: (i) saneamento ambiental, que trata do abastecimento de água e da evacuação e tratamento dos resíduos líquidos; (ii) do planejamento urbano, que trata do ordenamento territorial da cidade; e (iii) da gestão de recursos hídricos, que trata das atividades de aproveitamento, conservação, preservação e recuperação da água bruta (NASCIMENTO; HELLER, 2005; BRITO; BARRAQUÉ, 2008). Entretanto têm sido poucos os estudos e esforços práticos que articulam suas interdependências, que são muitas. Em especial o planejamento urbano ainda leva pouco em consideração o impacto da forma e da escolha dos locais de urbanização sobre a qualidade e quantidade de água. Assim, como destaque do problema a

ser estudado, coloca-se a questão de como pensar o uso e ocupação do solo urbano não só como demandador de água e gerador de impactos negativos mas como parte da solução de gestão da água no meio urbano, em conjunto com as soluções de saneamento e proteção da água, delineando as interfaces entre ocupação do solo urbano e garantia da quantidade e qualidade de água, reforçando os fundamentos apostados por Brown, Keath e Wong (2009) nas duas últimas fases de gestão da água urbana e por Acselrad (1999) e Tudela (1996) sobre a aplicação do conceito de sustentabilidade ao planejamento e gestão das cidades.

Existem evidências de que as mudanças dos padrões de cobertura do solo urbano são a principal característica que altera diversas funções do ciclo hidrológico natural, como a função de recarga, a evapotranspiração e o escoamento superficial (TANG *et al.*, 2005). Nesse processo, chama a atenção, principalmente, a observância da alteração do processo de recarga nas cidades pela notada sobreposição das áreas de recarga e áreas urbanizadas, pela incerteza quanto à disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos e suas taxas de reabastecimento e pelo papel estratégico dos aquíferos nos cenários de escassez hídrica, o que demanda desafios: (i) decisões sobre como ocupar áreas que se encontram na sobreposição entre áreas de recarga de aquíferos e áreas passíveis de urbanização; e (ii) revisões dos padrões de ocupação do solo no que tange à diminuição da infiltração natural e potencial para aplicação de infraestruturas de saneamento multifuncionais que reforçam o comportamento natural da água.

Essa problemática, à qual o estudo visa responder, embasa-se nas premissas de que: (i) existem semelhanças entre as áreas propícias à recarga e as áreas propícias à urbanização; (ii) diferentes tipologias de ocupação do solo urbano geram diferentes oportunidades de infiltração natural de água, produzindo diferentes impactos sobre a recarga dos aquíferos; e (iii) o conhecimento do potencial de infiltração natural produzido por essas tipologias, associado ao conhecimento das condições do meio físico que regulam a dinâmica da recarga constituem-se em condição para a predição de padrões de ocupação que mitiguem a perda de recarga dos aquíferos.

Existe uma quantidade significativa de estudos, principalmente na área de hidrogeologia, que procuram entender os processos que envolvem a recarga dos aquíferos e a espacialização desse processo, a exemplo de: Simmers (1987); Teixeira *et al.* (2000); Campos (2004); Lousada e Campos (2005); Bear (2007); Souza (2013); e Santos e Koide (2016). Também, vários estudos e abordagens procuram estabelecer diretrizes de urbanização mais sensíveis ao ciclo hidrológico, priorizando a infiltração natural das águas e a utilização de técnicas de drenagem sustentável, a exemplo de: McHarg, Sutton e Spirn (1973); Urbonas (1994); EPA (2000); Hinman (2012); Souza, Cruz e Tucci (2012); Andrade (2014); Melbourne Water (2014); Ballard (2015); e WWAP (2018). Entretanto ainda é muito reduzido o número de estudos que procuram relacionar a recarga dos aquíferos e as tipologias de ocupação urbana (MARSALEK *et al.*, 2013), desafio com o qual esta pesquisa pretende contribuir.

Diante do problema e premissas apontados, a pesquisa tem como objetivo construir um arcabouço teórico e metodológico capaz de auxiliar na identificação e classificação de tipologias de ocupação urbana quanto à oportunidade gerada para infiltração natural da água, com o intuito de contribuir para o ajuste das bases técnicas das cidades para um planejamento urbano sensível à manutenção da função de recarga dos aquíferos e do ciclo natural da água. Ainda, os objetivos específicos da pesquisa são: (i) reconhecer as características e relações funcionais entre as áreas propícias à recarga dos aquíferos e a urbanização; (ii) identificar os elementos configuracionais urbanos e suas características que geram maior ou menor oportunidade para infiltração natural da água; e (iii) determinar e classificar tipologias de ocupação urbana e suas diferentes oportunidades geradas para

infiltração natural, relacionando-as com as áreas de recarga dos aquíferos no estudo de caso.

Para responder ao problema, verificar as premissas e atingir os objetivos propostos, a pesquisa se organiza em três partes. A primeira parte, que se divide em dois capítulos, é voltada à exploração, por meio de revisão bibliográfica, dos conceitos relacionados com ecologia urbana, recarga de aquíferos, infiltração natural, técnicas de urbanização sensíveis à água e morfologia urbana, com o intuito de obter conhecimento a respeito da relação entre forma urbana e impacto na recarga e construir um arcabouço teórico e metodológico capaz de contribuir para a identificação de tipologias urbanas sensíveis à função de recarga dos aquíferos.

O Capítulo 2, denominado “Relações entre o processo de recarga dos aquíferos e o processo de urbanização”, revisa: (i) o funcionamento do ciclo hidrológico, ressaltando o papel do processo de recarga; (ii) as definições básicas relacionadas à formação dos aquíferos, o processo de recarga e as características que definem suas áreas de ocorrência; (iii) as características do meio físico que caracterizam áreas propícias à urbanização; e (iv) as implicações causadas pela ocupação do solo urbano na quantidade e qualidade da água nos aquíferos. Ao fim do capítulo, organizam-se as principais relações e semelhanças entre as áreas propícias à recarga e à urbanização e as consequências relativas à urbanização dessas áreas.

O Capítulo 3, denominado “Elementos da forma urbana com implicações sobre a perda de infiltração natural”, revisa e organiza os principais fatores do processo de urbanização relacionados com a redução da taxa máxima possível de entrada da água no solo. E sistematiza as principais estratégias de urbanização voltadas à mitigação da perda da infiltração natural de água, relacionando-as com esses fatores. Em seguida, a partir da revisão de conceitos da morfologia urbana, identificam-se os principais elementos configuracionais da forma urbana relacionados com os fatores que levam à perda de infiltração natural e com as medidas de urbanização mitigadoras, construindo um quadro teórico e metodológico para ser utilizado na identificação de tipologias de similar oportunidade para infiltração natural.

A segunda parte da pesquisa, que se divide em três capítulos, é voltada ao desenvolvimento e aplicação do arcabouço teórico e metodológico na análise do estudo de caso, verificando sua aplicação e as premissas do trabalho. Escolheu-se como estudo de caso o Distrito Federal (DF) devido à problemática recente que tem vivido em relação à escassez de água, o que torna o momento importante para revisão do papel do planejamento urbano na gestão da água; ao seu alto grau de urbanização, que coloca a relação entre forma urbana e impacto na recarga em evidência; e à substancial base de informações e debates sobre a dinâmica socioambiental dada pelo recente estudo do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE).

O Capítulo 4, denominado “Relações entre as áreas propícias à recarga dos aquíferos e à urbanização no Distrito Federal”, foi desenvolvido principalmente com base nos conceitos organizados no Capítulo 2, apresentando as características dos aquíferos do DF e revisão das características do meio físico que condicionam a recarga e a urbanização no território. A partir dessa revisão, são construídos mapas de áreas propícias à recarga de aquíferos e à urbanização. Para construção dos mapas, foi utilizada técnica de planejamento ecológico de sobreposição de informações cartográficas, desenvolvida por Crepani *et al.* (2001), na qual são atribuídos valores às características de diferentes temas do meio físico relacionadas com o processo ecossistêmico estudado. Esses valores recebem posteriormente um valor final, resultante de média aritmética dos valores individuais de cada tema, que representa a potencialidade ou vulnerabilidade da área ao processo estudado. Para cada tema, podem ser atribuídos pesos iguais ou diferentes a

dependem de sua importância para o processo. Essa técnica foi adaptada ao estudo analisando os dados em SIG com o programa ArcGis.

No Capítulo 5, intitulado “Alterações na cobertura do solo sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga de aquíferos no distrito federal”, é explorado o histórico de alteração da cobertura do solo, com ênfase no processo de ocupação urbana, com base em fotos aéreas dos anos de 1964, 1986, 1991, 1997, 2009, 2015 e 2016 disponibilizadas pelo Sistema de Informações Territoriais e Urbanas (Siturb) e nos planos de ordenamento territorial - Plano de Uso e Ocupação do Solo (POUSO/1986) e Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT/92-97-09-12), foi apontada a relação entre o processo de decisão da ocupação urbana no território e as áreas de recarga dos aquíferos.

O Capítulo 6, denominado “Impactos das tipologias de ocupação urbana sobre as áreas de recarga dos aquíferos da Unidade Hidrográfica (UH) do Lago Paranoá”, analisa diferentes tipologias de ocupação urbana quanto ao seu impacto na recarga natural dos aquíferos, no âmbito da UH do Lago Paranoá, como forma de aprofundar o entendimento da correlação entre os parâmetros urbanísticos com influência sobre a infiltração natural. A análise deu-se a partir do levantamento da área urbanizada em 2016 na UH, onde foram identificadas de forma visual áreas de densidade construtiva homogênea, que foram posteriormente caracterizadas e classificadas de acordo com o quadro teórico e metodológico construído no Capítulo 3.

Por fim, na terceira e última parte, são apontadas as principais conclusões, análises preliminares, limitações da pesquisa e recomendações para estudos futuros.

2. RELAÇÕES ENTRE O PROCESSO DE RECARGA DOS AQUÍFEROS E O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO

2.1. Ciclo da água

O ciclo hidrológico é um modelo conceitual que descreve o armazenamento e circulação fechada da água entre a biosfera, atmosfera, litosfera e hidrosfera, impulsionada pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (MARSALEK *et al.*, 2013). Esse modelo fornece base conceitual unificadora para o estudo do regime hídrico, envolvendo questões climáticas, hidrológicas e de uso do solo. Os compartimentos de armazenamento da água são a atmosfera, oceanos, lagos, rios, solo, aquíferos, geleiras e campos de neve. Os aquíferos são o maior e mais bem distribuído reservatório de água doce no mundo. Esse recurso abastece diariamente 2,5 bilhões de pessoas em áreas urbanas (WWAP, 2015). No Brasil, as reservas renováveis de águas subterrâneas atingem cerca de 42,3 mil m³/s, dos quais, apenas 0,2% é explorado² para o abastecimento em 53% dos municípios (ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016).

A circulação de água entre os compartimentos do ciclo é causada por processos de evapotranspiração, condensação, precipitação, infiltração, percolação, derretimento de neve e escoamento. A etapa da precipitação possui particular importância para sociedade, uma vez que se faz disponível em períodos regulares e constitui o total de água potável renovável disponível para utilização (POSTEL; CARPENTER, 1997). Normalmente, os cálculos de balanço hídrico são feitos a partir dessa etapa do ciclo, da qual a água pode-se movimentar para: (i) infiltrar pela superfície do solo, movendo-se para baixo, podendo-se acumular nos aquíferos ou (ii) lentamente escoar pelo solo para ressurgir na superfície na forma de nascentes, pântanos, rios e lagos ou (iii) ser absorvida pelas plantas, que posteriormente liberam a água na atmosfera por evapotranspiração; (iv) escoar pela superfície quando a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo, em direção aos rios, lagos e mares; (v) evaporar e retornar à atmosfera; ou (vi) congelar no topo de montanhas e geleiras (MACHADO; PACHECO, 2010).

No ambiente natural, a proporção e a velocidade com que a água circula por essas diferentes fases varia de acordo com fatores como a cobertura solo, altitude, topografia, temperatura, tipo do solo e geologia. Estudos baseados em dados estatísticos coletados de diversos cenários estimam que, de forma geral, em áreas naturais da água precipitada, 40% sofre evapotranspiração, 10% escoam superficialmente e 50% infiltra no solo (HOUGH, 1985). Para a manutenção desse equilíbrio dinâmico do ciclo, a cobertura vegetal destaca-se como importante mantenedora dos padrões naturais de infiltração e escoamento, uma vez que: aumenta a permeabilidade do solo por meio de sua estrutura de raízes; consome parte da água precipitada, necessária para o seu metabolismo; e aumenta a capacidade de retenção da água pela rugosidade que gera no solo (MACHADO; PACHECO, 2010).

2.2. Condicionantes físicos do processo de recarga dos aquíferos

A separação dos recursos hídricos em águas superficiais e subterrâneas é artificial, uma vez que elas fazem, na verdade, parte de um sistema conectado, o ciclo hidrológico, e

² Segundo Rebouças *et al.* (1994), 25% do volume estimado de reservas renováveis dos aquíferos representaria a disponibilidade explorável dos aquíferos.

qualquer mudança em um desses componentes afeta eventualmente o outro, entretanto essa separação é importante para o estudo e gestão do comportamento da água. As formações subterrâneas podem ser divididas verticalmente em zonas de acordo com a proporção de água em seus poros. Essencialmente, temos uma zona de saturação onde os poros estão preenchidos principalmente com água e uma zona de aeração, onde estão preenchidos principalmente com gases. A zona saturada é normalmente delimitada por uma superfície imaginária denominada lençol ou membrana freática, abaixo da qual se encontram os aquíferos.

A parte mais superficial da zona de aeração é responsável por manter a água da qual depende a vegetação. A umidade dessa zona em um momento de precipitação também influencia a quantidade de água que se move para as camadas inferiores. Esse fenômeno está relacionado com a capacidade de campo, que corresponde ao volume de água adsorvido que fica parado por forças capilares, não sofrendo movimento para níveis inferiores, apenas para cima por evaporação ou transpiração vegetativa (TEIXEIRA *et al.*, 2000; BEAR, 2007). Após essa camada superficial, a água move-se para baixo por gravidade em direção aos aquíferos. Acima do lençol freático, ocorre a subzona capilar, considerada praticamente saturada e onde existe também um fluxo horizontal, configurando o escoamento subsuperficial que pode alimentar rios ou nascentes (BEAR, 2007).

Os aquíferos dividem-se em confinados e não confinados, livres ou freáticos. A recarga dos aquíferos freáticos dá-se de forma direta pelas camadas superiores do solo principalmente por meio da precipitação.³ Enquanto a recarga dos aquíferos confinados dá-se principalmente a partir de aquíferos freáticos adjacentes, por meio de camada semipermeável ou permeável ou por áreas específicas na superfície onde a camada confinante termina. Em condições naturais, o total da água precipitada que infiltra no solo em direção aos aquíferos, livres ou confinados, depende principalmente dos seguintes fatores: topografia; altura, intensidade e duração da chuva; capacidade de campo, umidade antecedente e propriedades hidráulicas do solo (BEAR, 2007; MOTA, 1981; SIMMERS, 1987). Esses fatores supracitados podem ser agrupados em características relacionadas com: (i) o clima; (ii) a geomorfologia; e (iii) a pedologia.

Do clima, importam, principalmente, as características da precipitação de altura, intensidade e duração. A altura é importante, uma vez que para a água chegar a infiltrar seu volume precisa ser maior do que as perdas que ocorrem por interceptações, evapotranspiração, retenção em depressões e infiltração até a saturação da camada superficial do solo. Ainda, chuvas menos intensas, regularmente distribuídas ao longo do tempo, promovem uma infiltração maior, pois a velocidade de infiltração pode acompanhar a altura de precipitação gerada, enquanto chuvas torrenciais favorecem o escoamento superficial direto. A duração das chuvas também é relevante, pois a taxa de infiltração da água no solo decresce quando o solo se encontra saturado.

A geomorfologia influencia a recarga por meio da: (i) altitude relativa e (ii) declividade. O padrão do fluxo de movimento da água entre as áreas de recarga e descarga ocorre a partir da força da gravidade e pressão, normalmente de áreas mais elevadas para áreas menos elevadas, formando bacias hidrográficas subterrâneas que acompanham o relevo do terreno (SIMMERS, 1987). Assim, os altos regionais são responsáveis por recargas dos aquíferos mais profundos, enquanto áreas baixas regionais, por recargas locais, que são logo descarregadas nos corpos hídricos superficiais (SILVEIRA; USUNOFF, 2009). Somados a isso, os declives acentuados, acima de 20%, favorecem o escoamento superficial direto, diminuindo a infiltração (KALIRAJ; CHANDRASEKAR; MAGESH, 2014).

³ Em alguns casos, a água da recarga natural também pode ser proveniente de corpos hídricos superficiais, e quantidades muito pequenas podem ser de origem magmática.

Das características do solo, são importantes principalmente: capacidade de campo; umidade antecedente; profundidade e condutividade hidráulica. A umidade do solo anterior à precipitação influencia a infiltração da água que chega aos aquíferos devido à capacidade de campo do solo. A primeira camada de água é adsorvida quando o solo está pouco úmido, contribuindo apenas para completar a capacidade de campo, não sofrendo movimentos para níveis inferiores (BEAR, 2007). A condutividade hidráulica do solo é o fator mais decisivo em relação às taxas de infiltração (SANTOS; KOIDE, 2016; LOUSADA & CAMPOS, 2005). Os solos mais porosos e permeáveis, em geral com maior teor de areia, possuem altas taxas de infiltração. Enquanto solos mais finos e de menor porosidade, em geral com maior teor de argila, possuem menores taxas de infiltração. Além disso, a espessura do solo também importa, uma vez que tem a capacidade de reter temporariamente uma maior quantidade de água precipitada que posteriormente é liberada para o aquífero subjacente.

2.3. Condicionantes físicos do processo de urbanização

A escolha das áreas onde ocorre o processo de urbanização envolve uma multiplicidade de fatores socioeconômicos, culturais e políticos, de proteção e ambientais, que se sobrepõem e variam no tempo e espaço (CARTER, 1977). Em relação às condicionantes ambientais da urbanização, autores da área da ecologia urbana apontam que os principais fatores do meio físico a serem contemplados para a escolha de áreas a serem urbanizadas são: (i) o clima; (ii) a geomorfologia; e (iii) os solos (HOUGH, 1984; MCHARG, 1969; MOTA, 1981).

Os fatores climáticos que estão mais relacionados ao conforto térmico e, conseqüentemente, à escolha de locais a serem urbanizados são: (i) a radiação solar; (ii) a temperatura; (iii) a velocidade e direção dos ventos; (iv) a precipitação; (v) a umidade; e (vi) as camadas atmosféricas (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011). Esses fatores dependem principalmente da altitude, longitude e continentalidade dos locais (MOTA, 1981). Ainda no clima, a presença de chuvas é um fator importante para a escolha dos locais a serem urbanizados, uma vez que está relacionada à disponibilidade hídrica local, recurso indispensável à vida e ao desenvolvimento.

Da geomorfologia, a declividade é o fator que mais influencia a urbanização (MOTA, 1981). Terrenos com grandes declividades podem ser inapropriados à ocupação devido a problemas de instabilidade e dificuldade de mecanização. De forma a precaver situações de risco e impactos dessa natureza, o artigo 3º da Lei Federal nº 6.766/79 estabelece um limite de declividade de 30% (15º) para o loteamento do solo urbano. Mas, mesmo para declividades entre 20 a 30%, já se recomenda o uso de técnicas adequadas à conservação dos solos. Em adição, os baixos regionais geralmente estão associados à alta densidade de drenagens naturais e estão mais sujeitas a inundações e inversões de temperatura das camadas atmosféricas, que podem contribuir para o agravamento da poluição do ar.

Os solos também influenciam na escolha da área e no tipo de ocupação. Por exemplo, a instabilidade de ocupação de encostas depende da coesão do solo; quanto mais coeso o solo menos propício a deslizamentos. Também, as propriedades do solo são fundamentais para determinar condições para a sustentação de obras civis. São importantes: a permeabilidade, a profundidade, a resistência ao cisalhamento e resistência à carga. A resistência a cargas é determinada principalmente pelas características de coesão e compactidade do solo. Em linhas gerais, areias compactas e argilas rijas e profundas representam solos melhores para fundações, com maior capacidade de suporte de carga e menos susceptíveis a deformações (ALMEIDA, 2004). Entretanto solos considerados com boas características para fundações, devido principalmente a sua compactidade, acarretam limitações ao desenvolvimento da arborização urbana, infiltração da água e capacidade de receber efluentes líquidos domésticos. Em adição, solos encharcados de regiões

pantanosas ou próximas a drenagens naturais, com lençóis freáticos muito altos, também são inadequados devido à susceptibilidade à deformação, risco de inundações, contaminação e dificuldade de receber efluentes domésticos.

A comparação das condicionantes à urbanização e à recarga dos aquíferos permite inferir o grau de similaridade entre áreas propícias à ocupação urbana, sob o aspecto ambiental, e as áreas propícias à recarga conforme exposta na tabela:

Tabela 1 - Relação entre os fatores do meio físico propícios à recarga de aquíferos e propícios à urbanização

RELAÇÕES ENTRE OS FATORES			
Caracterização necessária	Fatores relacionados à recarga	Fatores relacionados à urbanização	Relação
Geomorfologia	Regiões topográficas de maior altitude e menor declividade (<20%)	Regiões topográficas de maior altitude e menor declividade (<30%)	Muito alta
Solos	Solos permeáveis e espessos, com umidade antecedente a chuva próxima à capacidade de campo	Solos mais compactos e espessos, que possuem ao mesmo tempo resistência a cargas e capacidade de absorção	Alta
Clima	Grande quantidade de chuvas, pouco intensas e de curta duração	Temperaturas e umidades amenas, disponibilidade hídrica	Alta

Fonte: A Autora

2.4. Alterações da recarga dos aquíferos causadas pelo processo de urbanização

As alterações geradas pela urbanização na recarga dos aquíferos são de dois tipos: (i) na quantidade, devido às alterações nas taxas de infiltração natural ou artificial; e (ii) na qualidade, devido à intrusão de contaminantes de forma indireta, passando pela zona vadosa do solo ou direta, por meio de poços ou técnicas de infiltração artificial (FOSTER, STEPHEN; LAWRENCE; MORRIS, 1998).

De forma sintética, alguns dos principais impactos da urbanização na quantidade de água infiltrada são decorrentes do aumento da impermeabilização do solo e redução de cobertura vegetal (MARSALEK *et al.*, 2013). O balanço hídrico das áreas urbanas apresenta grandes variações em relação ao das áreas naturais, visto que a proporção de água que infiltra no solo após a precipitação pode variar de 50%, em ambientes naturais, para 30 a 15%, dependendo do tipo de ocupação do solo urbano. (MOTA, 1981; HOUGH, 1985). Essa condição associada à retirada de água dos aquíferos para abastecimento pode levar à diminuição significativa do volume de água disponível e pode levar também à diminuição da descarga de água nos corpos hídricos superficiais e causar subsidência do solo.

Apesar da perda da recarga natural, existem diversas fontes de recarga artificial nas áreas urbanas que podem ser separadas em intencional e não intencional. Em alguns casos, principalmente em grandes cidades de clima árido ou semiárido, essa recarga artificial, especialmente de fontes não intencionais, pode parcial ou até completamente compensar o déficit da infiltração natural de água da chuva, aumentando a altura do lençol freático (FOSTER; MORRIS; LAWRENCE, 1994). Foster, Morris e Lawrence (1994) estimaram que, em casos extremos, vazamentos não intencionais do sistema de esgotamento e abastecimento de água podem ser equivalentes a 500 mm de chuva ao ano em áreas altamente povoadas. O problema desse aumento da recarga por meio desses processos é que, na maioria dos casos, suas fontes acabam por introduzir contaminantes na água do subsolo.

Um elevado número de atividades humanas urbanas podem poluir os aquíferos por meio de recargas não intencionais, mas apenas alguns são responsáveis pelos problemas mais graves, pois o tamanho da fonte não é necessariamente um fator importante, uma vez que recargas prolongadas de pequenas operações poluentes podem também causar grandes impactos (FOSTER; MORRIS; LAWRENCE, 1994). As principais fontes contaminadoras urbanas não intencionais dos aquíferos são: os (i) aterros controlados ou não controlados que foram construídos sem diretrizes adequadas e separação de resíduos perigosos; são fontes de lixiviados; (ii) tanques e as lagoas usados para tratar, evaporar ou armazenar resíduos líquidos de drenagem, industriais ou minerais, mesmo que costumem desenvolver vazamentos a depender da qualidade da construção e da manutenção; (iii) tanques subterrâneos usados para armazenarem líquidos, como gasolina, que geralmente desenvolvem vazamento devido à corrosão e conexões ruins; (iv) águas residuais que podem escorrer de fossas sépticas, latrinas, encanamento de esgoto ou serem diretamente descarregadas no solos; (v) transporte de água contaminada em canais abertos e rios que recarregam aquíferos; (vi) indústrias, principalmente as que lidam com resíduos tóxicos, como hidrocarbonetos, solventes sintéticos, metais pesados etc.; e (vii) locais de enterro de humanos e animais, quando os caixões usados não são estanques (MARSALEK *et al.*, 2013).

Já a recarga artificial intencional dos aquíferos dá-se principalmente a partir de técnicas de drenagem sustentável que visam ao aumento das oportunidades para retenção e infiltração da água da chuva. As principais técnicas de drenagem sustentável, que auxiliam na infiltração da água, são (HINMAN, 2012): (i) sistemas de infiltração, como células, trincheiras e cobertores de infiltração, que são buracos enterrados construídos para permitir a retenção e lenta infiltração da água no solo; (ii) bacias de biorretenção ou jardins de chuva, que são pequenas depressões projetadas com um mix de solo e plantas, que utilizam as propriedades químicas, biológicas e físicas destes para reter, infiltrar e remover poluentes da água; e (iii) compostagem dos solos, uma vez que a matéria orgânica é capaz de física e quimicamente melhorar a estrutura e porosidade do solo. Para que seja possível a implantação dessas técnicas nas áreas urbanas, é necessário que haja espaços livres para isso. Nesse sentido, abordagem como o LID, WSUD e SuDS priorizam o controle de pequena-escala, ou seja, o emprego de técnicas de tamanho reduzido o mais próximo possível da fonte de excedentes. Essa forma de implementação oferece oportunidades significativas para manter as funções hidrológicas de interceptação, infiltração e armazenamento em depressões, respeitando limitações locais de espaço físico, solo, declividade, nível do lençol freático e proximidade a fundações de edificações (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000).

3. ELEMENTOS DA FORMA URBANA COM IMPLICAÇÕES SOBRE A PERDA DE INFILTRAÇÃO NATURAL

3.1. Fatores relacionados com a infiltração natural nas cidades

Dadas as semelhanças entre as condicionantes físicas das áreas propícias à recarga e à urbanização, entender com maior profundidade como as formas urbanas podem levar à redução das taxas de infiltração torna-se importante. No entanto avaliar os impactos da ocupação do solo no regime hidrológico é um grande desafio devido à complexidade e heterogeneidade da forma urbana e da ligação forma-impacto hidrológico.

Historicamente, avaliações das alterações hidrológicas em áreas urbanizadas têm sido feitas, com foco na modelagem do escoamento superficial para constituir medidas de drenagem. Nesse segmento, diversos modelos utilizam o percentual de áreas impermeáveis como principal característica urbana levada em consideração para estimar o escoamento superficial. Alguns exemplos desses modelos são: *Water and Energy Transfer between Soil (WetSpa)*; *Plants and Atmosphere*; *Soil and Water Analysis Tool (SWAT)*; e *Storm Water Management Model (SWMM)*. Embora essa avaliação possa ser suficiente para a gestão da drenagem urbana, para que se possa construir cidades mais sensíveis à manutenção da recarga, a área do planejamento e projeto urbano precisa entender outras nuances relacionadas aos impactos hidrológicos da ocupação do solo urbano, que podem permitir um manejo mais consciente dos parâmetros urbanísticos e instrumentos de gestão.

3.1.1. Fatores de manipulação do solo urbano com implicações sobre a infiltração natural

A infiltração natural é significativamente reduzida nas áreas urbanas devido a fatores que afetam a taxa máxima possível de entrada da água pelo solo. O estudo da bibliografia mais recente sobre o tema destaca como as principais alterações causadas pela urbanização na taxa máxima possível de entrada da água no solo: (i) o selamento 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 (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).

(i) Selamento do solo por superfícies impermeáveis

O selamento do solo por meio de superfícies impermeáveis talvez seja o impacto mais visível da urbanização na permeabilidade do solo. As áreas seladas incluem edificações e áreas pavimentadas com materiais impermeáveis. O impacto dessas superfícies não é apenas na diminuição da área de infiltração mas, também, no aumento da velocidade de escoamento, redução do tempo de resposta dos corpos receptores e contaminação da água e formação de enchentes (BOOTH, 1991; MARSALEK *et al.*, 2006; SHUSTER *et al.*, 2005).

Alguns autores colocam a existência de um nível limiar de urbanização abaixo do qual as mudanças nas respostas hidrológicas não são aparentes (JACOBSON, 2011). Brun e Band (2000) encontraram em sua pesquisa apenas mudanças muito pequenas na taxa de

escoamento ocorridas em áreas de muita baixa densidade e postularam que isso é devido à área impermeável não ter excedido um limiar de 20%. Enquanto Booth e Jackson (1997) afirmam que há um acúmulo de efeitos prontamente mensurados a partir de 10% de área coberta por superfícies impermeáveis. Já Yang *et al.* (2010) sugerem que 3 a 5% de área de superfície impermeável é o limiar, além do qual os efeitos de urbanização começam a ter efeitos negativos no regime hidrológico. Ou seja, mesmo taxas muito baixas de selamento do solo já são capazes de perturbar o meio ambiente.

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), referente principalmente à malha viária, causando aumento de volume e carga de poluentes de origem difusa (PSAT & WSU 2005). Enquanto 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), referente principalmente aos telhados e estacionamentos, causando o acúmulo de poluentes de deposição atmosférica e emissões veiculares (PSAT & WSU 2005).

Detalhes sobre sua distribuição, extensão, conexão e localização também são importantes, uma vez que nem toda a área urbana selada possui o mesmo comportamento hidrológico. Nesse sentido, muitos estudos separam a área impermeável em diretamente conectada com a rede de drenagem construída, como ruas e estacionamentos em geral, e, em indiretamente conectada, como telhados, calçadas e outras áreas que escorrem em direção a áreas vegetadas (JACOBSON, 2011; SHUSTER *et al.*, 2005). Essas áreas não causam o mesmo impacto na infiltração e escoamento da água da chuva, haja vista que a água, ao cair sobre áreas impermeabilizadas diretamente conectadas, é rapidamente evacuada da área urbana e levada para estações de tratamento e/ou corpos hídricos, diminuindo a oportunidade para infiltração, enquanto a água sobre as áreas impermeabilizadas indiretamente conectadas pode escorrer até áreas de superfície permeável, canais de escoamento naturais, contribuindo para a infiltração natural.

Em relação à estimativa da diminuição da infiltração de acordo com o percentual de áreas impermeáveis, embora exista relação clara de causa impacto, os estudos não são conclusivos. Como visto no capítulo anterior, alguns autores (HOUGH, 1984; MOTA, 1981) e modelos matemáticos fazem correlações diretas entre percentual de superfícies impermeáveis e esses parâmetros, a partir de relações estatisticamente significativas, obtendo 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%. Por exemplo, a fórmula de cálculo da infiltração Curva-Número (CN), utilizado no SWAT e outros modelos, estabelece diferentes valores para CN que variam de zero (solo muito permeável) até cem (solo completamente impermeável) de acordo com cenários de ocupação do solo. O valor de CN nesse modelo depende, além do tipo de ocupação do solo, das condições antecedentes de umidade, o que pode variar entre: (i) solos secos; (ii) solos cuja umidade corresponde à capacidade de campo; e (iii) solos quase saturados (SWAT, 2009). E das características hidrológicas do solo que podem variar entre: (i) solos com alta taxa de infiltração, superior a 7,62mm/h; (ii) solos com moderada taxa de infiltração, que varia entre 3,81 e 7,62 mm/h; (iii) solos com baixa taxa de infiltração, que varia entre 1,27 e 3,81 mm/h; e (iv) solos com muito baixa taxa de infiltração, inferior a 1,27 mm/h (SWAT, 2009).

Tabela 2 - Valores de CN para áreas urbanas para os quatro tipos hidrológicos de solo

Tipo de cobertura do solo em áreas urbanas	Valores de CN			
	Alta TI	Moderada TI	Baixa TI	Muito Baixa TI
Espaços abertos (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios etc.) com menos de 50% de grama*	68	79	86	89
Espaços abertos com 50 a 75% de grama*	49	69	79	84
Espaços abertos com mais de 75% de grama*	39	61	74	80
Superfícies impermeáveis (estacionamentos, estradas, telhados, calçadas)	98	98	98	98
Estradas e calçadas pedregulhadas	76	85	89	91
Estradas e calçadas de terra	72	82	87	89
Zonas comerciais com 85% de superfícies impermeáveis	89	92	94	95
Zonas industriais com 75% de superfícies impermeáveis	81	88	91	93
Zonas residenciais com lotes de 500 m ² e 65% de superfícies impermeáveis	77	85	90	92
Zonas residenciais com lotes de 1000 m ² e 38% de superfícies impermeáveis	61	75	83	87
Zonas residenciais com lotes de 1300 m ² e 30% de superfícies impermeáveis	57	72	81	86
Zonas residenciais com lotes de 2000 m ² e 25% de superfícies impermeáveis	54	70	80	85
Zonas residenciais com lotes de 4000 m ² e 20% de superfícies impermeáveis	51	68	79	84
Zonas residenciais com lotes de 8000 m ² e 12% de superfícies impermeáveis	46	65	77	82
Área recentemente urbanizada, mas ainda sem construções (somente solo exposto, sem vegetação) *	77	86	91	94

Fonte: SCS Engineering Division, 1986 apud SWAT, 2009)

*ver itens compactação do solo e redução da cobertura vegetal arbórea.

Entretanto outros autores que realizaram testes de campo perceberam que essa correlação entre tipos de cobertura do solo e taxas de infiltração pode não ser tão clara (BRUN; BAND, 2000; JACOBSON, 2011). Church *et al.* (1999) mostraram que os coeficientes de escoamento variam para áreas com o mesmo percentual de superfícies impermeáveis e tipo de solo, levando à conclusão de que não existe um coeficiente de escoamento universal que possa ser usado para estimar a taxa de escoamento. Essa variação entre as taxas de infiltração pode ter relação com variáveis hidrológicas não consideradas pelos modelos, como por exemplo a conectividade das áreas impermeáveis com o sistema de drenagem (SHUSTER *et al.*, 2005). Existe uma grande dificuldade em 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. Lee e Heaney (2003) realizaram um estudo sobre o impacto de diferentes métodos de estimativa da impermeabilização, em que o resultado mostra uma diferença nas vazões de pico modeladas da ordem de 265%, de acordo com o tipo de coleta da medida da área impermeabilizada. Segundo os autores, esses resultados sugerem a necessidade de aferir, de forma confiável, as áreas impermeáveis, principalmente as diretamente conectadas ao sistema de drenagem.

(ii) Compactação do solo

Além da distribuição de superfícies impermeáveis, a compactação do solo possui grande impacto sobre a infiltração natural urbana. As atividades associadas com o desenvolvimento inicial de uma área urbana, como importação de solos e posterior compactação e ruptura de sua estrutura durante operações cortes, terraplanagem e fundações são os principais motivos da compactação do solo urbano, com extensamente distribuídos por toda a cidade (PITT *et al.*, 1999, 2009). 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 manejo, é possível assumir que, durante o período de construção, as áreas que foram 'limpas' dentro da zona de construção se tornam 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).

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, uma vez que o teor de água inicial no solo possui menores efeitos na taxa de infiltração nesses solos (PITT *et al.*, 1999, 2003, 2009). Enquanto a infiltração em solos argilosos são afetados grandemente tanto pela compactação quanto pelo teor de água inicial, o que pode rapidamente reduzir em até 11 vezes as taxas de infiltração e aproximá-las de zero (PITT *et al.*, 1999, 2003, 2009).

Entretanto, diferentemente dos estudos sobre superfícies impermeáveis, os estudos que ligam a compactação do solo à perda de permeabilidade ainda não utilizam relações estatisticamente significativas para propor valores gerais de perda de permeabilidade do solo urbano, devido à compactação. O que se percebe a partir dos estudos pontuais é que a perda de permeabilidade pela compactação varia a depender do tipo de compactação sofrida (PITT *et al.*, 1999). O estudo de GREGORY *et al.* (2006), por exemplo, demonstra que a compactação causada por equipamentos leves, que ocorre no dia a dia da cidade, influencia menos a infiltração do que aquela causada por equipamentos pesados, como caminhões e tratores, que ocorrem geralmente na fase de construção e em zona industriais.

Existe, ainda, 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, com infiltração muito reduzida em comparação com as condições anteriores à construção. Enquanto em áreas onde a perturbação do solo urbano ocorreu há muito tempo, o solo pode ter recuperado parte de sua capacidade de infiltração devido ao desenvolvimento de estruturas radiculares e insetos do solo. Entretanto estudos realizados pela Universidade de Wisconsin (PITT *et al.*, 1999) indicam que são necessárias várias décadas para que os solos compactados se recuperem para condições similares às condições de pré-desenvolvimento.

(iii) Redução de cobertura vegetal arbórea

A cobertura vegetal também afeta as taxas de infiltração da água no solo. As raízes das plantas, insetos e micróbios escavam, penetram e juntam as partículas do solo de forma a melhorar sua estrutura e porosidade (HINMAN, 2012). Os micros e macros poros criados por essas estruturas melhoram a capacidade de retenção e infiltração do solo, principalmente em áreas com cobertura arbórea que possuem raízes mais profundas e mais 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 e não contribui no mesmo grau para o aumento da permeabilidade do solo (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. Um estudo de Kays (1980), por exemplo, demonstra o impacto da perturbação do solo e do desmatamento em uma microbacia ocupada por áreas residenciais de baixa densidade, com apenas 27,1% de coberturas impermeáveis, entretanto a maior parte da vegetação nativa existente havia sido removida e substituída por gramados e grande parte do solo havia sido perturbado. Isso fez com que as taxas de infiltração se reduzissem em até 30 vezes, em comparação com a área florestal remanescente e mesmo tipo de solo; algumas das áreas gramadas apresentaram taxas de infiltração menores do que 1,25 cm/h. Pode-se concluir, a partir das amostras de campos, que na realidade a área possui cerca de 67% de sua área coberta por superfícies de muita baixa infiltração.

Tabela 3 - Apresentação dos resultados do estudo de Rays (1980)

Tipo de ocupação		% ocupada da bacia	Taxa média de infiltração (cm/h)
Superfícies permeáveis	Floresta de pinheiros de meia idade, com ninhadas de folhas	2,6%	31,56
	Área sobre anterior floresta de pinheiros, com baixa perturbação do solo, gramados e grandes árvores preservadas	23,8%	11,20
	Área sobre anterior campo de cultivo, com baixa perturbação do solo, gramados e novas árvores	9,1%	4,78
	Área sobre anterior campo de cultivo com arado, com baixa perturbação do solo, gramados e poucas árvores	8,7%	0,70
	Alta perturbação do solo por terraplanagem, gramados e poucas novas árvores	7,1%	1,25
	Alta perturbação do solo por cortes, gramados e poucas novas árvores	15,1%	0,67
	Alta perturbação do solo por cortes e terraplanagem, gramados e nenhuma árvore	4,7%	0,45
Superfícies impermeáveis		27,1%	-

Um estudo realizado por Kelling e Peterson (1974) procurou demonstrar que as diferenças de infiltração entre as diferentes áreas urbanas gramadas com o mesmo tipo de solo devem-se principalmente à compactação do solo. A partir desse estudo (KELLING; PETERSON, 1974), pode-se concluir que não só as áreas com gramíneas apresentam naturalmente menores taxas de infiltração do que áreas com extrato arbóreo mas que, no meio urbano, essas áreas encontram-se normalmente associadas a áreas onde houve uma perturbação e consequente compactação do solo urbano e onde há um menor potencial para recuperação de sua permeabilidade.

3.1.2. Medidas de urbanização sensíveis à infiltração de água no solo

Novas abordagens para lidar com o ciclo da água em paisagens urbanas surgiram, em meados da década de 1970, com uma visão holística para integrar o uso e ocupação do solo ao manejo da água, fornecendo uma gama de soluções para mitigar os impactos negativos da urbanização no regime hidrológico. Com o intuito de buscar orientações para um desenho urbano de menor impacto à infiltração natural, esta seção investigou manuais e documentos diretivos das abordagens que segundo Andjelkovic (2001), Andrade (2014), Souza, Cruz e Tucci (2012) mais avançaram nesse sentido: (i) a de Ian McHarg (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973; MCHARG, 1969), Tomas R. Schueler (SCHUELER, 1987) e B. Urbonas (URBONAS, 1994); (ii) a do *International Hydrological Programme (IHP)* da Unesco (ANDJELKOVIC, 2001; MAKSIMOVIC; TUCCI, 2001; WWAP, 2018); (iii) a do *Low impact Development (LID)*, que surgiu na década de 80 desenvolvida pela Agência de Proteção

Ambiental Americana (US-EPA) (EPA, 2000a); (iv) a do *Water Sensitive Urban Design (WSUD)*, que surgiu na Austrália (MELBOURNE WATER, 2014); (v) e o da *Sustainable Drainage Systems (SuDS)*, abordagem inglesa (BALLARD *et al.*, 2015). As técnicas, estratégias e diretrizes dessas diferentes abordagens foram organizadas a partir dos três principais fatores relacionados com a perda da infiltração natural identificados na seção anterior: (i) áreas seladas; (ii) áreas compactadas; (iii) áreas desflorestadas.

(i) Mitigação das áreas seladas

A partir do estudo das abordagens, percebe-se que a mitigação das áreas seladas urbanas pode ser feita a partir de duas estratégias principais: (i) redução da área total de superfícies impermeáveis; (ii) desconexão das áreas diretamente ligadas ao sistema de drenagem convencional. Nesse sentido, o traçado viário é muito importante na redução do total de áreas impermeáveis e na estruturação da distribuição do escoamento superficial, uma vez que ele é responsável por grandes áreas de superfícies impermeáveis diretamente conectadas ao sistema de drenagem convencional em um desenvolvimento urbano típico. A escolha do traçado viário de uma cidade 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, enquanto os traçados curvilíneos ocupam de forma geral menores áreas (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000). Eliminar ou reduzir, onde possível, cruzamentos de vias por meio da ampliação de quarteirões já auxilia na redução da área ocupada por vias e, por conseguinte, da área total impermeabilizada.

Apesar de o traçado das ruas em grelha ter restrição no contexto do desenho urbano sensível à água, 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 (HINMAN, 2012). A configuração dos lotes também influencia na configuração do traçado viário; casas mais agrupadas e lotes com menores frentes reduzem a área total de ruas, enquanto lotes maiores levam a um aumento do total de área necessária para cada residência (HINMAN, 2012).

Além do tipo de traçado, a largura das vias também possui grande influência na área coberta por essas estruturas. 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 de oito para seis metros pode reduzir o total de área impermeabilizada de uma rua em 30%, o que resulta em 25% de redução do escoamento gerado por essa área (HINMAN, 2012). O manual LID para a cidade de Puget Sound recomenda que ruas de serviço ou de acesso a áreas residenciais não possuam mais de três metros e meio de largura quando de mão única e cinco metros quando de mão dupla, exatamente para reduzir o total de área coberta por essas estruturas (HINMAN, 2012). O impacto da adequação apenas dessas ruas de baixa velocidade pode ser enorme, uma vez que, por exemplo, a Associação Americana de Estradas e Transportes estima que 65 a 80% das ruas pavimentadas do país são de acesso a áreas residências 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 também mais seguras. Outras medidas consideradas *traffic calming*, como estrangulamentos, desalinhamentos, refúgios de travessia e balões também podem reduzir o total de área impermeabilizada das vias.

As áreas impermeáveis remanescentes ainda podem receber intervenções para se tornarem desconectadas entre si e do sistema de drenagem convencional. Nesse sentido, é

possível projetar ruas de forma que seu escoamento superficial seja drenado para sistemas naturais, zonas vegetadas e solos de alta permeabilidade. Para isso, elementos como os meios-fios e baias ou os elementos como balões e canteiros centrais devem ser rebaixados e/ou os próprios canais laterais de escoamento das vias podem ser substituídos por valas de infiltração vegetadas com potencial de integrar elementos de drenagem sustentável, como jardins de chuva. Outra medida possível, nesse sentido, é a utilização de pavimentos semipermeáveis, que podem servir para aumentar as taxas de infiltração e retenção da água nas áreas destinadas a caminhada, passeios de bicicleta e acesso a áreas residenciais, de serviço e estacionamentos (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000). Entretanto 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).

Na escala do lote, para reduzir o total de áreas impermeabilizadas, recomenda-se a verticalização das construções que ocupam um menor percentual do lote para um mesmo total de metros quadrados construídos; entradas de garagens compartilhadas para limitarem o percentual pavimentado; limitação da largura de garagens o máximo de 2,45 m; e redução do afastamento frontal das construções para minimizar o comprimento das áreas de acesso e aumentar a quantidade de áreas não perturbadas no lote (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973). Estudos realizados pelo LID demonstram que a adoção dessas estratégias pode aumentar a área considerada permeável de um lote de 500 m² em até 70% (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000). As áreas impermeáveis remanescentes no lote ainda podem ter seu escoamento direcionado para zonas vegetadas e solos de alta permeabilidade; podem ser introduzidas técnicas de drenagem sustentável (ANDJELKOVIC, 2001).

É comum a associação das estratégias de desenho urbano sensível à água com baixas densidades construtivas, entretanto essa estratégia está equivocada. As análises de drenagem que associam o aumento de densidade com o aumento da impermeabilização do solo levam em consideração apenas a área do empreendimento, sem considerar o número de habitações que esse empreendimento comporta ou o impacto geral sobre a área da região ou bacia hidrográfica. Seria necessário verificar onde as demais casas estão ou estarão para comportar o número necessário de pessoas.

Tabela 4 - Associação entre diferente densidade de ocupação urbana e geração de áreas impermeáveis e escoamento superficial

Cenário	Acres urbanizados	% impermeável	Escoamento total (ft ³ /yr)	Escoamento / domicílio (ft ³ /yr)	% escoamento / domicílio em relação ao cenário A
Na escala de um acre: Diferentes densidades de ocupação em um acre					
A: 1 domicílio	1	20%	18.700	18.700	0
B: 4 domicílios	1	38%	24.800	6.200	67%
C: 8 domicílios	1	65%	39.600	4.950	74%
Na escala do lote: Oito casas acomodadas nos diferentes cenários de densidade					
A	8	20%	149.600	18.700	0
B	2	38%	49.600	6.200	67%
C	1	65%	39.600	4.950	74%
Bacia Hidrográfica (10.000 acres) - ocupada por 10.000 domicílios					
A	10.000	20%	187M	18.700	0
B	2.500	9,5%	62M	6.200	67%
C	1.250	8,1%	49.5M	4.950	74%

Fonte: A Autora, com dados de EPA, 2000b

Apesar de áreas de baixa densidade possuírem menor percentual de área impermeabilizada dentro do empreendimento, elas 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 com densidade mais baixa protege melhor distribuição de água pluvial na bacia. O que foi descoberto é que as densidades mais altas geravam menos escoamento pluvial por moradia em todas as escalas analisadas. Por exemplo, o escoamento gerado por uma casa em um terreno de 4.000 m² é metade do escoamento gerado por oito casas nessa mesma área.

Esses estudos demonstram que loteamentos de alta densidade adjacentes a áreas de espaços abertos com alto valor ecossistêmico possuem muito menor impacto à água no âmbito da bacia hidrográfica do que o loteamento de baixa densidade. Entretanto algumas ressalvas podem ser feitas, embora o aumento da densidade proteja melhor a água na escala regional; no nível do empreendimento, ela cria maior cobertura impermeável, o que pode aumentar problemas de qualidade da água em corpos de água adjacentes, o que deve ser levado em consideração. Esses problemas locais possam ser amenizados pelas medidas de desenho urbano sensível à água e implantação de técnicas de drenagem sustentável.

(ii) Mitigação das áreas compactadas

Para a mitigação das áreas compactadas, pode-se utilizar técnicas de perturbação mínima do solo e recuperar as áreas já compactadas. Para reduzir as áreas compactadas nos parcelamentos, além das medidas citadas anteriormente para redução das áreas impermeabilizadas, que levam a uma menor ocupação e, conseqüentemente, à perturbação do solo, a incorporação das características naturais do terreno no projeto pode minimizar a perturbação das áreas naturais, evitando a perda de sua funcionalidade hidrológica.

Para isso, técnicas de perturbação mínima do solo podem ser utilizadas. Essas técnicas envolvem na escala do lote reduzir o tamanho do canteiro de obras, limitando a localização da construção, mantendo ao máximo a topografia e canais de escoamento naturais, orientando o maior eixo das edificações ao longo do contorno topográfico e evitando a necessidade de cortes e aterros do solo (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973; PRINCE GEORGES COUNTY, 2000). McHarg, Sutton e Spirn (1973) estimam que a área mínima do lote que precisa ser desmatada e compactada no entorno da construção, que deveria ser adotada, varia entre dois metros e meio a quatro metros e meio a depender do tipo de construção. Existem também 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).

O sistema viário também possui forte influência sobre a perturbação do solo, tanto pela passagem diária de veículos pesados quanto pela maior necessidade de cortes e aterros associada à sua implantação. Nesse sentido, os traçados curvilíneos ou híbridos podem facilitar o posicionamento das ruas principais alinhadas às curvas de nível do terreno e evitar perturbação desnecessária do solo na área (ANDJELKOVIC, 2001; PRINCE GEORGES COUNTY, 2000).

Em adição, a implantação apenas de gramados nas áreas desmatadas e compactadas não é recomendada, uma vez que permite uma menor recuperação da compactação do solo, proporcionando baixas taxas de infiltração (ANDJELKOVIC, 2001). Para auxiliar na recuperação da capacidade de infiltração dos solos compactados, recomenda-se replantio de indivíduos arbóreos, principalmente nativos, utilização de técnicas de drenagem sustentável e técnicas de compostagem do solo.

(iii) Mitigação do desflorestamento

Como visto, a perda de infiltração natural por meio do desflorestamento está associada principalmente à maior permeabilidade do solo associada à presença de indivíduos arbóreos. Para mitigar esse fator, é importante prevenir o desmatamento e recuperar principalmente áreas sensíveis à manutenção de funções hidrológicas: (i) áreas florestadas nativas; (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).

Sobre os solos de alta permeabilidade e capacidade de armazenamento, deve-se priorizar a locação de áreas mais densas em solos menos permeáveis (argilosos), preservando e utilizando solos permeáveis (arenosos e/ou florestados) para infiltração (PRINCE GEORGES COUNTY, 2000). McHarg, Sutton e Spirn (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973) classificaram os solos de um empreendimento urbano no Texas 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. E definiram que áreas urbanas para infiltrar uma chuva de um milímetro, desde que não recebessem escoamento de nenhum outro local, teriam que preservar um mínimo de 10% da área quando implantada em solos do tipo A, 25%, em solos do tipo B e 50%, em solos do tipo C, enquanto os solos do tipo D necessariamente teriam que escoar a chuva para outros locais e, portanto, poderiam ser 100% ocupados (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973). Para os casos onde as áreas ocupadas recebessem escoamento de outras áreas, para ocupar os solos C ou D, seria necessário para cada unidade ocupada de solo 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. Nesse sentido, o estudo recomendava a ocupação em solos do tipo D ou C e preservação, onde possível dos solos do tipo A e B (MCHARG; SUTTON; SPIRN, 1973).

Ainda, os espaços livres públicos, como praças e áreas de recreação e lazer que possuem maior potencial para manter grandes áreas vegetadas, também devem estar prioritariamente associados a áreas de importante função hidrológica, devendo ser planejados para que integrem sistemas de gestão da água e espaços livres multifuncionais com garantia de desempenho de funções ecossistêmicas, a partir da preservação das áreas sensíveis e utilização de técnicas de drenagem sustentável.

3.2. Relações entre a forma urbana e a infiltração de água no solo

Visando a encontrar na forma urbana relações entre as diretrizes de urbanização sensível à infiltração da água e os fatores relacionados à perda dessa infiltração, faz-se necessário explorar metodologias de leitura dessa forma. Nesse sentido, a análise concentrar-se-á em identificar na forma urbana elementos morfológicos relevantes à compreensão do potencial de infiltração natural da água da chuva, o que pode revelar possibilidades futuras e contribuir para conduzir decisões de gestão, projeto e planejamento.

Os elementos morfológicos são as unidades ou partes físicas que, associadas e estruturadas, constituem a forma urbana (LAMAS, 2004). Interessa para uma análise da forma urbana estabelecer quais os elementos e arranjos configuracionais que são identificáveis tanto na leitura da cidade já constituída como no processo de sua concepção. Esses elementos costumam perdurar pelo tempo e pelas formas urbanas, por isso uma importante chave de análise de vários fenômenos. Lamas (2004) identifica onze elementos configuracionais que compõem as cidades de modo geral: (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; (xi) e o mobiliário urbano. Panerai (2014) propõe uma

organização desses elementos do tecido urbano em três conjuntos: (i) a rede de vias e espaços públicos; (ii) os parcelamentos fundiários; e (iii) as edificações, a saber:

A rede de vias e os espaços públicos constituem-se na estrutura básica definidora do espaço urbano, contribuindo na distinção entre os espaços públicos e privados. Panerai (2014) define os elementos que compõem esse espaço, como ruas, avenidas, praças, passeios, pontes, rios e praias, que se organizam em rede, a fim de permitir a circulação na cidade. O traçado viário dá forma ao desenho das quadras, e o espaço público conforma-se em função do espaço negativo das quadras e construções, podendo ser concentrado ou diluído e apresentar-se em menor ou maior proporção em relação aos espaços de uso privado.

Os parcelamentos fundiários estruturam a massa edificada. Os parcelamentos são organizados a partir da rua, dado que as edificações podem estar no alinhamento dela ou recuadas, podem ser geminadas ou isoladas, altas ou baixas, tendo sempre a rua como referência. Os seja, há uma interdependência entre esses dois espaços. O terreno pode constituir-se por grandes ou pequenas glebas, variando de acordo com a forma das quadras e espaços públicos. A maneira como o volume edificado ocupa o lote também varia, com os logradouros formando o espaço negativo resultante dessa ocupação e, juntamente com os espaços públicos, configuram um sistema de espaços livres públicos e privados. Enquanto as edificações correspondem majoritariamente ao espaço privado vertical, a rede de vias, espaços públicos e parcelamentos tratam da ocupação do solo, público e privado.

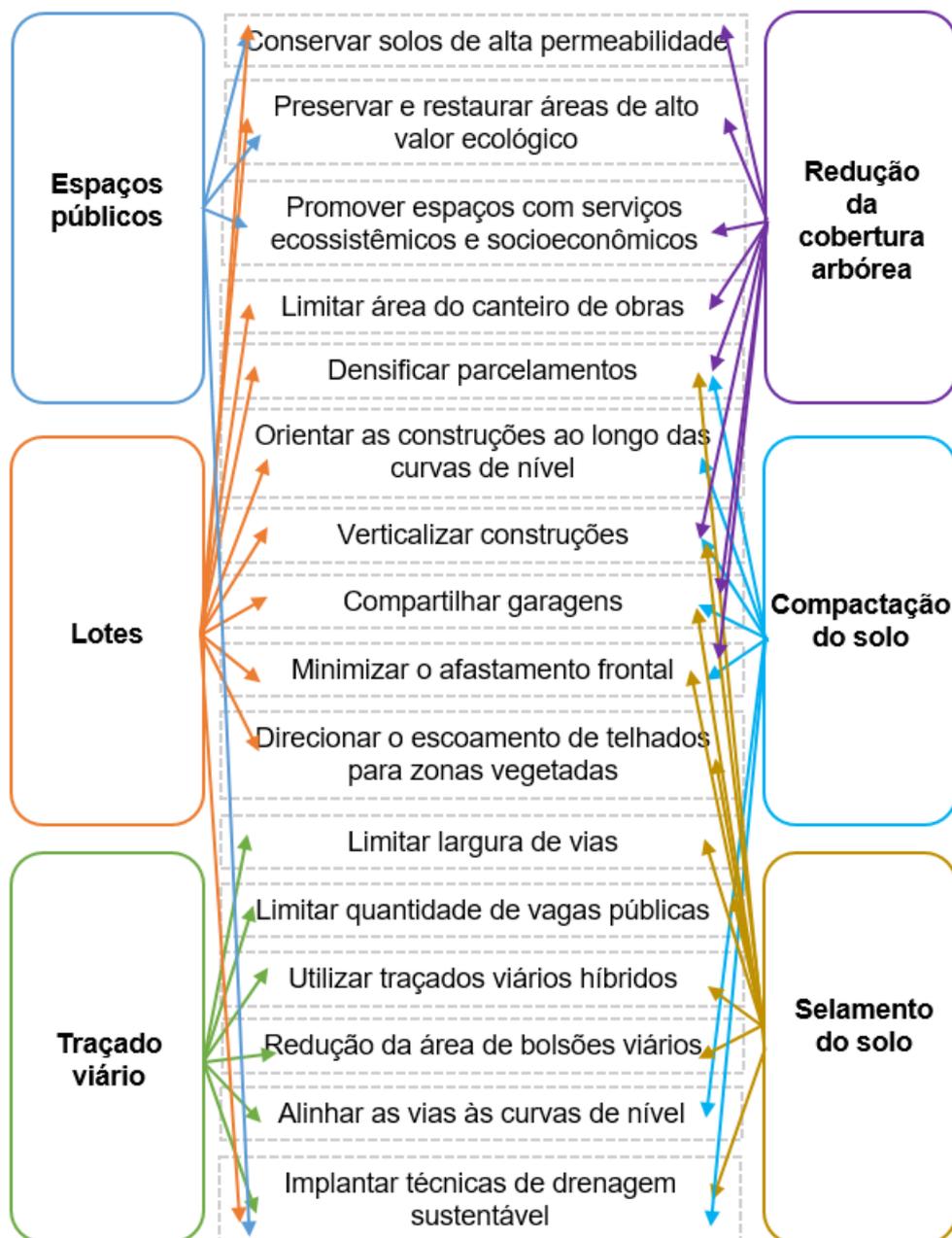
Entre esses conjuntos de elementos morfológicos, apenas os relacionados à ocupação do solo são relevantes para a análise do potencial de infiltração. Pela importância já debatida do traçado viário para o manejo da água urbana, optou-se por separá-lo dos demais espaços públicos; os conjuntos de elementos que serão analisados: (i) o traçado viário; (ii) os espaços públicos; (iii) e o lote. As estratégias de urbanização sensível à água revisadas permeiam-se entre cada um desses elementos, servindo muitas vezes a mais de um deles de uma só vez e também se conectam, como foi visto com os fatores relacionados à perda de infiltração natural da água, podendo mitigá-los.

A combinação desses três elementos configuracionais urbanos, identificados como relevantes para compreensão do fenômeno, pode resultar em uma multiplicidade de tipologias.⁴ Para estabelecer as características que serão utilizadas como critérios de identificação dessas tipologias, importa saber sua relação para com o entendimento do fenômeno estudado. Ou seja, é preciso ter a identificação de medidas de avaliação da organização desses elementos relacionadas às diretrizes estudadas (OLIVEIRA; MEDEIROS, 2015).

Observa-se, então, a importância de aferir em todos os elementos identificados três questões: a impermeabilização do solo, sua compactação e a retirada da vegetação arbórea. Das áreas impermeabilizadas, é importante separar: (i) construções, que possuem caráter permanente, dos pavimentos impermeáveis, que podem ser adaptados e reduzidos; (ii) a estrutura viária das demais superfícies impermeáveis, devido à sua preponderância e estratégias específicas de intervenção; e (iii) as áreas impermeáveis diretamente conectadas à rede de drenagem das indiretamente conectadas. Além disso, percebe-se uma associação clara entre áreas compactadas e áreas desmatadas, uma vez que, na fase de construção, normalmente, após o desmatamento, compacta-se o solo, por isso é importante para avaliar esses fatores identificar conjuntamente o tipo e quantidade de cobertura vegetal existente.

⁴ De acordo com Panerai (2014), tipologia urbana é o conjunto de determinados elementos reunidos por uma lógica de variação de características estabelecidas.

Figura 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: A Autora

Além desses fatores, é importante saber, também, individualmente sobre os lotes: (i) a replicabilidade vertical das construções; (ii) a orientação das edificações ao longo do contorno topográfico; (iii) o tipo de garagem; (iv) afastamentos; (v) tamanhos dos lotes; (vi) densidade da ocupação; e (vii) implantação de técnicas de drenagem sustentável. Para o traçado viário, importa saber especificamente: (i) o tipo do traçado; (ii) a quantidade de estacionamentos públicos; (iii) largura de vias de acesso e serviço; e (iv) implantação de técnicas de drenagem sustentável. E para as áreas de espaços públicos importa especificamente: (i) sua associação com áreas ambientais de alto valor hidrológico; e (ii) a implantação de técnicas de drenagem sustentável.

Esses critérios de avaliação indicados estão diretamente relacionados com parâmetros urbanísticos, que podem ser utilizados tanto para uma avaliação quantitativa de

tipologias identificadas quanto para o planejamento e projeto dessas áreas. A Tabela 5 apresenta os critérios de avaliação identificados para os elementos configuracionais urbanos e seus respectivos parâmetros urbanísticos.

Tabela 5 - Medidas de avaliação dos elementos configuracionais da forma urbana relevantes ao potencial de infiltração natural das águas da chuva.

Elementos configuracionais	Critérios de avaliação	Parâmetros urbanísticos
Sistema viário	(i) Área ocupada; (ii) Área diretamente conectada à rede de drenagem (iii) Tipos de traçado; (iv) Quantidade de estacionamentos; (v) Largura de vias de acesso e serviço (vi) Técnicas de drenagem sustentável	(i) % de área ocupada total (ii) % de área ocupada por estacionamentos (iii) Largura min. e máx. de vias de acesso e serviço (iv) Área ocupada por domicílio ou habitante
Áreas Públicas livres	(i) Disponibilidade de espaços livres públicos (ii) Associação dos espaços públicos a áreas ambientais de alto valor hidrológico (iii) Percentual de áreas impermeáveis (iv) Presença de vegetação arbórea (v) Técnicas de drenagem sustentável	(i) % de área ocupada total (ii) % de área impermeabilizada (iii) % de área arborizada
Lotes	(i) Tamanho médio dos terrenos (ii) Densidade de ocupação (iii) Orientação das construções ao longo do contorno topográfico (iv) Disponibilidade de espaços livres privados (v) Presença de vegetação arbórea (vi) Tipos de afastamento (vii) Tipos de garagem (viii) Técnicas de drenagem sustentável	(i) Tamanho min. e máx. Dos lotes (ii) Taxa de ocupação (iii) % de área impermeabilizada (iv) Afastamentos min. e máx. (v) Área impermeabilizada por domicílio (vi) % de área arborizada

Fonte: A Autora

4. RELAÇÕES ENTRE AS ÁREAS PROPÍCIAS À RECARGA DOS AQUÍFEROS E À URBANIZAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL

4.1. Conjuntura dos aquíferos do Distrito Federal

A falta de conformações naturais de retenção de águas superficiais e o clima composto de um período chuvoso e um período seco fazem com que os aquíferos do Distrito Federal tenham função estratégica para: (i) manutenção das vazões superficiais na época de seca; (ii) como reservatório natural de estocagem estratégica de água; e (iii) no abastecimento de núcleos rurais e urbanos, em especial, na época de seca.

O uso da água subterrânea para abastecimento doméstico urbano no DF ocorre, principalmente, em condomínios irregulares em Sobradinho, Planaltina, São Sebastião e Jardim Botânico. Nas áreas abastecidas pela Caesb de São Sebastião, Jardim Botânico, Incra-8, Sobradinho, Arapoanga, Itapoã, Papuda e Água Quente e 47 comunidades rurais com poços tubulares profundos, representando cerca de 6% do total de água distribuído pela Companhia. Além de chácaras e áreas residências do Lago Sul, Lago Norte e Park Way, que normalmente exploram água de aquíferos rasos. O uso de águas subterrâneas no setor industrial e de comércio e serviços também é comum em casos onde não se exige água tratada. Os setores que se destacam nesse uso são os postos de gasolina, lava-jatos, empresas de transporte, clubes, ramos industriais de bebidas, alimentos e cimento. Também, na agropecuária, o cultivo de hortifrúti, criação de animais e abatedouros costuma utilizar água subterrânea para irrigação por meio de poços pouco profundos.

A redução da quantidade de água subterrânea no DF já pode ser observada. Segundo Campos (2004), nos condomínios da região de Sobradinho, essa situação já pode ser observada desde os anos 2000, onde um poço com vazão de 10.000 l/h, em 1992, passou a uma vazão de cerca de 3.500 l/h, no Condomínio Alto Bela Vista. A crise hídrica pela qual o DF passou entre o final de 2016 e meio de 2018 também acometeu os reservatórios de água subterrânea e as áreas abastecidas pelos reservatórios, onde devido à diminuição de vazão e falhas na captação para a Caesb teve que fazer redução de pressão e rodízio de abastecimento em Brazlândia, Sobradinho I e II, Planaltina, Fercal e São Sebastião.⁵

A redução da quantidade de água nos aquíferos não pode ter sido causada por mudanças recentes no regime de chuvas, uma vez que o tempo de deslocamento da água nos reservatórios subterrâneos é bastante lento. Pesquisa de Lousada e Campos (2006) mostra que as águas mais rasas dos aquíferos freáticos apresentam idades, em média, mais velhas do que cinco anos, enquanto as águas mais profundas apresentam idades mais antigas do que 30 anos. Ou seja, os impactos percebidos, principalmente, nos poços profundos operados pela Caesb demonstram que há outros fatores envolvidos na situação de escassez hídrica no DF, que não apenas as mudanças climáticas.

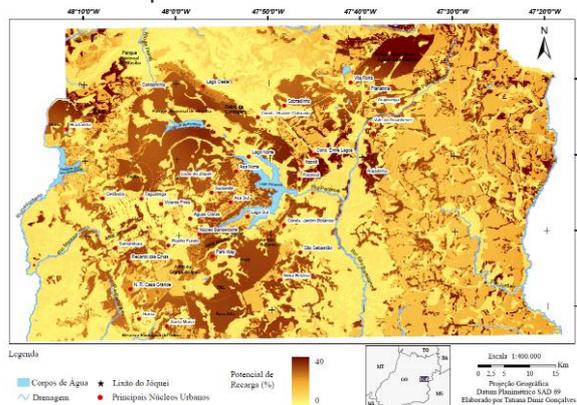
Esse contexto mostra que a redução de vazão dos aquíferos no Distrito Federal está relacionada também com mudanças no padrão de ocupação do solo e consumo de água, demonstrando a importância da gestão do ciclo da água, em especial a função de recarga dos aquíferos, integrada à política de planejamento territorial na região.

⁵ Resolução nº 21 da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa), de 08 de setembro de 2018.

Segundo Oliveira *et al.* (2015) e Santos & Koide (2016), ainda é pequena a atenção dada a estudos desenvolvidos na região para a quantificação de taxas de recarga e caracterização espacial do processo, porque ainda não existem valores precisos de taxas de recarga associadas aos diferentes tipos de solo e cobertura nem conhecimento adequado acerca de sua variabilidade espacial. Entretanto alguns estudos que procuraram estimar taxas de infiltração em áreas de cerrado *stricto sensu* relatam taxas que variam entre 20% a 60% da altura precipitada a depender do tipo de solo (SANTOS; KOIDE, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2015), demonstrando a importância da vegetação desse bioma para a infiltração. Também, sabe-se que a condutividade hidráulica do solo é o fator mais importante na regulação da recarga em áreas de cerrado (SANTOS; KOIDE, 2016) e que, na região, o domínio dos aquíferos rasos é recarregado principalmente por meio da precipitação (CAMPOS, 2004) e o domínio dos aquíferos profundos é recarregado principalmente a partir dos aquíferos rasos (LOUSADA & CAMPOS, 2005).

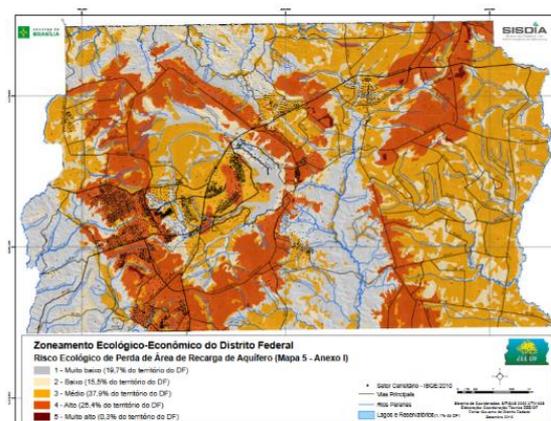
Existem dois mapas que procuram estimar a distribuição espacial da recarga dos aquíferos no DF desenvolvidos no âmbito do governo. Um deles foi desenvolvido por Gonçalves (2007) e é utilizado pela Agência Reguladora de Águas do Distrito Federal (Adasa). Esse mapa cruzou dados de: (i) tipos de cobertura do solo; (ii) tipos solos de acordo com suas propriedades hidrológicas; (iii) pluviometria média; (iv) e declividade. Os parâmetros do mapa foram agregados, e o resultado desse cruzamento foi traduzido em uma porcentagem potencial de infiltração da água da chuva (ver Figura 2). No entanto, de acordo com Mello e Castro (2011), os valores de taxa de infiltração do referido mapa são ainda apenas uma aproximação sujeita a muita incerteza. O outro mapa de recarga foi desenvolvido no âmbito do ZEE/DF para compor um de seus quatro mapas de riscos ecológicos. Esse mapa mensura o nível do risco de redução da recarga e produção hídrica dos aquíferos a partir do cruzamento de: (i) condutividades hidráulicas do domínio dos aquíferos porosos; (ii) compartimentações geomorfológicas; e (iii) níveis de vazão do domínio dos aquíferos profundos fraturados e físsuro-cársticos, geralmente utilizados para o abastecimento (GDF, 2017). Para o cruzamento desses fatores, foram atribuídos valores para cada uma das variáveis que representam de forma crescente o risco de redução da recarga e produção hídrica. Esses valores foram agregados, utilizando média ponderada que, devido à importância da condutividade hidráulica para o fenômeno medido, teve peso duplo (ver Figura 3).

Figura 2 - Mapa do potencial de recarga dos aquíferos do DF



Fonte: Gonçalves, 2007

Figura 3 - Mapa de risco ecológico de perda de recarga de aquífero - ZEE/DF



Fonte: GDF, 2017

Esses mapas possuem relevância na caracterização da recarga no Distrito Federal, entretanto não se adequam diretamente à análise da presente pesquisa, dado que o objetivo é verificar as zonas de maior potencial à recarga natural dos aquíferos, com base somente nas características do meio físico revisadas no Capítulo 2, identificando como a base natural do território favorece ou dificulta esse processo, sem atribuir valores fixos ao potencial de

recarga de diferentes coberturas do solo como no mapa da Adasa ou avaliar também a questão da produção hídrica como no mapa do Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal (ZEE/DF).

4.2. Fatores físicos condicionantes do processo de recarga e ocupação urbana no Distrito Federal

À vista dessas questões, a pesquisa visa a espacializar o potencial de recarga a partir do cruzamento das características do meio físico que condicionam o processo de recarga e de urbanização e que podem ser analisadas principalmente por meio do estudo de dados da geomorfologia, pedologia e clima, como revisado no Capítulo 2.

Em relação à geomorfologia, em 2011, o relatório do meio físico e biótico elaborado pelo ZEE/DF (GDF; GREENTEC, 2011) integrou e adaptou abordagens de Novaes Pinto (1994) e Martins & Baptista (1998) definindo cinco compartimentos para o DF, a saber: Planos Elevados, Planos Intermediários, Vales Dissecados, Rebordos e Rampas Íngremes. Essa proposta considera o padrão de relevo, a declividade, o grau de dissecção e a densidade de drenagem. Os planos elevados e intermediários representam os melhores sítios para recarga dos aquíferos e ocupação urbana, uma vez que esses são os altos regionais, com altitudes superiores a 1.100 metros e entre 950 e 1.050 metros, respectivamente, e possuem as menores declividades, inferiores a 12%, e solos mais profundos, permeáveis e bem estruturados. As áreas de rebordo possuem declividade que varia entre 10 e 20% e presença de solos de média permeabilidade que são menos adequados para recarga e para ocupação urbana, sendo necessária atenção para com a implantação de infraestrutura adequada para conservação dos solos nessas áreas. Os vales dissecados são menos efetivos em termos da contribuição para a recarga, pelas altas declividades superiores a 20% e por serem o baixo regional, com altas densidades de drenagem, o que também limita a ocupação urbana. Já as rampas íngremes possuem declividades acentuadas, acima de 25% e presença de solos rasos e pouco permeáveis, contribuindo pouco ou nada para a recarga e possuindo sérias restrições à ocupação urbana devido à alta suscetibilidade à ruptura e erosão.

Quanto à pedologia, no Distrito Federal, são três as classes de solos mais representativas em termos de distribuição espacial: Latossolos Vermelhos e Vermelhos-Amarelos (54% da área do Distrito Federal) e Cambissolos Háplicos (31%). Há ainda outras classes de ocorrência mais restrita, porém de importância significativa que merecem destaque: Gleissolos, Nitossolos, Plintossolos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos e Chernossolos (GDF; GREENTEC, 2011; LOUSADA; CAMPOS, 2005; SOUZA, 2013). Os Latossolos Vermelhos e Vermelhos-Amarelos permitem qualquer tipo de uso urbano, com edificações de diferentes portes, subsolo, instalação de sistemas de saneamento *in situ* e possuem, de forma geral, os maiores valores de condutividade hidráulica vertical e apresentando as melhores condições para recarga natural e artificial. São muito importantes para a produção hídrica na região e para ocupação urbana. Enquanto as áreas que são recobertas por Cambissolos Háplicos, de modo geral, possuem as piores condições para recarga, mas podem ser ocupadas nas áreas de menor declividade. Nesse caso, deve-se ter atenção à preservação do solo devido a sua suscetibilidade à erosão e evitar a instalação de sistemas de saneamento *in situ* e subsolos. Nos outros 15% do território, os Neossolos Quartzarênicos, Nitossolos e Argissolos apresentam algumas limitações à ocupação urbana; dos quais, apenas o Neossolo Quartzarênico possui alta condutividade hidráulica, contribuindo para recarga. Já os Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos devem ser vinculados exclusivamente à preservação ambiental devido à sua sensibilidade a inundações, presença de matéria orgânica e alta plasticidade. Os Plintossolos não contribuem para recarga, mas são adequados para ocupação urbana por causa da sua alta resistência e estabilidade.

Quanto ao clima, de acordo com a classificação Köppen, o Distrito Federal tem clima tropical úmido com inverno seco. A carta bioclimática do DF, da ABNT NBR 15220-3, mostra que, durante a maior parte do ano, o território está dentro de zonas de conforto onde não são necessárias estratégias de condicionamento térmico, não sendo um limitante à ocupação urbana na região. Ainda, sobre as características da precipitação na região, a média pluviométrica anual do Distrito Federal varia entre 1.200 e 1.500 milímetros. Entretanto as chuvas não são bem distribuídas durante o ano; o mês de janeiro apresenta o maior índice pluviométrico médio (248 mm/mês), enquanto os meses de junho, julho e agosto registram os menores índices (11 mm/mês). Ainda, durante o período seco, a insolação é maior do que no período chuvoso devido à escassez de nebulosidade, o que acarreta uma maior evaporação da água (GDF & Greentec, 2011). O resultado é um déficit de água no solo entre os meses de maio e outubro e um superávit entre novembro e abril. Significa que, no início do período chuvoso, o solo está com a umidade abaixo de sua capacidade de campo, de forma que os primeiros dias de chuvas contribuem apenas para recuperar sua umidade. No entanto, durante todo o período chuvoso, a taxa de infiltração nos solos pode ser reduzida devido à alta concentração de chuvas, que pode levar à saturação do solo. Em relação à distribuição das chuvas no território, estudo de Gonçalves (2007) demonstra que as chuvas são bem distribuídas; na maior parte do território, há uma média pluviométrica anual de um mínimo de 1.100 milímetros.

Utilizando como base essa caracterização da geomorfologia, pedologia e clima, foi possível espacializar as áreas propícias à recarga de aquíferos e à urbanização no território do DF, utilizando a metodologia desenvolvida por Crepani *et al.* (2001) descrita na introdução. A distribuição do clima e pluviométrica não foram levadas em consideração haja vista sua distribuição ser razoavelmente equânime pelo território.

(i) Áreas propícias à recarga de aquíferos

Para os cinco compartimentos geomorfológicos do DF, foram atribuídos valores de acordo com o potencial de recarga de aquíferos com base na altitude relativa e declividade, tendo em vista influência dessas características na taxa máxima de entrada da água no solo e no fluxo vertical e lateral das águas subterrâneas. Os valores variam de um a cinco; o um representa o menor, e cinco, o maior potencial para a recarga.

Tabela 6 - Valoração, quanto ao potencial de recarga, das compartimentações geomorfológicas do Distrito Federal de acordo com variação de declividade e altitude relativa

Compartimentações Geomorfológicas	Principais características	Potencial de Recarga	Valor
Rampas Íngremes	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo forte ondulado a escarpado • Declividades superiores a 25% 	Muito baixo	1
Vales Dissecados	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo ondulado a forte ondulado • Declividades superiores a 20% • Baixo regional, cotas altimétricas inferiores a 800 m 	Baixo	2
Rebordos	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo ondulado • Declividades entre 10% e 20% 	Moderado	3
Planos Intermediários	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo plano a suave ondulado • Declividades inferiores a 12% • Alto regional, cotas altimétricas entre 950 e 1.050 m 	Alto	4
Planos Elevados	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo plano a suave ondulado • Declividades inferiores a 10% • Alto regional, cotas altimétricas superiores a 1.100 m 	Muito alto	5

Fonte: A Autora

Para os tipos de solos, foram atribuídos valores representativos do potencial de recarga com base em suas características hidrológicas, principalmente a condutividade hidráulica e espessura, tendo em vista a influência desses fatores na infiltração e na capacidade de armazenamento. Os valores atribuídos também variam de um a cinco; o um representa o menor potencial, e cinco, o maior.

Tabela 7 - Valoração, quanto ao potencial de recarga dos tipos de solo do Distrito Federal, de acordo com variação condutividade hidráulica e espessura

Tipos de solos	Principais características	Potencial de Recarga	Valor
Neossolos Quartzarênicos	<ul style="list-style-type: none"> Solos muito profundos (> 200 cm) Condutividade hidráulica comumente entre comumente próxima de $2,8 \times 10^{-4}$ 	Muito alto	5
Latossolos Vermelhos e Vermelhos-Amarelos	<ul style="list-style-type: none"> Solos muito profundos (>200 cm) Condutividade hidráulica comumente entre $1,7 \times 10^{-5}$ a 10^{-6}. 	Alto	4
Argissolos vermelhos e Nitossolos vermelhos	<ul style="list-style-type: none"> Solos profundos (entre 100 e 200 cm) Condutividade hidráulica entre 10^{-5} e 10^{-6} m/s 	Moderado	3
Plintossolos Pétricos, Gleissolo Háptico e Neossolo Flúvico	<ul style="list-style-type: none"> Solos pouco profundos (entre 50 e 100 cm) Condutividade hidráulica comumente entre $2,3 \times 10^{-6}$ a $1,4 \times 10^{-7}$ 	Baixo	2
Cambissolo Háptico e Neossolo Litólico	<ul style="list-style-type: none"> Solos profundos a rasos (entre 0 e 200 cm) Condutividade hidráulica comumente entre 10^{-7} e 10^{-8} m/s 	Muito Baixo	1

Fonte: A Autora

De posse desses valores, que variam de um a cinco, atribuídos às duas variáveis, tipos de solos (Sr) e compartimentações geomorfológicas (Gr), o mapa de potencial de recarga dos aquíferos da pesquisa foi construído a partir do cruzamento dessas variáveis, por meio de uma média ponderada que tem o peso dois atribuído aos tipos de solo (Sr) e deve-se à importância desse domínio para o processo de recarga conforme reconhecido na literatura (LOUSADA; CAMPOS, 2005; SANTOS; KOIDE, 2016), utilizando a seguinte equação:

$$Pr = \frac{2Sr + Gr}{3} \quad (1)$$

Onde:

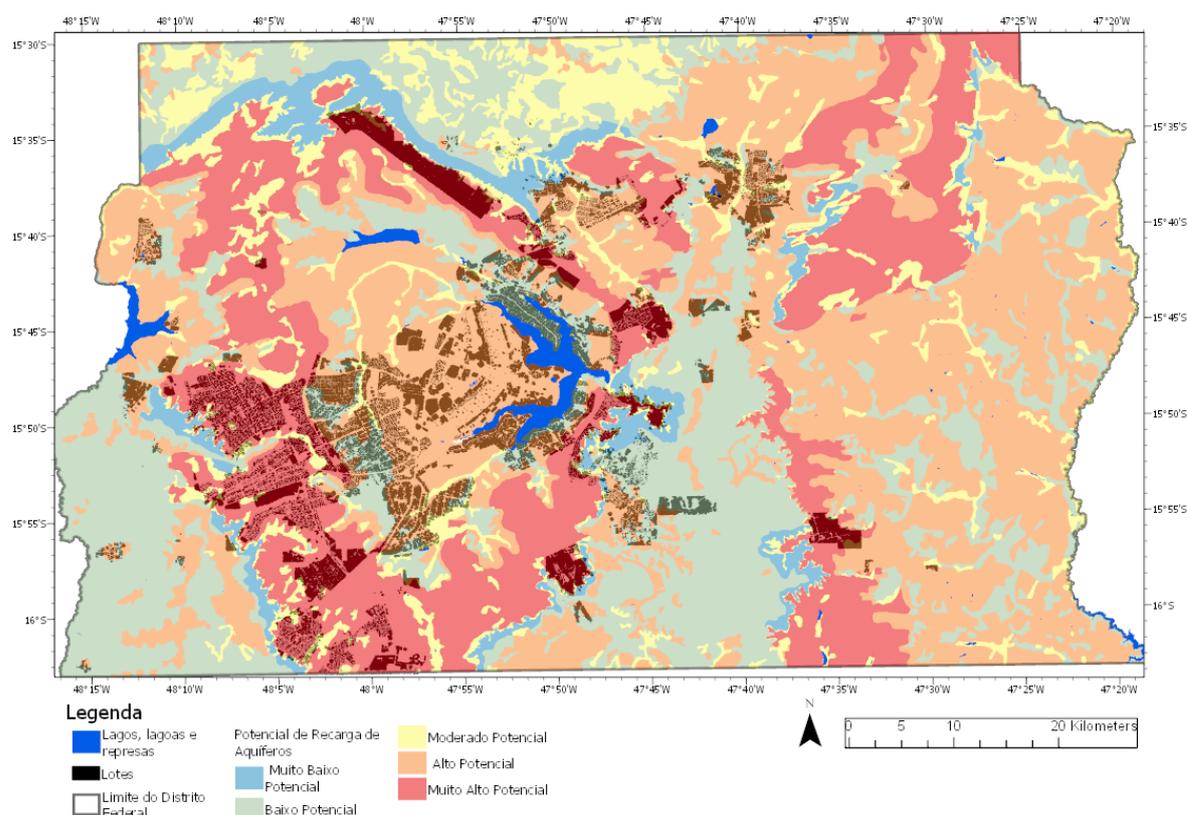
Pr = Potencial de recarga dos aquíferos;

Sr = Valores de potencial de recarga atribuídos aos tipos dos solos;

Gr = Valores de potencial de recarga atribuídos às compartimentações geomorfológicas.

De acordo com os resultados, o território divide-se em cinco regiões quanto ao seu potencial de recarga dos aquíferos: (i) muito baixo (4,03% do território); (ii) baixo (23,92% do território); (iii) moderado (10,60% do território); (iv) alto (37,44% do território); (v) muito alto (22,02% do território). Nas áreas onde efetivamente ocorre a recarga, é mais importante manter as características naturais do solo e coberturas do solo que permitam e/ou auxiliem a entrada de água; são as regiões de alto e muito alto potencial, que juntas correspondem a **59,45% do território**.

Figura 4 - Mapa de potenciais de recarga do Distrito Federal



Fonte: A Autora, com dados de ZEE/DF e Siturb

(ii) Áreas propícias à ocupação urbana

Para os compartimentos geomorfológicos foi atribuída uma variável representativa do potencial de urbanização com base na declividade, tendo em vista o impacto desse fator na possibilidade de mecanização e na possibilidade de ruptura e erosão do solo. As variáveis atribuídas variaram de um a quatro; um (1) representa o menor potencial, e quatro (4), o maior.

Tabela 8 - Classificação, quanto ao potencial de urbanização das compartimentações geomorfológicas do Distrito Federal de acordo com variação de declividade

Compartimentações Geomorfológicas	Principais características	Potencial de urbanização	Valor
Rampas Íngremes	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo forte ondulado a escarpado • Declividades superiores a 25% 	Baixo	1
Vales Dissecados	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo ondulado a forte ondulado • Declividades superiores a 20% 	Moderado	2
Rebordos	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo ondulado • Declividades entre 10% e 20% 	Alto	3
Planos Intermediários e Planos Elevados	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo plano a suave ondulado • Declividades inferiores a 12% 	Muito alto	4

Fonte: A Autora

Para os tipos de solos também foi atribuída uma variável representativa do potencial de urbanização com base em sua resistência a cargas, permeabilidade e coesão. As variáveis atribuídas também variam de um a quatro; um (1) representa o menor potencial, e quatro (4), o maior.

Tabela 9 - Classificação quanto ao potencial de urbanização dos tipos de solo do Distrito Federal de acordo com variação resistência a cargas, coesão e permeabilidade

Compartimentações Geomorfológicas	Principais características	Potencial de urbanização	Valor
Latossolos Vermelhos e Vermelhos- Amarelos	Solos porosos, bastante permeáveis, pouco plásticos, boa resistência a cargas e processos erosivos	Muito alto	4
Plintossolo Pétrico	Solos pouco permeáveis, muito resistentes a cargas e processos erosivos	Alto	3
Cambissolo Háplico, Nitossolo, Argissolo, Neossolos Quartzarênicos	Solos pouco a muito permeáveis, pouco resistentes e suscetíveis à erosão	Moderado	2
Gleissolo Háplico e Neossolo Flúvico	Solos pouco permeáveis, frequentemente encharcados, muito argilosos, muito plásticos e muito pouco resistentes	Baixo	1

Fonte: A Autora

De posse dos valores de um a quatro atribuídos às duas variáveis (1) tipos de solos; e (2) compartimentações geomorfológicas, obteve-se uma média aritmética, em ambiente de sistema de informações geográficas, do nível de potencial de urbanização, utilizando a seguinte equação:

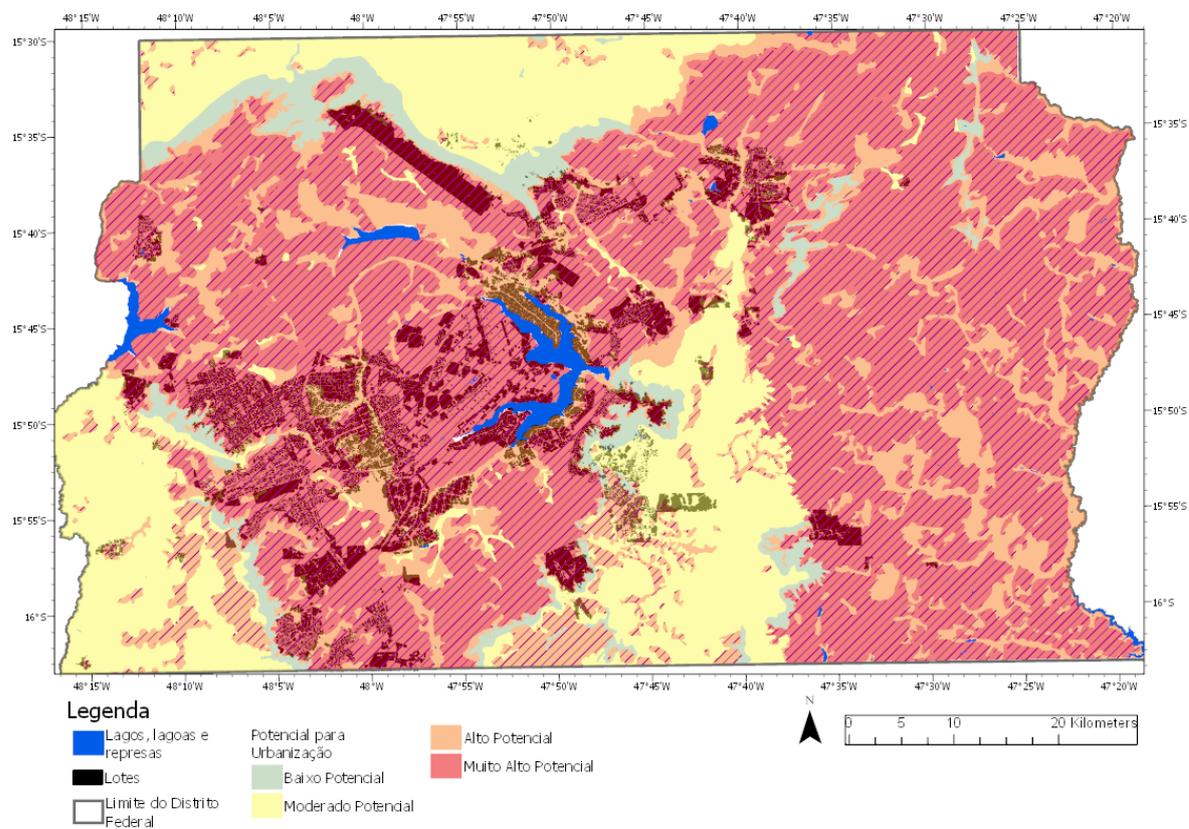
$$Pu = \frac{Su+Gu}{2} \quad (2)$$

Onde:

- Pu = Potencial de urbanização;
- Su = Valores de potencial de urbanização atribuídos aos tipos dos solos;
- Gu = Valores de potencial de urbanização atribuídos às compartimentações geomorfológicas.

De acordo com os resultados, o território divide-se em quatro regiões quanto ao seu potencial de urbanização: (i) baixo (4,46% do território); (ii) moderado (19,75% do território); (iii) alto (20,00% do território); (iv) muito alto (55,79% do território). Os dados confirmam a semelhança entre as áreas propícias à recarga e à urbanização, uma vez que as áreas de muito alto potencial para a urbanização estão completamente sobrepostas às áreas de alto e muito alto potencial de recarga e ainda se estendem sobre parte das áreas de alto potencial à urbanização. Por isso, fica evidente a importância de considerar a variável da recarga no planejamento urbano, principalmente quanto à escolha das áreas de expansão e formas de ocupação.

Figura 5 - Mapa de potenciais de urbanização do Distrito Federal. Própria autoria, com dados de ZEE/DF e Siturb



Fonte: A Autora, com dados de ZEE/DF e Siturb

5. ALTERAÇÕES NA COBERTURA DO SOLO SOBRE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO POTENCIAL DE RECARGA DE AQUÍFEROS NO DISTRITO FEDERAL

As áreas de recarga de aquíferos do DF vêm experimentando intensas transformações de cobertura, devido a um rápido processo de expansão urbana e de consolidação de áreas agropecuárias. Para compreender melhor a expansão e atual situação desse processo de alteração das coberturas do solo no DF, é analisada neste capítulo, por meio de uma revisão temporal de imagens do território, a mudança de três categorias de cobertura do solo: (i) áreas urbanizadas; (ii) cobertura vegetal nativa e reflorestada; e (iii) outras áreas, como as com ocupações agropecuárias.

A importância de verificar a expansão de áreas urbanizadas sobre as áreas de recarga já foi explorada na revisão teórica da pesquisa, devendo-se ao fato de que nessas áreas ocorrem amplamente fatores relacionados com a perda de recarga. Quanto às áreas de vegetação nativa, o DF está inserido integralmente no domínio do bioma Cerrado, considerado muito importante para o equilíbrio da produção de água no território em escala local e nacional (LIMA, 2011). A exemplo, um estudo feito por Oliveira *et al.* (2015) demonstra que as taxas de infiltração em áreas de cerrado (formação savânica), com 50 a 70% da área coberta por indivíduos arbóreos de cinco a oito metros de altura, podem chegar à taxa de infiltração de 79% da chuva. Ainda, as áreas reflorestadas são áreas onde mesmo que o solo já tenha sido perturbado, é esperado que os indivíduos arbóreos auxiliem no processo de recuperação de sua permeabilidade, aumentando a infiltração natural. Além dessas áreas, outros usos não urbanos, como agropecuárias, mineração e chácaras de recreio, foram considerados para que fosse possível verificar a alteração na cobertura do solo no território como um todo. Uma vez que os impactos específicos desses usos sobre a perda de recarga não foram revisados, essas áreas foram todas agrupadas.

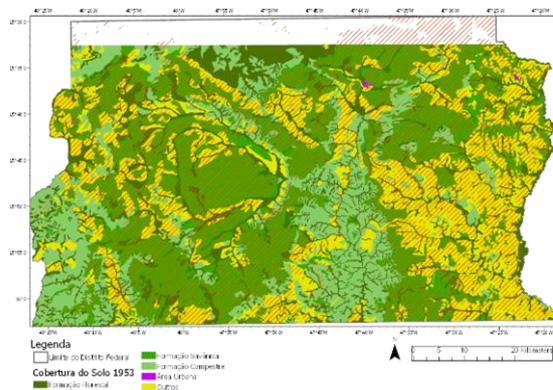
Para realizar a análise, foram utilizados dados do Siturb (áreas urbanizadas dos anos 1964, 1975, 1986, 1991, 1997, 2004, 2009 e 2015); da Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan) (Cobertura vegetal nativa e reflorestada dos anos 1984, 1986, 1991, 1997, 2004, 2009, 2015 e 2016); da Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (Unesco) (Cobertura vegetal e urbana de 1953); e dados desenvolvidos pela autora (área urbanizada em 2016). O mapeamento das coberturas do solo no ano de 1953 foi feito com base na imagem do sobrevoo feito pela *United States Air Force (USAF)*, onde a cobertura do solo foi classificada em: (i) mata, (ii) cerrado, (iii) campo, (iv) áreas urbanas e (v) área agrícola (VERÍSSIMO, 2002).

Já as informações relativas à cobertura vegetal nativa e reflorestada dos demais anos foram extraídas das imagens dos satélites *Landsat 8* e *Landsat 5*, que possuem sensores infravermelhos OLI e *Thematic Mapper (TM)*, nas quais a cobertura foi classificada a partir dessas bandas em: (i) formação florestal, (ii) formação savânica, (iii) formação campestre, (iv) reflorestamento; (v) área construída e (vi) área agropastoril (NEVES *et al.*, 2016). A cobertura urbana dos anos de 1964, 1975, 1986, 1991, 1997, 2004, 2009 e 2015 foi retirada do shape do Siturb “histórico das ocupações urbanas”, que foi construído manualmente com base em imagens de aerolevanteamento, das quais foram levantadas áreas urbanas formais e informais, contemplando: lotes, vias, áreas comuns, áreas livres e áreas verdes, procurando utilizar o eixo das pistas que circundam esses elementos como delimitação. O shape da área urbana de 2016 foi construído pela autora a partir de uma

revisão do levantamento de 2015 da Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (Segeth) com base em aerolevanteamento de 2016; e exclui da mancha urbana anterior unidades de conservação de proteção integral, áreas de preservação permanente desocupadas, lagos, lagoas e represas. Esses dados vetorizados e georreferenciados foram cruzados com o mapa de potencial de recarga de aquíferos construídos no capítulo anterior, para montar cenários temporais de alteração dessas coberturas, por meio do software ArcGIS, para os anos de: 1953, 1975, 1986, 1991, 1997, 2009 e 2016.

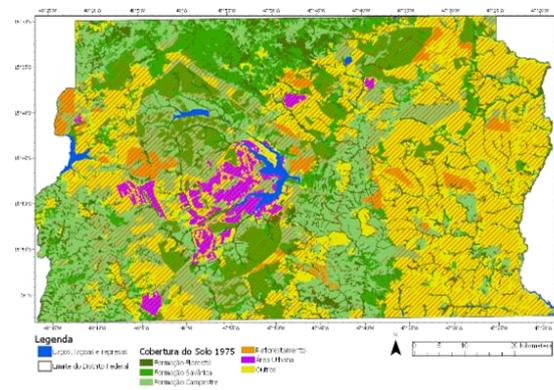
A partir do cruzamento desses dados, percebe-se que em 1953 apenas 259 ha do território estavam urbanizados, crescendo 230 vezes até 2016, chegando a 59.733,86 ha. Da área urbanizada em 2016: 0,36% estava sobre áreas de muito baixo potencial de recarga; 14,12% estavam sobre áreas de baixo potencial de recarga; 4,25%, sobre áreas de moderado potencial de recarga; 49,36%, sobre áreas de alto potencial de recarga; e 31,88%, sobre áreas de muito alto potencial de recarga; somando um total de **81,24% das áreas urbanizadas sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga.**

Figura 6.1 - Mapa da cobertura do solo do DF em 1953



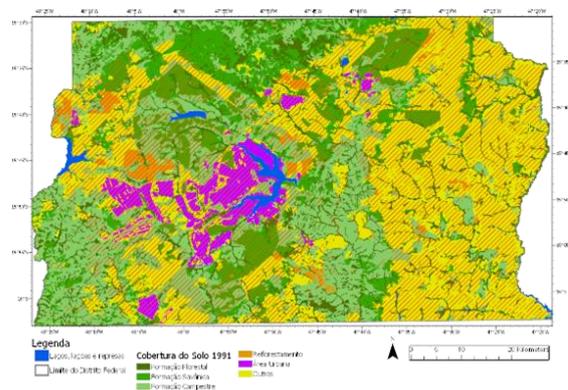
Fonte: A Autora, com dados de VERÍSSIMO, 2002

Figura 6.2 - Mapa de Cobertura do solo em 1975



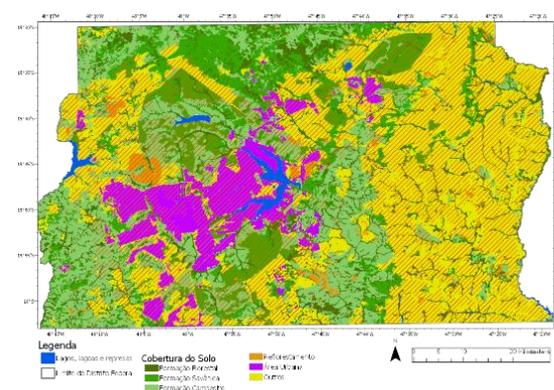
Fonte: A Autora, com dados do Siturb e NEVES *et al.*, 2016

Figura 6.3 - Mapa de Cobertura do solo em 1991



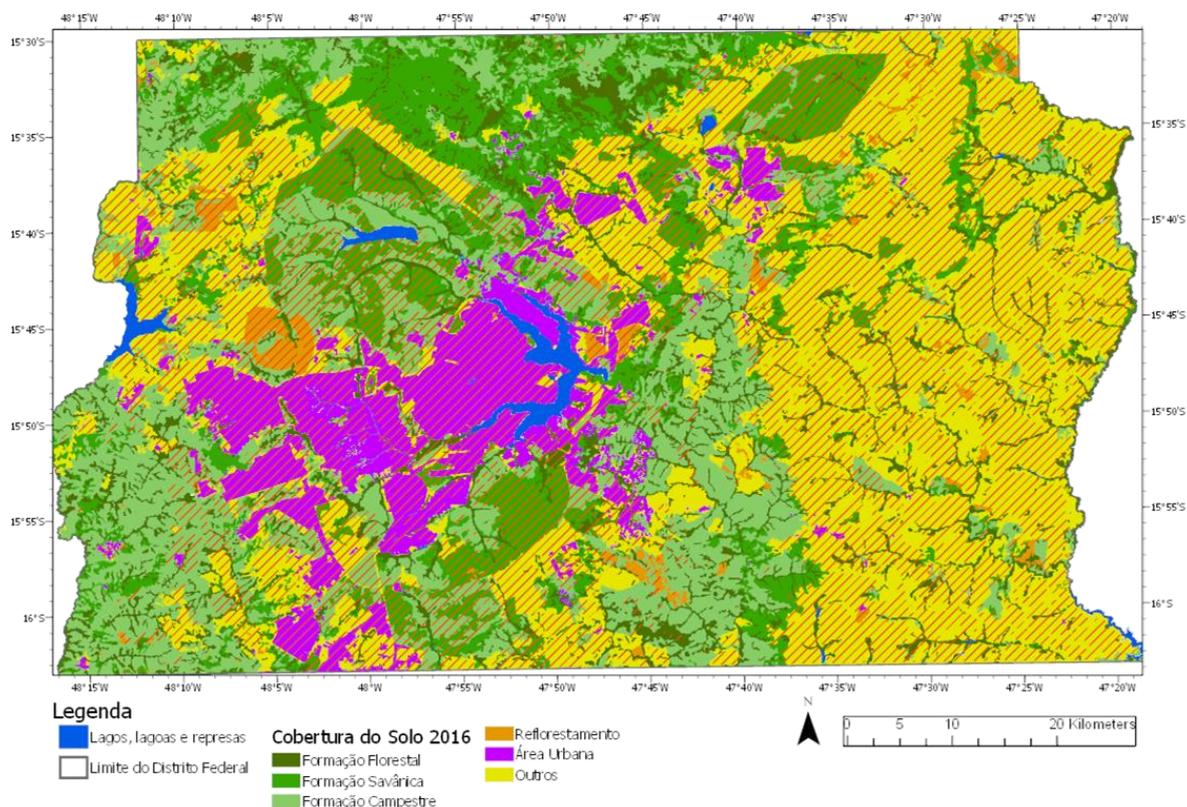
Fonte: A Autora, com dados do Siturb e NEVES *et al.*, 2016

Figura 6.4 - Mapa de Cobertura do solo em 2009



Fonte: A Autora, com dados do Siturb e NEVES *et al.*, 2016

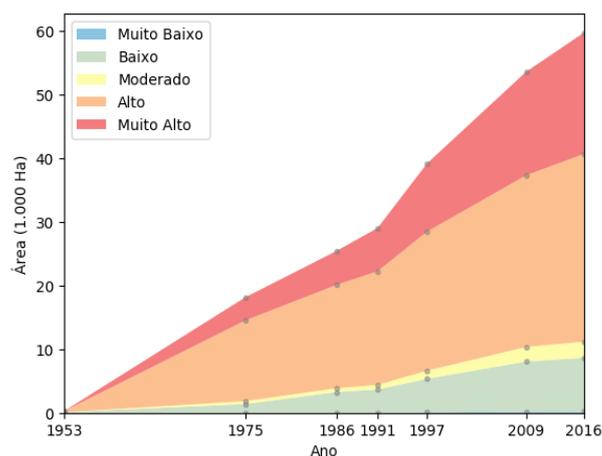
Figura 6.5 - Mapa de Cobertura do solo do DF em 2016. Própria autoria, com dados de NEVES *et al.*, 2016



Fonte: A Autora, com dados de NEVES *et al.*, 2016.

Quantos às áreas com cobertura vegetal nativa ou reflorestada, entre os anos de 1953 e 2016, percebe-se que 114.326,68 hectares de vegetação nativa foram desmatados, entre os quais, 58.222,59 hectares foram sobre áreas de muito alto potencial de recarga e 44.504,41, sobre áreas de alto potencial de recarga. **Ou seja, 90% de toda a cobertura vegetal nativa retirada do território, entre 1953 e 2016, foi sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga.** Das áreas de vegetação nativa e reflorestada remanescentes em 2016: 7,33% estavam sobre áreas de muito baixo potencial de recarga; 37,64% estavam sobre áreas de baixo potencial; 14,70%, sobre áreas de moderado potencial; 24,51%, sobre áreas de alto potencial; e 15,71%, sobre áreas de muito alto potencial; somando um total de 40,28% das áreas de vegetação nativa e reflorestada ainda sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga.

Figura 7 - Crescimento das áreas urbanizadas em cada potencial de recarga dos aquíferos

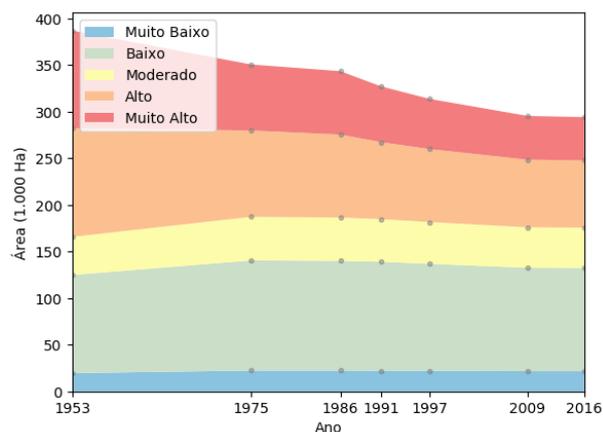


Fonte: A Autora

Entre 1953 e 2016, o período de análise do estudo, a cobertura do solo do Distrito Federal passou para uma composição de 73,18% de cobertura vegetal nativa ou reflorestada, 0,04%, de cobertura urbana e 26,77%, de outras coberturas; para 51,34% de cobertura vegetal nativa ou reflorestada, 10,43%, de cobertura urbana e 38,23%, de outras coberturas. Nesses 63 anos, 44,95% da área desmatada passou a ter uso urbano, enquanto

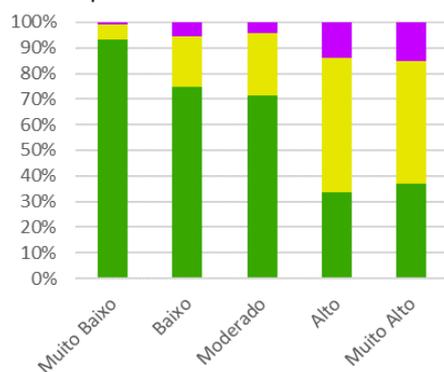
66,05%, outros usos. Em vista dessas alterações de cobertura do solo, em 2016, apenas **34,78% das áreas de alto e muito alto potencial de recarga dos aquíferos não haviam tido suas coberturas alteradas**, ou seja, ainda estavam com cobertura vegetal nativa ou reflorestada. Do total de áreas de alto e muito alto potencial alteradas, as áreas urbanas representam 14,25% e “outras” áreas 50,97%. Entretanto, nesse período, o crescimento anual médio geométrico das “outras” coberturas foi de 0,67%; teve um crescimento negativo entre 2009 e 2016, enquanto o da cobertura urbana foi de 9,01%.

Figura 8 - Redução das áreas de cobertura vegetal nativa e reflorestada em cada potencial de recarga dos aquíferos



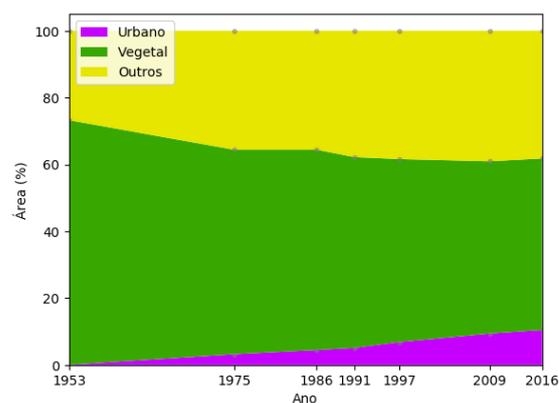
Fonte: A Autora

Figura 9 - Coberturas do solo das áreas de diferentes potenciais de recarga dos aquíferos em 2016



Fonte: A Autora

Figura 10 - Mudança temporal na composição da cobertura do solo no Distrito Federal



Fonte: A Autora

Isso demonstra que embora a maior parte das áreas de alto e muito alto potencial de recarga esteja ocupada atualmente por “outras” coberturas, as áreas urbanizadas exercem grande pressão sobre as áreas de recarga remanescentes, uma vez que essa cobertura continua aumentando. Tendo isso em vista, para uma análise mais detalhada do processo de urbanização no território, foram cruzadas, por meio do software ArcGIS, as informações dos zoneamentos dos planos de ordenamento territorial do DF (PEOT/77, POUISO/86, PDOT/92, PDOT/97 e PDOT/09-12), com o mapa de potenciais de recarga de forma a verificar a relação da ocupação dessas áreas com o processo de planejamento.

Nesse processo de revisão da história do processo de ocupação urbana do território do DF, foi dividida em quatro momentos relacionados com a decisão de ocupação dos quadrantes do território. Um primeiro momento foi marcado por planos e estudos que com base no levantamento de condicionantes do meio físico, como clima e salubridade; facilidade de abastecimento de água e energia elétrica; facilidade de acesso às vias de transportes terrestres e aéreas; topografia adequada; solo favorável às edificações; proximidade de terras para agricultura; e paisagem atraente definiram a região da Bacia do Paranoá como ponto de ocupação inicial do território, sendo ressaltada ao mesmo tempo a importância da preservação de sua cobertura vegetal devido a questões de disponibilidade hídrica. Os primeiros estudos dessa fase foram o Relatório Cruis, de 1895, e Relatório Belcher, de 1955, que apontaram o sítio na Bacia do Lago Paranoá, que se encontra no domínio

geomorfológico do Plano Intermediário, com predominância de Latossolos, declividades inferiores a 12% e cotas altimétricas entre 950 e 1.050 metros, em uma área de alto potencial à recarga e muito alto potencial à urbanização, como mais adequado para ocupação.

À época, engenheiro designado para avaliar o Relatório Belcher, quanto ao esquema de água e esgoto, ponderou que o problema do abastecimento de água não foi convicentemente estudado, desconsiderando problemas pertinentes ao abastecimento com águas subterrâneas, onde foi preciso conhecer as condições de recarga e a determinação de permeabilidade dos terrenos. Foi necessária efetivação de estudos, objetivos dessas características para um juízo satisfatório sobre a capacidade de abastecimento d'água, a fim de que a capital não viesse a se encontrar em condições futuras de penúria d'água (COMISSÃO DE COOPERAÇÃO PARA MUDANÇA DA CAPITAL, 1955, p. 108). Esses estudos não foram feitos à época.

A primeira área oficialmente ocupada decorre do plano urbanístico ganhador do "Concurso Nacional do Plano Piloto da Nova Capital do Brasil", de autoria de Lúcio Costa, que começou a ser implantado em 1957. O plano previa que outras cidades autônomas deveriam ser implantadas fora dos limites da Bacia do Paranoá, norteadas pelo entendimento de que havia escassez dos recursos hídricos no território, o que era fundamental proteger a área para prevenir futuros problemas (MANCINI, 2008; GDF, 2008). Na década de 1970, o Plano Diretor de Águas, Esgotos e Controle da Poluição (PLANIDRO) mantém a recomendação para a não ocupação dos espaços livres remanescentes na Bacia.

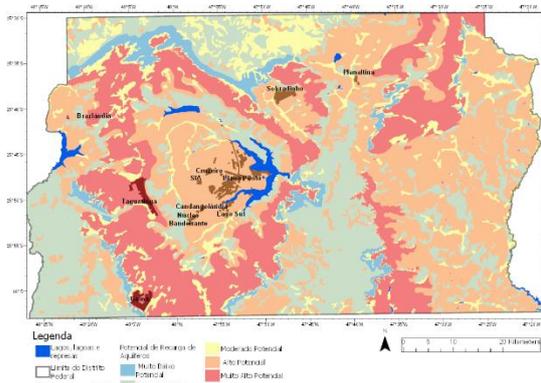
Já nessa época, além da área definida no plano de Lúcio Costa, foram criadas "cidades-satélites" para abrigarem os operários pioneiros e a população de invasões nas imediações dos canteiros de obras do Plano Piloto. Essas primeiras cidades planejadas foram implantadas em três regiões do território: (i) Fora da Bacia do Paranoá, marcando um eixo de expansão sudoeste, em uma região de Plano Elevado, com predominância de Latossolos e declividades inferiores a 10%, de muito alto potencial para urbanização e para recarga onde foram implantadas Taguatinga (1958), Gama (1960) e Ceilândia (1971); (ii) Na área nordeste, em uma região de Plano Intermediário e inserido no sítio verde, selecionado pelo relatório Belcher, na estrada que levava para Planaltina, foi implantado Sobradinho (1960), núcleo urbano, pensado à época como centro de apoio às áreas rurais próximas; (iii) e dentro da Bacia do Paranoá, sítio castanho do relatório Belcher, surgiram as cidades do Núcleo Bandeirante (1956), Candangolândia (1956), Cruzeiro (1958) e Guará (1967) e do outro lado, surgem áreas de habitação unifamiliar pensadas como alternativa de moradia aos prédios do centro e como de menor impacto ao meio ambiente no Lago Sul (1958), Park Way (1961) e Lago Norte (1974) (GDF, 2008). Ainda, as cidades preexistentes de Planaltina (do eixo nordeste) e Brazlândia (eixo oeste), que se encontram em áreas de Plano Intermediário em áreas de alto potencial para recarga e para urbanização, foram logo na criação do DF incorporadas ao seu conjunto urbanístico. Além dessas áreas planejadas ou anteriores à criação do DF, alguns pequenos núcleos informais à época não foram destituídos e hoje estão consolidados: o Paranoá (1957) que surgiu à beira da construção da represa do Lago Paranoá ao Leste; São Sebastião (1958) que surgiu próximo a olarias, hoje já desativadas, a Leste; a Fercal (1961) que surgiu próxima a indústrias de cimento ao norte do território; o Varjão (1975) que surgiu em área desocupada próximo ao Lago Norte; e a Estrutural (1975) que surgiu em área próxima ao lixão da cidade, devido à atividade dos catadores de Lixo; essas áreas não planejadas, em geral, encontram-se em áreas de maior sensibilidade ambiental.

Uma segunda fase da ocupação do território foi marcada pelo reconhecimento do eixo sudoeste como eixo prioritário de expansão com base em condições da infraestrutura e do meio físico e da identificação de áreas para adensamento da Bacia do Paranoá, em oposição às diretrizes dos planos e estudos anteriores. Em 1977, o Plano Estrutural de Ordenamento Territorial (PEOT) (Decreto nº 4.049/78) indicou o eixo sudoeste (Taguatinga-

Ceilândia-Gama) como o mais adequado para o crescimento urbano nesses termos (GDF, 2008). As áreas propostas para localização dos futuros núcleos urbanos desse quadrante estão sob o domínio geomorfológico do Plano Elevado, em áreas com predominância de Latossolos e declividades inferiores a 10%, com muito alto potencial de recarga dos aquíferos e de urbanização. Em 1987, o relatório Brasília Revisitada (Decreto Distrital nº 829/87) propôs o adensamento da Bacia do Paranoá a partir de seis novas áreas habitacionais (GDF, 2008).

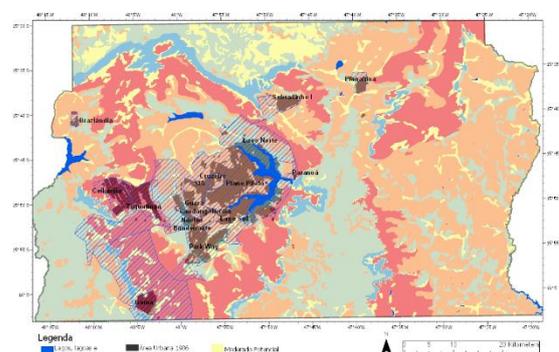
Essas áreas de expansão do PEOT/77 e Brasília Revisitada/87 foram endossadas pelo Plano de Uso e Ocupação do Solo (POUSO), homologado em 1990 pelo Decreto nº 12.898/1990. Nesse período, já foram implantados vários núcleos urbanos no eixo de expansão sudoeste: Samambaia (1985), Santa Maria (1991), Recanto das Emas (1993) e Riacho Fundo (1990) (GDF, 2008). Notou-se também uma expansão de áreas não planejadas no quadrante leste, na Bacia do São Bartolomeu, no quadrante nordeste, em direção a Sobradinho e Planaltina; e nas áreas intersticiais da Bacia do Paranoá entre Plano Piloto e Taguatinga, fora das áreas previstas pelo documento do Brasília Revisitada. A sobreposição das zonas urbanas definidas no POUSO/90 e áreas urbanizadas à época com o mapa de potenciais de recarga da pesquisa mostra que 71,86% da macrozona urbana definida ainda não estava urbanizada à época e que 69,20% dessa área, ainda não urbanizada, estava sobreposta a áreas de alto e muito alto potencial de recarga.

Figura 11.1 - Mapa da área urbanizada em 1964 e dos potenciais de recarga de aquíferos



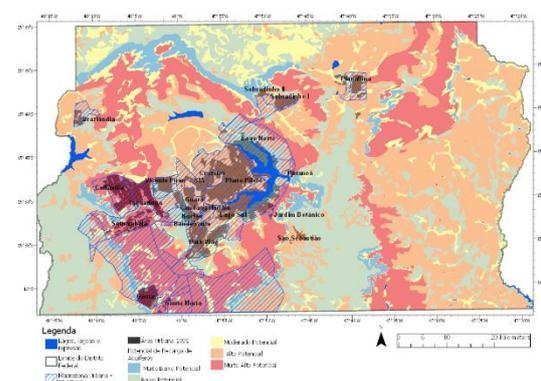
Fonte: A Autora, com dados do ZEE/DF e Siturb

Figura 11.2 - Mapa da Macrozona urbana do POUSO/1986, potenciais de recarga dos aquíferos e área urbanizada em 1986



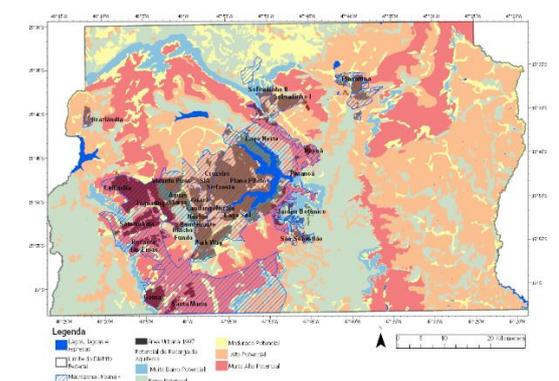
Fonte: A Autora, com dados do ZEE/DF e Siturb

Figura 11.3 - Mapa da Macrozona urbana do PDOT/1992, potenciais de recarga dos aquíferos e área urbanizada em 1991



Fonte: A Autora, com dados do ZEE/DF e Siturb

Figura 11.4 - Mapa da Macrozona urbana do PDOT/1997, potenciais de recarga dos aquíferos e área urbanizada em 1997

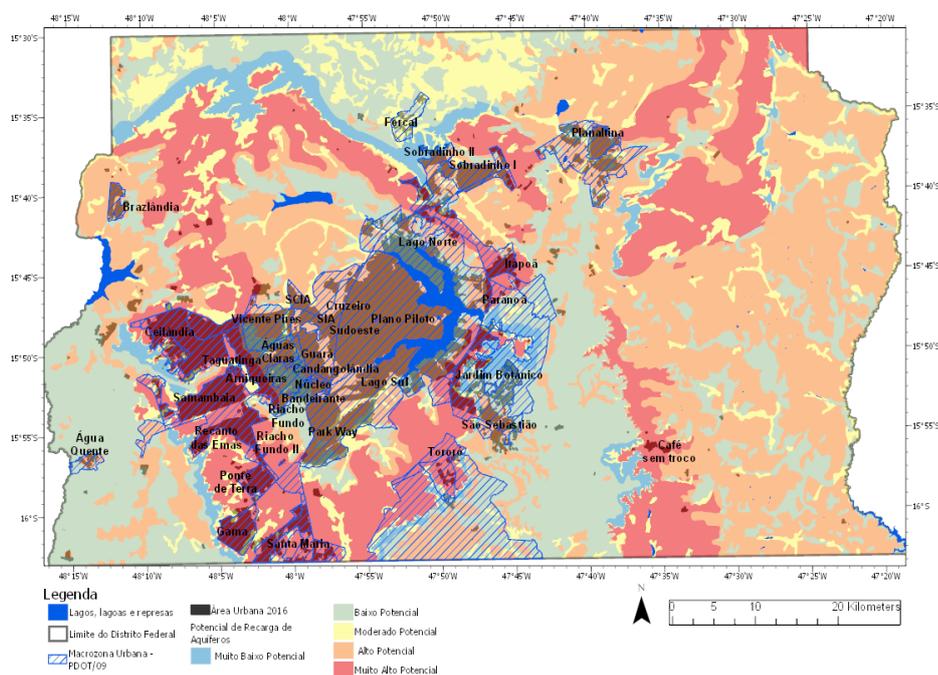


Fonte: A Autora, com dados do ZEE/DF e Siturb

Na fase seguinte, são mantidas as definições do plano anterior, e o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) de 1992, aprovado pela Lei nº 353/1992, define nova zona de expansão na região sul do território a leste de Santa Maria. O PDOT/97, aprovado pela Lei Complementar nº 17/1997, ratificou essa zona de expansão e reconheceu oficialmente os vetores de crescimento norte e leste, devido às pressões latentes da expansão das ocupações irregulares; esse reconhecimento como zona urbana acabou influenciando ainda mais o crescimento para esses quadrantes. Esses planos aumentaram continuamente a área da macrozona urbana; o percentual de áreas a serem urbanizadas dentro da macrozona do PDOT/97 à época era de 63,30%, do qual, 75,48% estavam sobrepostas a áreas de alto e muito alto potencial de recarga.

No início dessa década, surgiram os núcleos urbanos do Sudoeste e Octogonal (1993), Águas Claras (1997) e Riacho Fundo II (1994) na Bacia do Paranoá. E os parcelamentos irregulares continuaram a se expandir. Entre 1985 e 1995, foram contabilizados 529 novos parcelamentos na APA do Rio São Bartolomeu (GDF, 2008). Observou-se, também, aumento da ocupação em vazios intersticiais, como Arniqueiras e Vicente Pires, e áreas de proteção ambiental, como a Região do Sol Nascente e condomínios na área de Ponte de Terra, próximo ao Gama. Nessa época, consolidou-se a ocupação do Itapoã e iniciou-se a ocupação de áreas próximas à cidade do Paranoá e à Região do Taquari, na Bacia do Paranoá.

Figura 12 - Mapa da Macrozona urbana do PDOT/2009, potenciais de recarga dos aquíferos e área urbanizada em 2016



Fonte: A Autora, com dados do ZEE/DF e Siturb

O PDOT/09, aprovado pela Lei Complementar nº 803/2009 e alterado pela Lei Complementar nº 854/2012, diminui pela primeira vez a macrozona urbana em relação ao plano anterior, procurando ajustá-la às ocupações existentes e expandindo ainda mais a zona urbana na direção do eixo Leste e modificando a área de expansão urbana determinada no PDOT/92-97 do quadrante sul para o sudeste. A redução da macrozona urbana e deslocamento da zona de expansão tiveram um impacto positivo sobre o total de zonas de expansão urbana sobrepostos a áreas de alto e muito alto potencial de recarga, diminuindo 17.085,84 ha sobrepostos a áreas de recarga em relação ao plano anterior. Em 2016, a área não urbanizada correspondia a 49,83% da macrozona, da qual, 58,26% (18.097,43 ha) encontra-se sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga. Caso essa

área seja urbanizada e as “outras” coberturas não se expandam, mais 36.117,80 ha de cobertura vegetal nativa e reflorestada seriam desmatadas; e mais 5,19% das áreas de alto e muito alto potencial de recarga teriam sua cobertura urbanizada, **restando no total apenas 29,53% das áreas de recarga preservadas com cobertura vegetal nativa e reflorestada.**

Percebe-se pela análise desse breve histórico que, apesar de alguns dos Planos citados apontarem, no âmbito do discurso, a necessidade de limitar a ocupação urbana em áreas de recarga dos aquíferos, isso não aconteceu na prática, pois a espacialização do processo da recarga nunca foi realizada no âmbito dos planos, para subsidiar a tomada de decisão sobre as áreas de expansão urbana. O documento técnico do PDOT/2009 aponta de forma taxativa que apesar de controlar a impermeabilização do solo de modo a manter a capacidade de recarga dos aquíferos, ser objetivo de vários planos, não há a integração entre os estudos hidrogeológicos e controle da expansão sobre áreas de recarga (GDF, 2008).

As altas taxas de urbanização e definição de zonas de expansão sobre as áreas de recarga devem-se principalmente às semelhanças dos fatores do meio físico entre as áreas propícias à recarga e à urbanização, o que dificulta a não ocupação dessas áreas. Entretanto a ocupação de áreas classificadas como de alto e médio potencial à urbanização, que não se sobrepõem às áreas de recarga é tecnicamente possível, principalmente para ocupações de menor densidade e adotadas medidas de conservação do solo. Nas áreas de recarga ocupadas, é necessária adoção de estratégias de urbanização de menor impacto à recarga. O desafio coloca-se de forma ampla, pois somada à ocupação formal, existe ainda expansão da ocupação informal e do território que também ocupa áreas frágeis quanto à manutenção dessa função ecossistêmica, e onde implementar essas estratégias é mais desafiador.

6. IMPACTOS DAS TIPOLOGIAS DE OCUPAÇÃO URBANA SOBRE AS ÁREAS DE RECARGA DOS AQUÍFEROS DA UH DO LAGO PARANOÁ

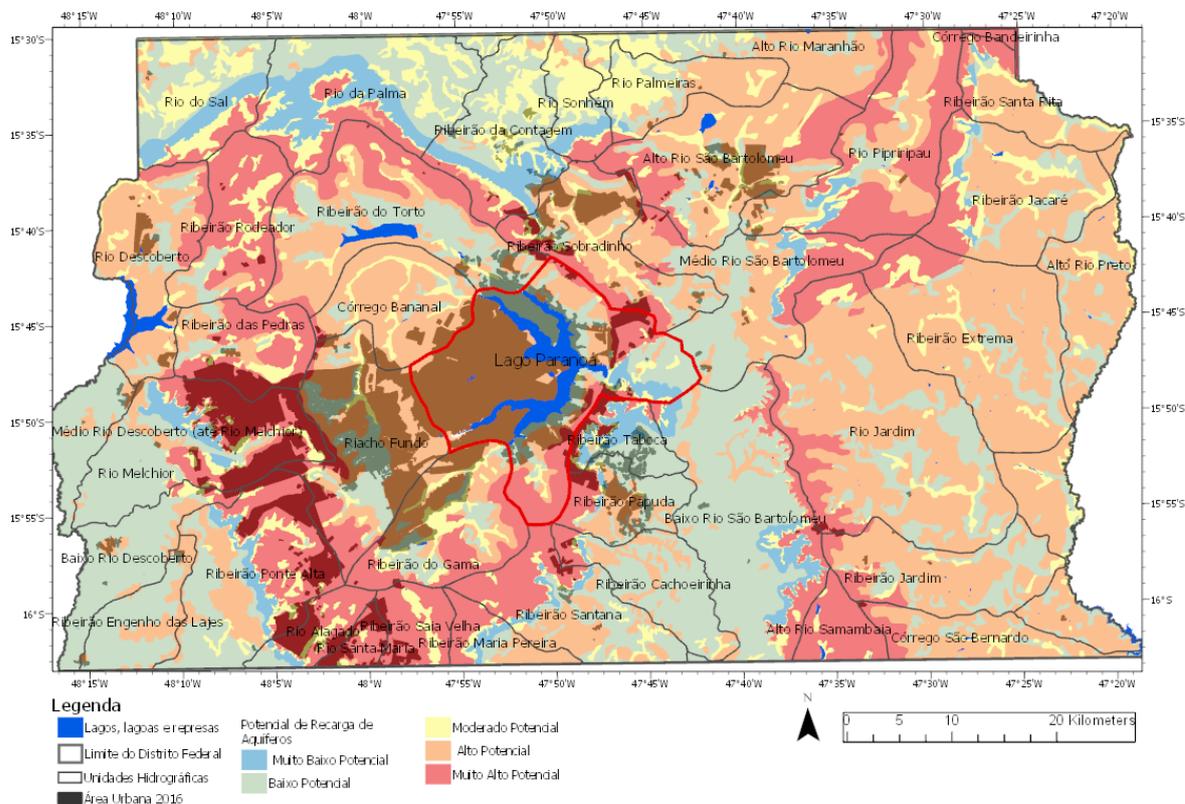
6.1. Seleção da Unidade Hidrográfica de análise

Para aprofundar a análise do capítulo anterior sobre o potencial impacto da área urbanizada sobre as áreas de recarga, dado que a ocupação do solo urbano não ocorre de forma homogênea, este capítulo investiga diferentes formas de ocupação urbana em relação à capacidade de infiltração em uma Unidade Hidrográfica (UH) do DF densamente urbanizada sobre áreas de recarga. A seleção da UH que servirá de área de estudo, a partir desse critério, foi feita com a sobreposição do mapa de potenciais de recarga de aquíferos e da área urbanizada em 2016, desenvolvidos pela autora, e do limite das UHs do Distrito Federal por meio do software ArcGIS.

Como visto no Capítulo 3, mesmo taxas muito baixas de selamento de uma Bacia Hidrográfica já começam a alterar grandemente seu regime hidrológico. No DF, 12 das 41 UH existentes possuem mais de 10% de suas áreas urbanizadas. Elas são: (i) Riacho Fundo (54,99%); (ii) Lago Paranoá (48,34%); (iii) Rio Santa Maria (43,15%); (iv) Rio Melchior (31,23%); (v) Rio Alagado (28,48%); (vi) Ribeirão Taboca (26,73%); (vii) Ribeirão do Gama (25,41%); (viii) Ribeirão Papuda (23,72%); (ix) Ribeirão Sobradinho (21,11%); (x) Ribeirão das Pedras (17,11%); (xi) Ribeirão Ponte alta (16,15%); e (xii) Ribeirão Saia Velha (11,45%). Em relação à extensão das áreas urbanizadas sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga, as 10 UH mais afetadas são: (i) Lago Paranoá (13.544,90 ha); (ii) Rio Melchior (8.560,06 ha); (iii) Riacho Fundo (6.105,05 ha); (iv) Ribeirão Ponte Alta (3.222,70 ha); (v) Ribeirão do Gama (2.768,56 ha); (vi) Ribeirão Sobradinho (2.695,07 ha); (vii) Ribeirão das Pedras (1.649,84 ha); (viii) Rio Alagado (1.614,52 ha); (ix) Ribeirão Taboca (1.188,06 ha); (x) Alto Rio São Bartolomeu (1.097,31 ha).

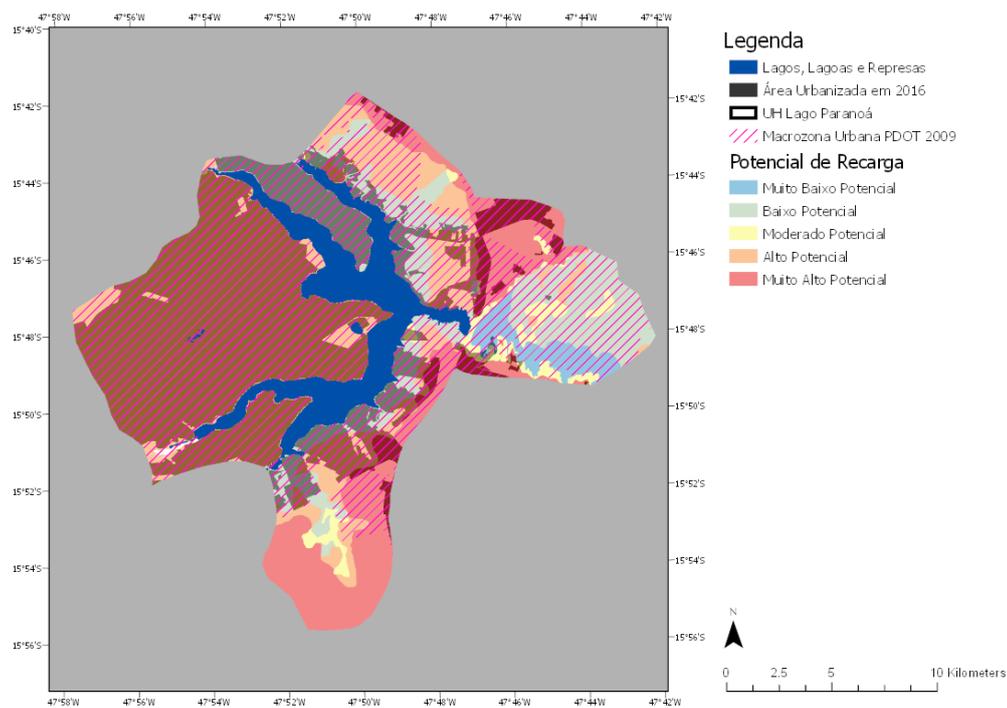
As UH que estão simultaneamente densamente urbanizadas e com grande percentual dessa ocupação sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga apresentam um maior risco para perda de recarga natural dos aquíferos. Com tal, é necessário ter especial atenção às repostas hidrológicas da ocupação urbana local, principalmente quanto à infiltração natural da água da chuva. Esses foram os fundamentos para a seleção da UH do Lago Paranoá como área de estudo, uma vez que 48,34% de sua área está urbanizada (13.544,90 ha) e que **83,02% dessa área está sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga**. Esse total representa 62,90% do total das áreas de alto e muito alto potencial de recarga da sub-bacia que estavam urbanizadas em 2016, entretanto 36,04% da macrozona urbana dessa UH ainda não foi urbanizada. Caso essa área seja urbanizada, 7.457,67 ha de vegetação nativa ou reflorestada serão desmatadas e 83,62% das áreas de alto e muito alto potencial de recarga da sub-bacia passarão a urbanizadas.

Figura 13 - Mapa dos potenciais de recarga, área urbanizada em 2016 e limites das Unidades Hidrográficas do Distrito Federal, com destaque da UH Lago Paranoá



Fonte: A Autora

Figura 14 - Área urbanizada e Macrozona Urbana do PDOT/09 sobre os potenciais de recarga na UH Lago Paranoá em 2016



Fonte: A Autora

6.2. Tipologias urbanas de densidade construtiva homogênea

Como visto no Capítulo 3, historicamente, a principal característica da ocupação urbana levada em consideração para gestão da água da chuva é o percentual de áreas impermeáveis. Fundamentado nesse entendimento, nessa primeira parte da análise à área urbanizada da UH Lago Paranoá foi classificada em cinco zonas de densidade construtiva semelhantes: (i) muito alta, acima de 80% de impermeabilização; (ii) alta, entre 60 e 80% de impermeabilização; (iii) média, entre 40 e 60% de impermeabilização; (iv) baixa, entre 20 e 40% de impermeabilização; e (v) muito baixa, abaixo de 20% de impermeabilização. A identificação das tipologias urbanas semelhantes quanto à densidade construtiva deu-se a partir de análise visual de imagens de aerofotogrametria de 2016, obtidas do Siturb, procurando considerar a área ocupada pelo sistema viário, pelas áreas públicas livres de construção e o tamanho e taxa de ocupação dos lotes. Os resultados são apresentados a seguir:

(i) Zonas de muito alta densidade construtiva



(ii) Zonas de alta densidade construtiva

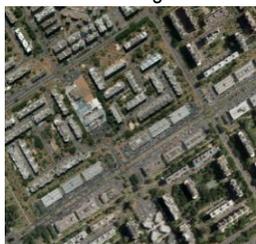


(iii) Zonas de média densidade construtiva

Asa Sul e Norte



Sudoeste e Octogonal



Lago Sul e Norte



Condomínio Itapoã e Paranoá



(iv) Zonas de baixa densidade construtiva

M. Lago Sul e Norte

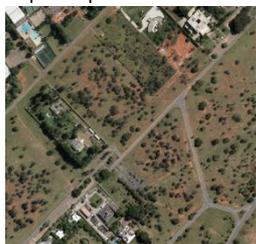


Chácara Taquari e
Condomínio Vila Planalto



(v) Zonas de muito baixa densidade construtiva

Embaixadas, Clubes, UnB,
Setor Policial, Setor Militar,
Esp. Parques Sul e Norte

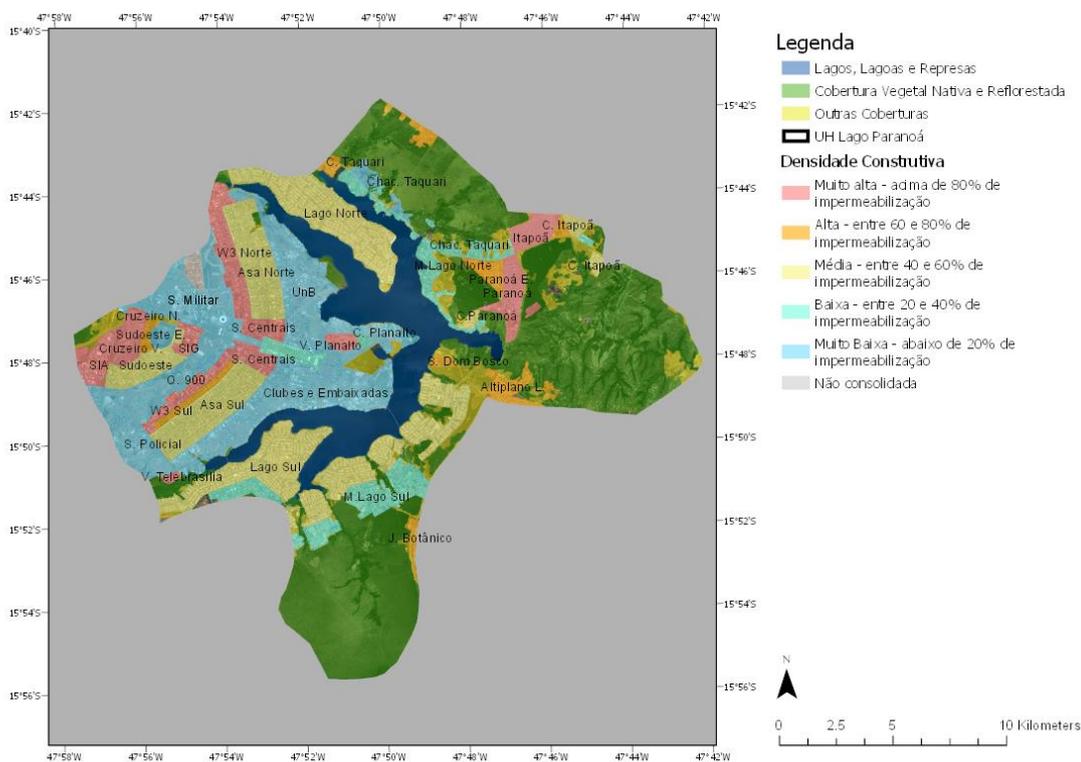


Chácaras Taquari



Após categorizar 18 tipologias urbanas nas cinco zonas de densidade construtiva, essas áreas foram sobrepostas ao mapa de potenciais de recarga, chegando ao resultado de que as zonas de muito alta, alta, média, baixa e muito baixa densidade ocupam, respectivamente, 2.443,13 ha, 903,24 ha, 5.537,07 ha, 1.6642,95 ha e 5.645,46 ha, dos quais, 98,46%, 80,49%, 64,62%, 69,67% e 98,25% encontram-se sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga. A partir desse cruzamento, apreende-se que as duas zonas de maior extensão na UH Lago Paranoá são as de muita baixa e média densidade e as que possuem menor percentual sobreposto às áreas de recarga são a baixa e média densidade. É importante ressaltar que mesmo áreas de baixa densidade já apresentam impacto bastante significativo sobre a recarga, principalmente quando implantadas a partir de preceitos convencionais. E que as áreas de baixa e muito baixa densidade poderiam ser implantadas em áreas de menor potencial de recarga, uma vez que esses empreendimentos possuem menor sensibilidade a outros condicionantes do meio físico que limitam a urbanização.

Figura 15 - Mapa das zonas de densidade construtiva homogênea na UH Paranoá

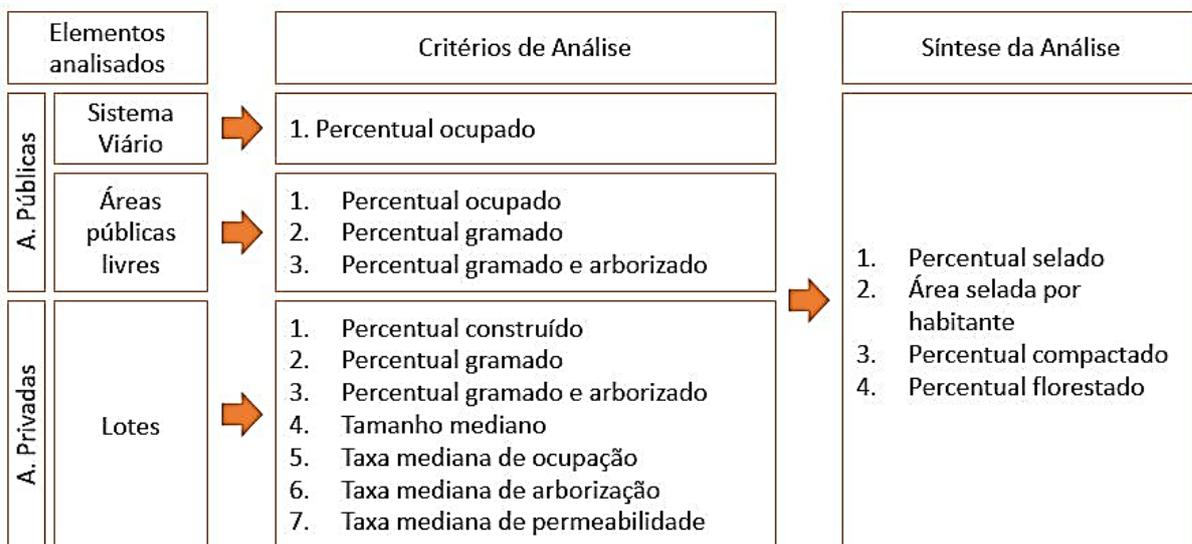


Fonte: A Autora

6.3. Elementos configuracionais com implicações sobre a infiltração natural da água da chuva nas tipologias identificadas

As 18 tipologias urbanas agrupadas no tópico anterior tiveram seus sistemas viários, áreas públicas livres e lotes analisados de acordo com os critérios de análise elencados no Capítulo 3 para cada um desses elementos, resumidos na Tabela 5 e na possibilidade de levantamento de dados a partir da metodologia adotada de processamento de imagem em GIS conforme está apresentado na figura a seguir.

Figura 16 - Organograma dos elementos e critérios de análise das tipologias urbanas identificadas na UH do Paranoá

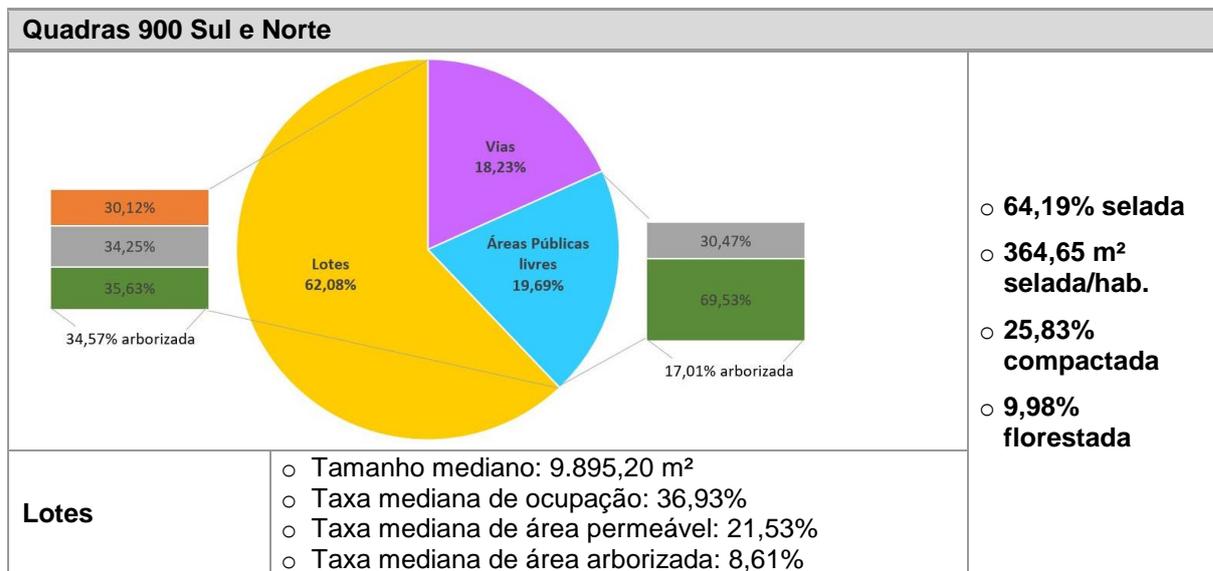


Fonte: A Autora

A coleta dos dados para os critérios de análise foi feita por meio de sistema de informações georreferenciadas, utilizando o programa ArcGis. A área do sistema viário foi obtida por meio do shape do Siturb de “vias”, que foi transformado de linha para polígono e, posteriormente, ajustado manualmente de acordo com a imagem de aerofotogrametria de 2016 pela autora. Essas áreas incluem pistas e estacionamentos que estejam fora de lotes. Foram consideradas como superfícies permeáveis para análise aquelas que permitem a passagem da água por si em direção ao solo, como gramas e solo exposto; e foram consideradas como superfícies impermeáveis aquelas que não permitem essa passagem, como calçadas, acessos pavimentados a garagens e estacionamentos privativos. As superfícies foram identificadas a partir de sensoriamento remoto de imagens de aerofotogrametria de 2016 e posteriormente ajustadas, manualmente, pela autora. As áreas dos lotes e áreas construídas foram obtidas por meio de shapings do Siturb, e as áreas arborizadas foram obtidas a partir de shape desenvolvido pela Codeplan, ambos foram construídos com base em imagens de aerofotogrametria de 2016.

Enquanto os dados da síntese foram obtidos pela combinação dos dados temáticos com dados de população, que foram extraídos do Censo 2010, devido à necessidade de compatibilização com as pequenas áreas envolvidas na análise. As áreas seladas foram resultado da soma das superfícies impermeáveis, prédios e sistema viário. As áreas compactadas foram dadas a partir das superfícies permeáveis, subtraídas das áreas arborizadas; essa aproximação foi feita sabendo-se que da área urbanizada estudada já foram extraídas as áreas identificadas como vegetação nativa e reflorestada pelo estudo da Codeplan (NEVES *et al.*, 2016), e que as práticas de manejo do solo convencionais levam a uma compactação de quase toda a área desmatada urbanizada. A área florestada foi dada a partir da área arborizada levantada a partir da área das copas das árvores, uma vez que essas áreas apresentam maiores taxas naturais de infiltração e maior capacidade de recuperação da porosidade do solo compactado. O resultado para cada tipologia pode ser conferido em seguida:

(i) Zona de muita alta densidade:



Setores Comercial, Bancário, Autarquias e Hoteleiro Sul e Norte		
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 75,36% selada ○ (*) ○ 19,58% compactada ○ 5,06% florestada
Lotes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 707,99 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 97,04% ○ Taxa mediana de área permeável: 3,32% ○ Taxa mediana de área arborizada: 5,98% 	
Cruzeiro Novo		
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 76,72% selada ○ 52,99 m² selada/hab. ○ 17,29% compactada ○ 5,98% florestada
Lotes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 406,53 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 96,39% ○ Taxa mediana de área permeável: 0,87% ○ Taxa mediana de área arborizada: 2,46% 	
Cruzeiro Velho		
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 70,42% selada ○ 137,29 m² selada/hab ○ 20,74% compactada ○ 8,83% florestado
Lotes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 219,98 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 81,95% ○ Taxa mediana de área permeável: 4,97% ○ Taxa mediana de área arborizada: 7,39% 	

Itapoã, Paranoá, Vila Planalto, Vila Telebrasilândia		
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 84,08% seladas ○ 78,05 m² selados/hab. ○ 13,35% compactada ○ 2,56% florestados
Lotes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 142,88 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 83,96% ○ Taxa mediana de área permeável: 41,46% ○ Taxa mediana de área arborizada: 12,09% 	
Setor de Indústrias e Abastecimento (SIA) e Setor de Indústrias Gráficas (SIG)		
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 72,66% selada (*) ○ 18,19% compactada ○ 9,15% florestada
Lotes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 1.088,20 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 73,97% ○ Taxa mediana de área permeável: 4,29% ○ Taxa mediana de área arborizada: 8,23% 	

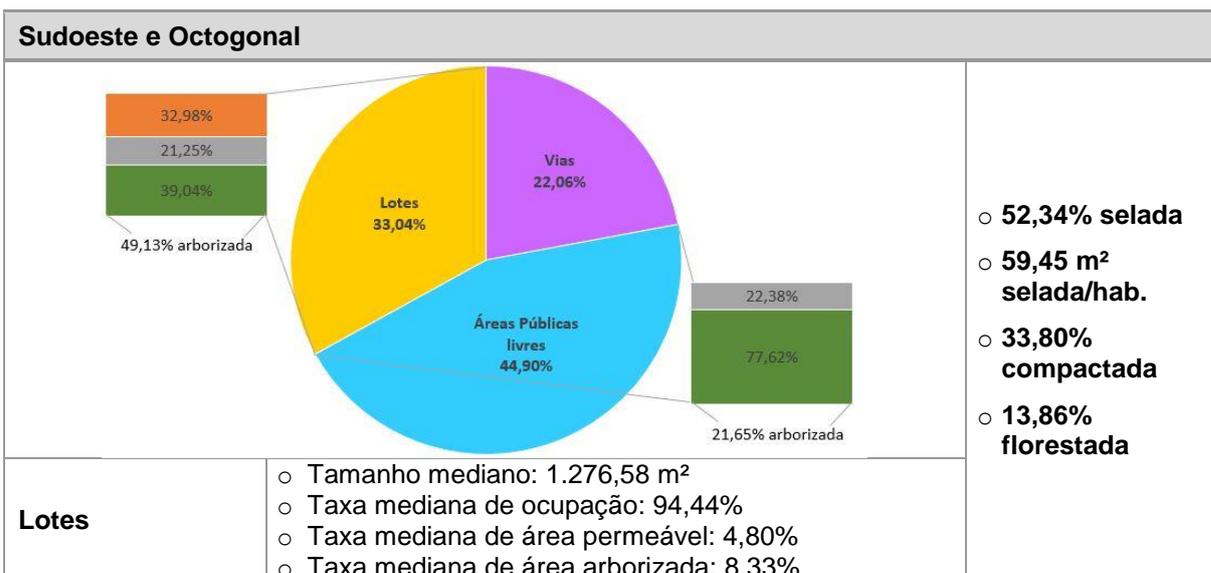
(ii) Zona de alta densidade construtiva

Altiplano Leste, J. Botânico, S. Hab. Dom Bosco, Condomínios no Taquari e Itapoã		
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 50,80% selada ○ 640,15 m² selada/hab. ○ 41,61% compactada ○ 7,59% florestada
Lotes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 828,08 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 35,50% ○ Taxa mediana de área permeável: 34,02% ○ Taxa mediana de área arborizada: 11,82% 	

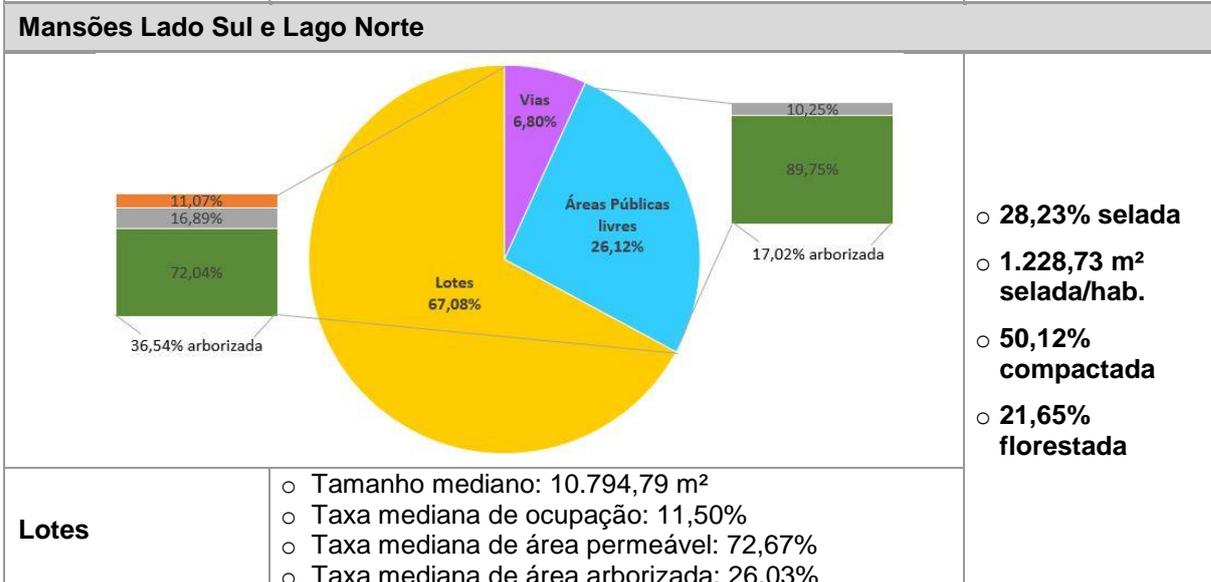
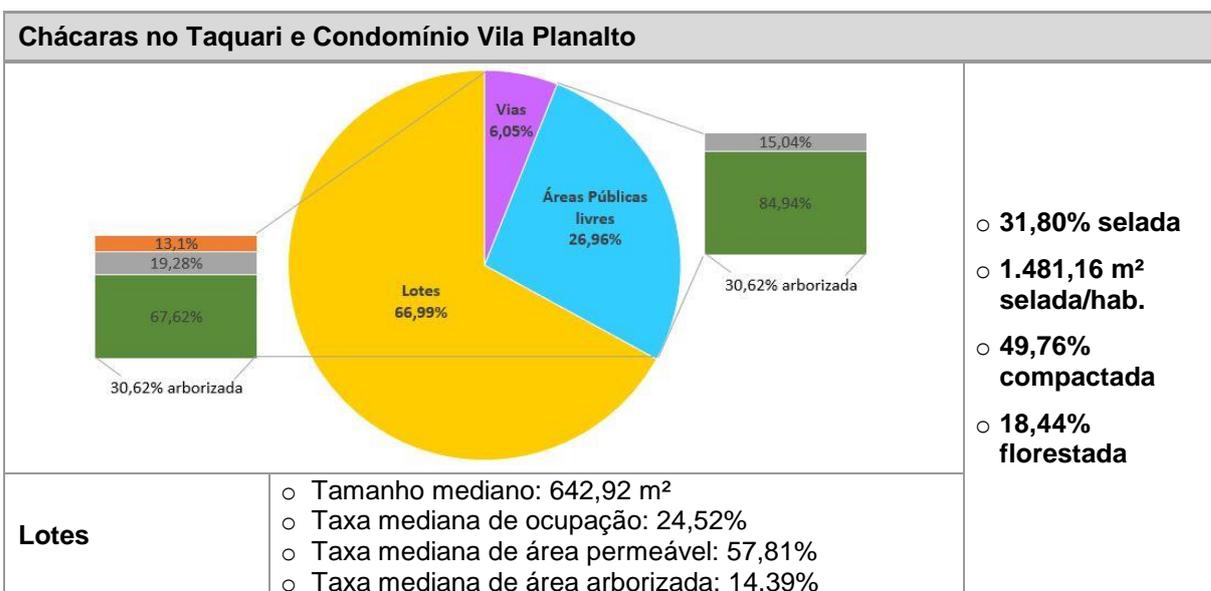
Paranoá Expansão		
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 56,62% selada ○ (**) ○ 42,06% compactada ○ 1,31% florestado 	
<p>Lotes</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 14.361,16 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 22,29% ○ Taxa mediana de área permeável: 85,09% ○ Taxa mediana de área arborizada: 0% 	
Sudoeste Econômico		
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 65,20% selada ○ 80,92 m² selada/hab. ○ 28,46% compactada ○ 6,34% florestada 	
<p>Lotes</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 439,75 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 92,98% ○ Taxa mediana de área permeável: 1,14% ○ Taxa mediana de área arborizada: 5,40% 	
W3 Sul e Norte		
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 69,85% selada ○ 133,39 m² selada/hab. ○ 16,36% compactada ○ 13,79% florestada 	
<p>Lotes</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 205,75 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 85,41% ○ Taxa mediana de área permeável: 8,49% ○ Taxa mediana de área arborizada: 6,01% 	

(iii) Zona de média densidade construtiva

Asa Sul e Asa Norte		
<p>Lotes</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 453,23 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 97,01% ○ Taxa mediana de área permeável: 1,71% ○ Taxa mediana de área arborizada: 2,70% 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 53,91% selada ○ 64,93 m² selada/hab. ○ 27,53% compactada ○ 18,55% florestada
Condomínios no Itapoã e Paranoá		
<p>Lotes</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 1.044,25 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 27,76% ○ Taxa mediana de área permeável: 57,67% ○ Taxa mediana de área arborizada: 12,59% 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 44,70% selada ○ 597,93 m² selada/hab. ○ 42,41% compactada ○ 12,89% florestada
Lago Sul e Lago Norte		
<p>Lotes</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 1.402,72 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 31,26% ○ Taxa mediana de área permeável: 48,68% ○ Taxa mediana de área arborizada: 20,72% 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 45,44% selada ○ 506,74 m² selada/hab. ○ 34,10% compactada ○ 20,46% florestada



(iv) Zona de baixa densidade construtiva



(v) Zona de muito baixa densidade construtiva

Chácaras no Taquari		
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 24,36% selada ○ 2.161,13 m² selada/hab. ○ 45,29% compactada ○ 30,35% florestada 	
Lotes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 2.672,36 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 14,16% ○ Taxa mediana de área permeável: 69,32% ○ Taxa mediana de área arborizada: 25,65% 	
S. de Embaixadas, Clubes, UnB, Militar, Policial, Esplanada e Parques, Sul e Norte		
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 35,95% selada ○ (*) ○ 52,19% compactada ○ 11,68% florestada 	
Lotes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamanho mediano: 9.592,73 m² ○ Taxa mediana de ocupação: 29,20% ○ Taxa mediana de área permeável: 41,46% ○ Taxa mediana de área arborizada: 12,09% 	

* Não foram colocados os dados de área selada por habitante nas tipologias de uso predominantemente não residencial.

** Não foi colocado o dado de área selada por habitante para tipologia do Paranoá expansão porque não havia população na área à época do censo (2010).

De forma geral, os dados confirmam o entendimento de que a maioria da área urbanizada teve um processo de manejo do solo convencional, sem preocupações de perturbação mínima do solo, onde grande parte das áreas dos canteiros de obra é desmatada, aplainada e posteriormente gramada, o que levou praticamente toda a área da sub-bacia a baixas taxas de arborização, com essas grandes áreas livres funcionando como áreas compactadas, ou seja, com a porosidade do solo reduzida e conseqüentemente com redução considerável de suas taxas de infiltração.

Outro entendimento geral confirmado pelos dados analisados é a importância do desenho do sistema viário não só pelo seu maior impacto geral sobre as alterações no regime hidrológico mas, também, porque ele representa grandes parcelas do total de área impermeável nas urbanizações. Na sub-bacia do Lago Paranoá, esses percentuais variam entre 19,04%, nas regiões das Chácaras do Taquari e Condomínio da Vila Planalto, até 49,90%, na região do sudoeste econômico. Essas áreas merecem um redesenho atendendo

as técnicas de impacto mínimo estudadas no Capítulo 3 para agregarem oportunidades de infiltração natural à área urbanizada.

Ainda, foi possível aprender que um terço das tipologias analisadas concentra o maior percentual de suas áreas seladas em áreas públicas (Áreas centrais sul e norte, Paranoá Expansão, W3 Sul e Norte, Asa Sul e Norte, Sudoeste e Octogonal e Setores de Embaixadas, clubes, UnB, Militar, Policial e Parques) e dois terços concentram o maior percentual de áreas compactadas em áreas privadas (Centro Sul e Norte, Cruzeiro Novo e Velho, Itapoã, Paranoá, V. Telebrasilândia e V. Planalto, SIG e SIA, Altiplano L., J. Botânico, S. Dom Bosco e C Taquari e Itapoã). Nesse sentido, merece destaque o fato de que os mecanismos de regulação urbana (zoneamentos, índices e parâmetros urbanísticos de parcelamento do solo e até normas de drenagem urbana) não regulamentam aspectos do desempenho desses espaços públicos que possam contribuir para o aumento das oportunidades de infiltração da água. Também não existem programas sistemáticos de governo voltados ao redesenho dessas áreas para contribuir com a infiltração e controle de inundações, a não ser por meio de soluções curativas com a utilização de obras de drenagem tradicionais.

A classificação do desempenho hidrológico específico das tipologias, segundo esses critérios, pode ser feita tanto pelo seu impacto isolado quanto pelo seu impacto geral na sub-bacia. O impacto isolado de cada tipologia é dado pelos percentuais conjuntos de áreas seladas e áreas compactadas, relacionadas a alterações dos padrões de recarga dentro da própria área da tipologia. Já o impacto geral de cada tipologia na sub-bacia é dado pela área selada e compactada por habitante.

No grupo analisado, a tipologia que apresenta melhores condições isoladas para a recarga foi a região de chácaras do Taquari de muita baixa densidade construtiva, com 30,35% de área arborizada. Essa zona ainda é uma zona de transição entre o rural e urbano, com muita baixa densidade (0,99 hab./ha), grandes terrenos (2.672,36 m²) e baixas taxas de ocupação (14,16%). Cabe destacar que é, também, uma área em expansão da macrozona urbana, fato que merece uma análise de impacto futuro com a implantação dos parâmetros dados à área.

As próximas tipologias com melhores condições isoladas são, em ordem: Mansões do Lago Sul e Norte (21,65% florestada), Lago Sul e Norte (20,46% florestada) e Asa Sul e Norte (18,55% florestada). Apesar de essas áreas apresentarem valores semelhantes de áreas florestadas, elas possuem outras características relacionadas com seu desenho urbano que tornam seu impacto sobre o regime hidrológico e as estratégias de intervenção diferentes. Por exemplo, na Asa Sul e Norte, 24,66% da área total da tipologia é ocupada por sistema viário, enquanto no Lago Sul e Norte, esse percentual cai para 9,06% e nas Mansões do Lago Sul e Norte, para 6,80%. E como visto no Capítulo 3, as áreas diretamente conectadas à rede drenagem, representadas principalmente pelo sistema viário, geram menores oportunidades para a recarga. O restante das áreas seladas de cada uma dessas tipologias é composto por: 45,62% de superfícies impermeáveis e 26,30% de prédios nas Mansões do Lago Sul e Norte; 40,58%, de superfícies impermeáveis e 39,47%, de prédios nos Lagos Sul e Norte; e 29,44%, de superfícies impermeáveis e 45,74%, de prédios nas Asa Sul e Norte. As áreas dos prédios representam um percentual de selamento de caráter permanente, enquanto intervenções para redução e substituição das superfícies impermeáveis ligadas aos espaços livres são mais factíveis.

Ainda, o percentual total de áreas seladas da Asa Sul e Norte (53,91%) é muito próximo ao do Lago Sul e Norte (45,44%) apesar de as duas áreas possuírem densidades populacionais bastante diferentes, de respectivamente 88,78 hab./ha e 9,79 hab./ha. Isso demonstra que maiores densidades não estão necessariamente ligadas a maiores percentuais de superfícies impermeáveis. Outro ponto que indica que essas superfícies

devem ser melhor controladas por outros parâmetros urbanísticos e que reduzir densidade não possui efetividade direta sobre infiltração. Essa constatação é especialmente importante ao analisar o impacto geral de cada tipologia na sub-bacia. Nesse segmento, as três tipologias com melhores condições gerais para a recarga são, em ordem: Cruzeiro Novo (52,99 m² selados/hab. – 153,60 hab./ha), Sudoeste e Octogonal (59,45 m² selados/hab. – 97,56 hab./ha) e Asa Sul e Norte (64,93 m² selados/hab. – 88,78 hab./ha). Ainda, as três com tipologias com piores condições gerais são, em ordem: Chácaras da região do Taquari de muita baixa densidade construtiva (2.161,13 m² selados/hab. – 0,99 hab./ha), Chácaras da região do Taquari de baixa densidade construtiva e Condomínio da V. Planalto (1.228,73 m² selados/hab. – 2,37 hab./ha) e Mansões do Lago Sul e Norte (1.418,16 m² selados/hab. – 2,56 hab./ha).

Apesar de se notar a relação clara nessas tipologias entre maiores densidades e menores valores de áreas seladas por habitante, também, aqui, infere-se que outros parâmetros interferem nesse resultado, uma vez que a tipologia de segunda maior densidade da área estudada, da região do Itapoã, Paranoá e V. Planalto e Telebrasília (116,63 hab./ha) apresenta maiores valores de área selada por habitante (78,05 m² selados/ha). Nota-se nesse sentido que a tipologia específica da região da Asa Sul e Norte, elencada como terceira melhor tipologia quanto ao impacto geral, também foi elencada como terceira melhor tipologia quanto ao impacto específico. Demonstra que, a partir de parâmetros urbanísticos, é possível conciliar densidade com grande disponibilidade de áreas livres e vegetadas.

7. CONCLUSÃO

A proposta da presente pesquisa foi mostrar que o planejamento urbano pode ter um papel na redução dos impactos negativos da urbanização sobre o regime hidrológico, em especial no que tange à redução da perda de recarga dos aquíferos, principalmente assumidas as premissas de que áreas de recarga tendem a ser urbanizadas porque existem semelhanças entre as áreas propícias à recarga e as áreas propícias à urbanização, mas que é possível ajuste na escolha das áreas a serem urbanizadas e tipologias urbanas adotadas nas áreas de recarga para reduzirem os impactos negativos causados pela urbanização tradicional. Para isso é necessário incorporar conceitos e práticas da sustentabilidade e ecologia ao planejamento.

A pesquisa trouxe da sustentabilidade e da ecologia a consideração da base ecológica do território, procurando aprofundar o entendimento de como o processo de recarga dos aquíferos faz parte do equilíbrio dinâmico do ciclo fechado biogeoquímico da água, como as características do meio físico do território condicionam o processo de recarga e o processo de urbanização e os impactos sobre o de urbanizar sobre áreas de recarga. Ficaram claras, a partir dessa revisão, as similaridades entre as características do meio físico que condicionam à recarga e à urbanização, fazendo com que em muitos casos as áreas urbanas e de recarga sobreponham-se, aumentando a proporção do impacto da cidade sobre essa função ecossistêmica. Essas condicionantes foram organizadas em grupos de aspectos geomorfológicos (altitude relativa e declividade), pedológicos (condutividade hidráulica, espessura, coesão e resistência a cargas) e climáticos (disponibilidade hídrica e clima ameno). Ainda, foram identificados os principais impactos gerados pela cidade na recarga, como: (i) a redução das taxas de infiltração natural da água chuva; (ii) o aumento das recargas artificiais intencionais e não intencionais que, de forma geral, não compensam a redução das taxas naturais e podem ser potencialmente poluidoras; e (iii) a presença de diversos usos que causam intrusão de contaminantes no solo, que geram redução da qualidade da água subterrânea.

Dada as semelhanças físicas entre as áreas adequadas à recarga e à urbanização, principalmente de alta densidade facilidade para mecanização, maior estabilidade para fundações e utilização do subsolo; e os impactos gerados pela ocupação urbana dessas áreas, fica evidente a importância de definir como a ocupação urbana pode ocorrer de forma a minimizar o impacto sobre a recarga dos aquíferos. Nesse sentido, a partir da revisão de estudos recentes, identificou-se que a infiltração natural é significativamente reduzida nas áreas urbanas devido principalmente a fatores que afetam a taxa máxima possível de entrada da água no solo e a permeabilidade de suas primeiras camadas. Além das superfícies impermeáveis, outras duas condições de manipulação do solo também afetam esses fatores e levam a significativas perdas nas taxas de infiltração natural: a compactação do solo e a redução da cobertura vegetal arbórea. A partir desses fatores, pode-se concluir que a impermeabilização do solo urbano é uma condição associada à maioria dos solos da mancha urbana, não apenas a áreas cobertas por superfícies impermeáveis *stricto sensu*.

A constatação desses fatores foi relevante para o estabelecimento dos primeiros nexos causais entre formas de ocupação do solo e impactos sobre a infiltração natural, essenciais para pensar as estratégias de planejamento sensíveis à água, ao entender que para aumentar a oportunidade para infiltração natural deve-se planejar, gerir e projetar áreas urbanas procurando diminuir a extensão e conectividade das superfícies impermeáveis,

diminuir a compactação do solo, recuperar o solo compactado e aumentar a extensão da floresta urbana.

Nesse contexto, é salientado o papel do desenho urbano sobre o desempenho hidrológico, podendo ser trabalhado para mitigar a perda da infiltração natural de água da chuva nas cidades. Para complementar esse entendimento, exemplos práticos de diretrizes de desenho que aumentam a oportunidade para infiltração natural foram buscadas nas abordagens IHP, LID, WSUD e SuDs e organizadas de acordo com sua correlação com os fatores facilitadores ou dificultadores da infiltração. A revisão do tema da morfologia urbana permitiu organizar essas diretrizes de desenho e fatores facilitadores ou dificultadores da infiltração natural de tal forma a constituir um arcabouço teórico e metodológico capaz de auxiliar na compreensão e avaliação dos impactos de diferentes tipologias urbanas sobre a oportunidade para infiltração natural da água. Essa estrutura metodológica identificou três principais elementos configuracionais da forma urbana de maior impacto sobre o fenômeno da recarga, que são: o sistema viário; as áreas públicas livres; e os lotes. E propôs critérios de avaliação, relacionados com sua capacidade de facilitar a infiltração natural da água.

A organização das informações referentes aos temas da ecologia urbana, hidrogeologia e morfologia urbana para constituir esse arcabouço teórico e metodológico capaz de auxiliar na compreensão e avaliação dos impactos de diferentes tipologias urbanas sobre a oportunidade para infiltração natural da água são, portanto, os resultados que nos possibilitam dizer que os objetivos da pesquisa foram alcançados. A verificação da consistência da metodologia construída e das premissas da pesquisa deu-se a partir da aplicação dos conceitos na análise da relação entre tipologias urbanas e recarga dos aquíferos no Distrito Federal. A comprovação dos resultados por meio deste estudo de caso foi quantitativa em termos do levantamento de como os elementos configuracionais identificados compõem cada tipologia urbana. O que possibilitou a análise qualitativa do impacto de cada tipologia na redução da oportunidade da infiltração natural, a partir dos fatores facilitadores ou dificultadores da infiltração relacionados com os elementos quantificados. Dessa forma, por meio indireto, estabeleceu-se a relação entre a configuração das diferentes tipologias urbanas e perda de recarga.

A partir de técnicas de planejamento ecológico de sobreposição cartográfica de informações ambientais, foi possível identificar a confluência espacial dos condicionantes do meio físico relacionados com a recarga de aquíferos e urbanização no Distrito Federal, chegando à construção de mapas de áreas potenciais para a recarga e urbanização. Os mapas confirmam que todas as áreas de muito alto potencial de urbanização, que ocupam 55,79% do território, estão sobrepostas às de alto e muito alto potencial de recarga; ocupam 59,45% do território, o que confirma umas das premissas da pesquisa e demonstra a importância de considerar a variável da recarga no planejamento urbano.

As áreas urbanas vêm crescendo no território, de forma planejada e espontânea, principalmente nas áreas mais adequadas à urbanização sobrepostas às áreas de recarga, chegando, em 2016, a 81,24% da área urbanizada do território estar sobreposta a áreas de recarga, o que confirma a tendência que foi constatada durante a pesquisa, e que as reduções nas vazões dos aquíferos próximos às áreas urbanizadas da região já se fazem notar nos últimos 15 anos, levando a crer que as mudanças na cobertura do solo vêm afetando a recarga. Além das áreas já urbanizadas, 58,26% (18.097,43 ha) das áreas ainda não urbanizadas da macrozona urbana encontram-se também sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga. A contínua ocupação dessas áreas pode reduzir ainda mais a quantidade de áreas de recarga preservadas que, em 2016, era de apenas 34,78% do total.

A análise das tipologias urbanas da UH Lago Paranoá confirmou as premissas da pesquisa e os conceitos aprendidos no Capítulo 3, demonstrando que existem características hidrológicas diferentes entre tipologias que possuem taxas de selamento e

compactação semelhantes. O que permite inferir: o mesmo percentual de superfícies impermeáveis pode ter impactos hidrológicos distintos, não sendo essa a única variável para identificar diferentes tipologias de ocupação do solo urbano que possuem diferentes oportunidades para infiltração natural da água. Também foi demonstrado que as áreas de maior densidade geram um menor impacto regional na sub-bacia, uma vez que apresentam menores quantidades de área selada por habitante. Ressaltando que as maiores densidades não estão necessariamente ligadas a maiores percentuais de superfícies impermeáveis e que, a partir de parâmetros urbanísticos, é possível conciliar alta densidade com baixas taxas de áreas seladas e compactadas, o que permite configurar uma tipologia mais adequada para ser implantada em áreas de alto e muito potencial de recarga de aquíferos. Ainda, foi verificada a importância da consideração do sistema viário nas estratégias de gestão e planejamento, uma vez que representa um grande percentual das áreas impermeáveis e a importância de considerar parâmetros urbanísticos de menor impacto sobre a recarga em áreas públicas livres no planejamento e projeto urbano, pela grande presença de áreas consideradas compactadas nesses elementos.

As principais limitações para o maior aprofundamento da pesquisa foram a transdisciplinaridade do tema, pois envolve principalmente as áreas de planejamento urbano, planejamento ecológico, hidrogeologia e engenharia ambiental; e a tecnologia disponível para coleta e processamento de dados a partir de imagens de satélite e imagens de aerofotogrametria, que permitiu o nível de detalhamento dos dados.

Possíveis pesquisas futuras para o aprofundamento do tema incluem:

- (i) Investigações, por meio de modelagem e avaliações em campo do escoamento superficial gerado por tipologia urbana identificada, com o objetivo de validar de forma quantitativa os princípios estabelecidos pela pesquisa.
- (ii) Realizar estudo da necessidade de atualização das normas urbanas (zoneamentos e índices e parâmetros urbanísticos de parcelamento do solo) para que elas se adéquem aos preceitos definidos nesta pesquisa como necessários para uma urbanização de menor impacto sobre a recarga;
- (iii) Aprofundar, principalmente a partir de testes de campo de taxas de infiltração, o conhecimento sobre os impactos das áreas compactadas e não arborizadas, na infiltração natural no solo de áreas urbanas da região do cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACSELRAD, Henri. Discursos da sustentabilidade urbana. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 1, 1999.
- ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo de. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2004.
- AMARAL, Rubens Do. **A prestação de serviços ecossistêmicos e a dinâmica de estoque de dióxido de carbono no Sistema de Espaços Livres do Município de Belo Horizonte**. 2015. 186 f. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2016**. Brasília: [s.n.], 2016.
- ANDJELKOVIC, Ivan. **Guidelines on Non-Structural Measures in Urban Flood Management. International Hydrological Programme (IHP)**. Paris, France: [s.n.], 2001.
- ANDRADE, Liza Maria Souza. **Conexão dos Padrões Espaciais dos Ecossistemas Urbanos: A construção de um método com enfoque transdisciplinar para o processo de desenho urbano sensível à água no nível da comunidade e da paisagem**. 544 p. Tese de Doutorado. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Brasília, 2014.
- ARNOLD, Chester L.; GIBBONS, James. Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. **Journal of the American Planning Association**, v. 62, n. 2, p. 243-258, 1996.
- BALLARD, B. Woods *et al.* **The SuDS Manual**. . London: [s.n.], 2015.
- BARBIRATO, Gianna Melo; TORRES, Simone Carnaúba; SOUZA, Lea Cristina Lucas. **Clima Urbano e Eficiência Energética nas Edificações**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2011.
- BEAR, Jacob. **Hydraulics of Groundwater**. 2ª ed. Mineola, NY: Dover Publications, 2007.
- BOOTH, Dereck B. Urbanization and the natural drainage system - impacts solutions and prognoses. **The northwest environmental journal**, v. 7, n. 1, 1991.
- BOOTH, Dereck B; JACKSON, C. R. Urbanization of aquatics e degradation thresholds, stormwater detention, and limits of mitigation. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 33, p. 1077-1090, 1997.
- BRITO, Ana Lúcia; BARRAQUÉ, Bernard. Discutindo gestão sustentável da água em áreas metropolitanas no Brasil: reflexões a partir da metodologia europeia Water 21. **Cadernos Metrópole**, v. 19, p. 123-142, 2008.
- BROWN, R. R.; KEATH, N.; WONG, T. H F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. **Water Science and Technology**, v. 59, n. 5, p. 847-855, 2009.
- BRUN, S. E.; BAND, L. E. Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 24, p. 5-22, 2000.
- CAMPOS, José Elói Guimarães. Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a gestão dos Recursos Hídricos subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 1, p. 41-48, 2004.

- CARTER, Harold. Urban Origins: a review. **Progress in Human Geography**, v. 1, n. 1, p. 12-32, 1977.
- CHURCH, P. E.; GRANATO, G. E.; OWENS, D. W. **Basic requirements for collecting, documenting, and reporting precipitation and stormwater-flow measurements**. . [S.l.: s.n.], 1999.
- COMISSÃO DE COOPERAÇÃO PARA MUDANÇA DA CAPITAL. **Relatório anual da Comissão de localização da nova Capital Federal**. Brasília: [s.n.], 1955.
- CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. INPE (INPE-8454-RPQ/722), p. 103, 2001.
- EPA, U.S. **Environmental Protection Agency. Low Impact Development (LID): A Literature Review**. n. October, p. 41, 2000a.
- EPA, United States Protection Environmental Agency. **Protecting Water Resource with Higher-Density Development**. . [S.l.: s.n.], 2000b.
- FOSTER, S S D; MORRIS, B L; LAWRENCE, A R. Effects of urbanization on groundwater recharge. In: TELFORD, THOMAS (Org.). **Groundwater problems in urban areas**. London: [s.n.], 1994.
- FOSTER, Stephen; LAWRENCE, Adrian; MORRIS, Brian. **Groundwater in Urban Development: Assessing Management needs and formulating policy strategies**. Washington, D.C. : [s.n.], 1998.
- GDF, Governo do Distrito Federal. ZEE - **Caderno Técnico Matriz Ecológica**. . Brasília: [s.n.], 2017.
- GDF, Governo do Distrito Federal. **Documento Técnico do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal**. Brasília: [s.n.], 2008.
- GDF, Governo do Distrito Federal; GREENTEC. **ZEE - Subproduto 3.1 - Relatório do Meio Físico e Biótico**. . Brasília: [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://www.zee-df.com.br>>.
- GONÇALVES, Tatiana Diniz. **Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Distrito Federal**. 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília - UnB, 2007.
- GREGORY, JH *et al.* Effect of urban soil compaction on infiltration rate. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 61, n. 3, p. 117-124, 2006.
- HAMILTON, G. W.; WADDINGTON, D. V. Infiltration rates on residential laws in central pennsylvania. **Journal of soil and water conservation**, v. 54, n. 3, p. 564-568, 1999.
- HINMAN, Curtis. **Low Impact Development Technical Guidance Manual for Puget Sound**. . [S.l.: s.n.], 2012
- HOUGH, Michael. **Cities and Natural Process: towards a new urban vernacular**. 1ª ed. [S.l.]: Croom Helm, 1984.
- JACOBSON, Carol R. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 6, p. 1438-1448, 2011.
- KALIRAJ, S.; CHANDRASEKAR, N.; MAGESH, N. S. Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 7, n. 4, p. 1385-1401, 2014.
- KAYS, Barrett L. **Relationship of forest destruction and soil disturbance to increased flooding in the suburban north carolina piedmont**. 1980, New Jersey: [s.n.], 1980.

- KELLING, K. A.; PETERSON, A. E. Urban Lawn Infiltration Rates and Fertilizer Runoff Losses under Simulated Rainfall. **American society of agronomy**, v. 39, n. 2, p. 348-352, 1974.
- LAMAS, José M. Ressano Garcia. **Morfologia Urbana e Desenho da Cidade**. 3ª ed. Porto, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.
- LEE, Joong Gwang; HEANEY, James P. Estimation of Urban Imperviousness and its Impacts on Storm Water Systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 129, n. 5, p. 419-426, 2003.
- LIMA, Jorge Enoch Furchim Werneck. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. **Ciência e Cultura**, v. 63, n. 3, p. 27-29, 2011.
- LOUSADA, Enéas Oliveira; CAMPOS, José Elói Guimarães. Estudos isotópicos em águas subterrâneas do Distrito Federal: subsídios ao modelo conceitual de fluxo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 355-365, 2006.
- LOUSADA, Enéas Oliveira; CAMPOS, José Elói Guimarães. Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da Região do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, p. 407-414, 2005.
- MACHADO, Ana Lúcia S.; PACHECO, Jesuete Bezerra. Serviços Ecossistêmicos e o Ciclo Hidrológico da Bacia Hidrográfica Amazônica. **Geonorte**, v. 1, p. 71-89, 2010.
- MAKSIMOVIC, Cedo; TUCCI, Carlos E. M. **Urban Drainage in Specific Climates. Volume I. Urban drainage in humid tropics. International Hydrological Programme (IHP)**. Paris, France: [s.n.], 2001.
- MANCINI, Gisele Arrobas. **Avaliação dos custos da urbanização dispersa no Distrito Federal**. 2008. 178 f. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2008.
- MARSALEK, Jiri *et al.* **Urban Water Cycle Processes and Interactions. International Hydrological Programme (IHP)**. Paris, France: [s.n.], 2013.
- MARTINS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M. Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. Brasília: IEMA/ SEMATEC/UnB, 1998.
- MCHARG, Ian L. **Design with nature**. [S.l: s.n.], 1969.
- MCHARG, Ian L.; SUTTON, Jonathan; SPIRN, Anne Whiston. **Woodlands New Community Guidelines for Site Planning**. Philadelphia, Pennsylvania: [s.n.], 1973.
- MCPHEARSON, Timon *et al.* **Advancing Urban Ecology toward a Science of Cities. BioScience**. [S.l: s.n.], 2016.
- MELBOURNE WATER. **Water Sensitive Urban Design Guidelines**. [S.l: s.n.], 2014.
- MELLO, R. M.; CASTRO, C. M. Exploração de água subterrânea no Distrito Federal. Gestão por sistema hidrogeológico. 2011, Maceio, AL: [s.n.], 2011. p. 1-18.
- MOTA, Suetônio. **Planejamento Urbano e preservação ambiental**. Fortaleza, CE: Edições UFC, 1981.
- NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; HELLER, Léo. Ciência, Tecnologia e inovação da interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento ambiental. **Eng. sanit. ambient.**, v. 10, n. 1, p. 36-48, 2005.
- NDUBISI, Foster. **Ecological Planning: a historical and comparative Synthesis**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2002.

- NEVES, Glauber das *et al.* Padrões das mudanças da cobertura da terra no ocontexto das grandes bacias hidrográficas do Distrito Federal. **Textos para Discussão**, Codeplan, nº 19. Brasília, 2016.
- NOVAES PINTO, M. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M. (Org.). . **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2ª ed. Brasília: Editora UnB, 1994. p. 511-542.
- OLIVEIRA, P T S *et al.*The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian cerrado. **Hydrol. Earth Syst. Sci**, v. 19, p. 2899-2910, 2015.
- OLIVEIRA, Vítor; MEDEIROS, Valério. Morpho: Combining morphological measures. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 43, n. 5, p. 805-825, 2015.
- PANERAI, Philippe. **Análise Urbana**. 1ª ed. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 2014.
- PITT, Robert *et al.* Compaction's Impacts on Urban Storm-Water Infiltration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 134, n. 5, p. 652-658, 2009.
- PITT, Robert *et al.* **Infiltration through compacted urban soils and effects on biofiltration design**. [S.l: s.n.], 2003. v. 6062.
- PITT, Robert *et al.* **Infiltration through Disturbed Urban Soils and Compost-Amended Soil Effects on Runoff Quality and Quantity**. . Washignton, D.C.: [s.n.], 1999.
- POSTEL, Sandra; CARPENTER, Stephen. Freshwater Ecosystem Services. In: DAILY, GRETCHEN C. (Org.). **Nature's Services: Societal Depedence on Natural Ecosystems**. Washignton, D.C.: Island Press, 1997.
- PRINCE GEORGES COUNTY. **Low-Impact Development Design Strategies: an integrated design approach**. Department of Environmental Resources of Prince Georges County. Prince Georges: [s.n.], 2000.
- SANTOS, Ronaldo Medeiros Dos; KOIDE, Sergio. Avaliação da Recarga de Águas Subterrâneas em Ambiente de Cerrado com Base em Modelagem Numérica do Fluxo em Meio Poroso Saturado. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 451-465, 2016.
- SCHUELER, T. R. **Controlling urban runoff: a pratical manual for planning and designing urban BMPs**. Washignton, D.C.: Washignton Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987.
- SHUSTER, W. D. *et al.* Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. **Urban Water Journal**, v. 2, n. 4, p. 263-275, 2005.
- SILVEIRA, Luis; USUNOFF, Eduardo J. **Groundwater: Encyclopedia of life support systems**. Oxford, UK: [s.n.], 2009.
- SIMMERS, I. **Estimation of Natural Groudwater Recharge**. Antalya, Turkey: Springer-Science+Business, 1987.
- SOUZA, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 9-18, 2012.
- SOUZA, Michelle Mota De. **Determinação das áreas de recarga para a gestão de sistema de aquífero físsuro-cárstico da região de São Sebastião/DF**. Dissertação de Mestrado. 84 p. Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, 2013.
- SWAT, Soil and Water Assessment Toll. Theoretical Documentation Version 2009. Agricultural Research Service and Texas Agricultural Experiment Station. Texas, August 2009.

- TANG, Z. *et al.* Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. **Journal of Environmental Management**, v. 76, n. 1, p. 35-45, 2005.
- TEIXEIRA, Wilson *et al.* Água Subterrânea. In: KARMANN, IVO (Org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 24.
- TUDELA, F. **El desarrollo sustentable y las metrópolis latinoamericanas**. México: El Colegio de México, 1996.
- URBONAS, B. Assessment of BPM use and technology today. **Water Science and Technology**, v. 29, p. 347-353, 1994.
- VERÍSSIMO, Monica in: UNESCO. Vegetação no Distrito Federal: Tempo e Espaço. Brasília, 2002.
- WU, Jianguo. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 209-221, maio 2014.
- WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. Paris, France: [s.n.], 2018.
- WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). **The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a sustainable World**. . Paris: [s.n.], 2015.
- YANG, G. *et al.* Hydroclimatic response of watersheds to urban intensity: an Observational and modeling-based analysis for the White River basin, Indiana. **Journal of Hydrometeorology**, v. 11, n. 1, p. 122-138, 2010.

Comitê Editorial

LUCIO RENNÓ
Presidente

MARTINHO BEZERRA DE PAIVA
Diretor Administrativo e Financeiro

BRUNO DE OLIVEIRA CRUZ
Diretor de Estudos e Pesquisas
Socioeconômicas

ANA MARIA NOGALES VASCONCELOS
Diretora de Estudos e Políticas Sociais

ALDO PAVIANI
Diretor de Estudos Urbanos e Ambientais

Abimael Tavares da Silva
Gerente de Apoio Administrativo

Alexandre Barbosa Brandão da Costa
Gerente de Estudos Ambientais

Alexandre Silva dos Santos
Gerente de Demografia, Estatística
e Geoinformação

Clarissa Jahns Schlabit
Gerente de Contas e Estudos Setoriais

Cláudia Marina Pires
Gerente de Administração de Pessoal

Francisco Francismar Pereira
Gerente Administrativo e Financeiro

Jusçanio Umbelino de Souza
Gerente de Pesquisas Socioeconômicas

Larissa Maria Nocko
Gerente de Estudos Regional e Metropolitano

Marcelo Borges de Andrade
Gerente de Tecnologia da Informação

Júlia Modesto Pinheiro Dias Pereira
Gerente de Estudos e Análises
de Promoção Social

Sérgio Ulisses Silva Jatobá
Gerente de Estudos Urbanos

Ana Paula Ferreira Cortes
Chefe da Assessoria de Comunicação Social

Revisão e copidesque

Eliane Menezes

Editoração Eletrônica

Maurício Suda

**Companhia de Planejamento
do Distrito Federal - Codeplan**

Setor de Administração Municipal
SAM, Bloco H, Setores Complementares
Ed. Sede Codeplan
CEP: 70620-080 - Brasília-DF
Fone: (0xx61) 3342-2222
www.codeplan.df.gov.br
codeplan@codeplan.df.gov.br



**Secretaria de
Planejamento,
Orçamento e Gestão**



Governo do Distrito Federal