



Universidade de Brasília – UnB  
Instituto de Geociências - IG

SEGURANÇA HÍDRICA URBANA: MORFOLOGIA URBANA E  
INDICADORES DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS, ESTUDO  
DE CASO DO DISTRITO FEDERAL, BRASIL

**TESE DE DOUTORADO**

**Nº 37**

**Kássia Batista de Castro**

**Orientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig**

Brasília – DF

2017



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**SEGURANÇA HÍDRICA URBANA: MORFOLOGIA URBANA E  
INDICADORES DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS, ESTUDO  
DE CASO DO DISTRITO FEDERAL, BRASIL**

**Kássia Batista de Castro**

**Orientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig**

Tese apresentada junto ao curso de Pós-graduação em Geociências Aplicadas (Área de concentração Geoprocessamento e Análise Ambiental) do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília para obtenção do título de doutor em Geociências.

**Brasília-DF**

**2017**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**Instituto de Geociências**

SEGURANÇA HÍDRICA URBANA: MORFOLOGIA URBANA E INDICADORES DE  
SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS, ESTUDO DE CASO DO DISTRITO FEDERAL, BRASIL

**Kássia Batista de Castro**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Henrique Llacer Roig**

**Presidente**

---

**Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista**

**Membro Interno**

---

**Prof. Dr. Carsten Lorz**

**Membro Externo**

---

**Prof. Dr. Alexandre Brandão Barbosa da Costa**

**Membro Externo**

**Brasília-DF, 2017**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelas oportunidades e conquistas. Aos meus pais Adio e Rosilda e familiares Adisson, André, Geise, Natália e Selma, por todo afeto, ensinamentos valiosos, encorajamento e apoio em todas as situações, independente de quaisquer circunstâncias.

À CAPES, pela bolsa de doutorado. Ao laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial (LSRAE) do IG/UnB pela disponibilização da infraestrutura computacional e à ESRI pela disponibilização do Pacote de ferramentas que compõem a Família ArcGis 10 por intermédio do contrato N° 2011 MLK 8733 e a IMAGEM pelo apoio e viabilidade da concretização do termo de uso e pelo suporte aos softwares.

Ao meu orientador Henrique Roig, por todo o aprendizado ao longo desses anos de convivência, por realmente orientar e fazer parte ativamente dessa pesquisa, por ser incansável na busca pelas soluções, pela paciência, por todas as oportunidades e por acreditar em mim e nessa pesquisa. A professora Marina Neumann pelo apoio, colaboração e participação no desenvolvimento da pesquisa. As professoras Tati Almeida e Rejane Ennes pelas oportunidades oferecidas e conhecimento compartilhado durante o período de desenvolvimento do trabalho.

A todos os profissionais da gestão pública que participaram da construção deste trabalho, tanto aos que colaboraram durante todo o processo, quanto aqueles que disponibilizaram seu conhecimento, tempo e empenho para realizar a ponderação dos critérios e indicadores. De maneira especial a Maria Silvia Rossi, Rogério Silva, Alexandre Brandão, Ana Paula Seraphim, Silvia Lazari, Heloísa Azevedo e Klaus Neder. A CAESB, SEMA, ADASA e a TERRACAP pela disponibilização de informações essenciais para o desenrolar da pesquisa. Aos estudantes de especialização e de iniciação científica que colaboraram no desenvolvimento dessa pesquisa ao longo de seu processo de execução Rafael Viana, Renata Silva, Natália Lôpo, Fernando Beltrão, Mateus Pereira e Kimberly Castro.

Aos colegas de laboratório Elton, Ilana, Fancielle, Leandro, Welber, Henrique, Diogo, Khalil, Marcelli, Dani, Mayara e Manoel pela companhia, troca de conhecimento e ajuda nos momentos de premência. Aos amigos da vida Alane, Ana Paula, Carol, Fernanda, Jacqueline, Karen, Larissa e Thiago pela troca de energia, sentimentos e alegria, pelos momentos de descontração e suporte nas horas difíceis.

*Aos meus pais, por todas as  
lições, dedicação e amor.*

*"A lei da mente é implacável. O que você pensa, você cria. O que você sente, você atrai. O que você acredita, torna-se realidade" (Buda).*

## SEGURANÇA HÍDRICA URBANA: MORFOLOGIA URBANA E INDICADORES DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS, ESTUDO DE CASO DO DISTRITO FEDERAL, BRASIL

Autor: Kássia Batista de Castro  
Orientador: Henrique Llacer Roig

**RESUMO:** O panorama mundial apresenta um quadro preocupante em relação aos recursos hídricos. Atualmente mais da metade da população do globo vive em áreas urbanas. Diante desse cenário, se têm buscado cada vez mais, maneiras adequadas e eficientes de utilização e gestão das águas. Desse modo, o conceito de segurança hídrica tem ganhado notoriedade. Assim, o objetivo desse trabalho foi gerar um Índice de Segurança Hídrica Urbana (ISHUrb), com vistas a auxiliar o processo de gestão territorial, dos recursos hídricos e ambientais. Para tanto, avaliou-se a morfologia urbana e os serviços ecossistêmicos, tendo como estudo de caso, a área urbana do Distrito Federal - DF. Uma das premissas foi buscar uma aproximação entre a pesquisa científica e os tomadores de decisão da gestão pública. A base conceitual concebida para a proposta do ISHUrb, foi norteada por três eixos principais: o abastecimento, os ecossistemas e os aspectos socioambientais. A construção do índice seguiu cinco etapas principais: a) elaboração do mapeamento de tipos de estruturas urbanas (UST); b) reamostragem e consolidação de dados; c) geração dos indicadores de serviços ecossistêmicos urbanos; d) elaboração dos indicadores da situação do abastecimento de água e; e) aplicação de análise multicritério para gerar o ISHUrb. Foram considerados 6 critérios principais e 21 indicadores. O índice foi gerado por meio da ponderação dos critérios e indicadores, utilizando-se o método de análise multicritério *Analytic Hierarchy Process*. Para o julgamento dessa ponderação foram convidados representantes dos principais órgãos da gestão pública do DF relacionados à gestão do território e recursos hídricos e também pesquisadores com conhecimento nesta temática. O índice foi construído com auxílio do *software AHP - Online System*, que compatibilizou a resposta dos participantes e realizou uma análise de consenso dos resultados. A análise de consenso dos julgamentos dos pesos pelo grupo de participantes foi de 76%, considerada alta, o que demonstra grande similaridade entre as respostas dos participantes. Os critérios analisados foram pontuados com níveis de importância relativamente homogêneos. Os critérios considerados de maior importância foram Ecossistemas (23%) e a Quantidade (20%). Dentre os 21 indicadores, os mais importantes, foram: coeficiente de precipitação (9,2%), qualidade do manancial (8,4%) e demanda de água (8%). Os resultados gerados para o ISHUrb variaram entre 0,27 e 0,67 para um intervalo máximo de 0 a 1. Nenhuma das regiões urbanas do DF possuem ISHUrb considerado ótimo para o ano de 2009. 90% da área apresentavam-se no limiar para a segurança da água (ISHUrb entre 0,4 a 0,6). Os maiores valores (> 0,6), ocorrem em pontos isolados. As piores situações foram evidenciadas em áreas fora da área urbana consolidada. A situação do DF atualmente é crítica em relação aos recursos hídricos e mais especificamente ao acesso à água potável. Assim, acredita-se que o indicador gerado e a metodologia proposta, podem servir como instrumento de suporte a gestão dos recursos hídricos, não só a curto, mas também no longo prazo. E principalmente para ações preditivas, que apontem os problemas mais relevantes e possibilite a partir de sua análise ações que efetivamente possam saná-los ou mitigá-los. Por último, pode-se destacar a aceitação dos órgãos governamentais para o uso das UST como um instrumento de gestão das áreas urbanas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água, UST, cidade, abastecimento, Brasília.

**URBAN WATER SECURITY: URBAN MORPHOLOGY AND ECOSYSTEM SERVICES  
INDICATORS, CASE STUDY OF THE FEDERAL DISTRICT, BRAZIL**

Author: Kássia Batista de Castro

Advisor: Henrique Llacer Roig

**ABSTRACT:** The world panorama presents a worrying picture regarding water resources. Nowadays more than half of the world population lives in urban areas. Given this scenario, we have been looking for more suitable and efficient ways to use and manage water. In this way, the concept of water security has gained more and more notoriety. Thus, the objective of this work was to generate an Urban Water Security Index (UWSI), to assess the territorial management process, water and environmental resources. For that, urban morphology and ecosystem services were evaluated, having as a case study the urban area of the Federal District - DF. One of the premises was to seek an approximation between the scientific research and the public decision makers. The conceptual basis conceived for the UWSI proposal was guided by three main axes: supply, ecosystems and socio-environmental aspects. The index construction followed five main stages: a) mapping the urban structures types (UST); b) resampling and consolidate the data; c) generate the urban ecosystem services indicators; (d) creating indicators to assess the water supply situation; e) application multicriteria analysis to generate UWSI. Six main criteria and 21 indicators were considered. The index was generated through the criteria and indicators weighting, using the Analytic Hierarchy Process. Were invited representatives of the main public agencies of the DF related to territory management and water resources and also researchers with knowledge in this theme. The index was constructed with the aid of the *AHP - Online System* software, which the participants responses were compatible and also performed a consensus analysis. It was verified that participants answers had a great similarity, with 76 % of consensus. The criteria were scored with relatively homogeneous levels of importance. The most important criteria were Ecosystems (23%) and Quantity (20%). Among the indicators, the most important were: rainfall coefficient (9.2%), wellspring quality (8.4%) and water demand (8%). The results generated for UWSI ranged from 0.27 to 0.67 (maximum range 0.0 to 1.0). None of the urban areas of the DF have a good UWSI for 2009. 90% of the area had low water security (UWSI 0.4 to 0.6). The highest values (> 0.6) occur in isolated points. The worst situations were evident in outside areas of the consolidated urban area. The DF situation is currently critical to water resources and more specifically to access drinking water. Thus, it is believed that the index generated and the proposed methodology can be used as a support tool for water resources management, not only in the short term, but also in the long term. And especially for predictive actions, which point out the most relevant problems and enable from the analysis actions that effectively can heal or mitigate them. Finally, it is possible to emphasize the acceptance of the governmental organs for the use of the UST as an instrument of management of the urban areas.

**KEY WORDS:** water, Urban Structures Types (UST), city, water supply, Brasília.



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

ANA - Agência Nacional de Águas

BPMSG AHP-OS - *Business Performance Management Singapore Analytic Hierarchy Process Online System*

CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CBH - comitê de Bacias Hidrográficas

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

DF - Distrito Federal

ES - Escoamento superficial

EU - *European Union*

GDF - Governo do Distrito Federal

GWS - *Global Water Security*.

IG - Instituto de Geociências

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPSEU - Índice de Potencial de Prestação de Serviços Ecosistêmicos Urbanos

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IQA - Índice de Qualidade da Água

IQAM - Índice de qualidade ambiental;

ISAAU - Índice da Situação do abastecimento de Água Urbano

ISHUrb - Índice de Segurança Hídrica Urbana

LSRAE - Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial

LUOS - Lei Complementar de Uso e Ocupação do Solo

MEA - *Milennium Ecosystem Assessment*

NDWAC - *National Drinking Water Advisory Council*

OBIA - *Object-Based Image Analysis*

OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONU - Organização das Nações Unidas  
PDOT - Plano Diretor de Ordenamento Territorial  
PE - Potencial a erosão.  
PSE - Potencial de Serviços Ecossistêmicos  
PSEU - Potencial de Serviços Ecossistêmicos  
PR - Potencial de recarga para o aquífero  
RA - Regiões administrativas  
SCS – *Soil Conservation Service*  
SE - Serviços Ecossistêmicos  
SEDUMA - Secretaria De Desenvolvimento Urbano E Meio Ambiente  
SEGETH - Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação  
SEMA - Secretaria de Meio Ambiente  
SEUrb - Serviços Ecossistêmicos Urbanos  
SH - Segurança Hídrica  
SIA - Setor de Indústria e Abastecimento  
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*  
TEEB - *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*  
UST - *Urban Structure types*/Tipos de Estruturas Urbanas  
UnB - Universidade de Brasília  
UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura  
UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância  
WEF - *World Economic Forum*  
WHO - *World Health Organization*  
ZEE - Zoneamento Ecológico Econômico  
2030 WRG - *2030 Water Resources Group*

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	13
1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA ABORDAGEM DE SEGURANÇA HÍDRICA .....	16
1.1 INTRODUÇÃO .....	16
1.2 OBJETIVO GERAL .....	19
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
1.4 HIPÓTESE.....	19
1.5 JUSTIFICATIVA .....	20
REFERÊNCIAS.....	21
2. NOVAS PERSPECTIVAS DO MAPEAMENTO URBANO BASEADO NA MORFOLOGIA URBANA: O ESTUDO DE CASO DO DISTRITO FEDERAL.....	23
2.1 INTRODUÇÃO .....	23
2.2 ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO, MORFOLOGIA URBANA E UST .....	26
2.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	29
2.4 RESULTADOS .....	34
2.5 DISCUSSÕES .....	39
2.6 CONCLUSÕES .....	42
REFERÊNCIAS.....	43
3. PROPOSTA DE ÍNDICE PARA QUANTIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS URBANOS .....	47
3.1 INTRODUÇÃO .....	47
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	50
3.3 RESULTADOS .....	57
3.4 DISCUSSÕES .....	68
3.5 CONCLUSÕES .....	75
REFERÊNCIAS.....	76
4. AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA NAS ÁREAS URBANAS DO DF .....	83
4.1 INTRODUÇÃO .....	83
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	86
4.3 RESULTADOS .....	97
4.4 DISCUSSÕES .....	111
4.5 CONCLUSÃO .....	116

REFERÊNCIAS.....	117
5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA CRIAÇÃO DE ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA URBANA BASEADO EM MORFOLOGIA URBANA, INDICADORES DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E DA SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	123
5.1 INTRODUÇÃO.....	123
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	126
5.3 RESULTADOS.....	132
5.4 DISCUSSÕES.....	143
5.5 CONCLUSÃO.....	150
REFERÊNCIAS.....	151
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	156
APÊNDICE A.....	158
APÊNDICE B: COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO ZONAL PARA ESTIMATIVA POPULACIONAL: ESTUDO DE CASO DAS ÁREAS URBANAS DO DISTRITO FEDERAL.....	168
INTRODUÇÃO.....	168
MATERIAL E MÉTODOS.....	170
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	177
CONCLUSÃO.....	182
REFERÊNCIAS.....	183
APÊNDICE C: ANÁLISE E DISTRIBUIÇÃO DO PADRÃO DE CONSUMO DE ÁGUA DO DISTRITO FEDERAL SEGUNDO OS TIPOS DE ESTRUTURAS URBANAS.....	186
INTRODUÇÃO.....	186
MATERIAL E MÉTODOS.....	188
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	194
CONCLUSÃO.....	202
REFERÊNCIAS.....	203

## APRESENTAÇÃO

Este documento foi elaborado como requisito para o doutoramento do programa de Pós Graduação de Geociências Aplicadas e Geodinâmicas, na área de concentração de Geoprocessamento e Análise Ambiental, do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. O texto foi escrito no formato de artigos científicos, sendo composto de seis artigos, dos quais quatro na forma de capítulos e dois apresentados como apêndices, visto que complementam as ideias da tese (Figura 1.1).

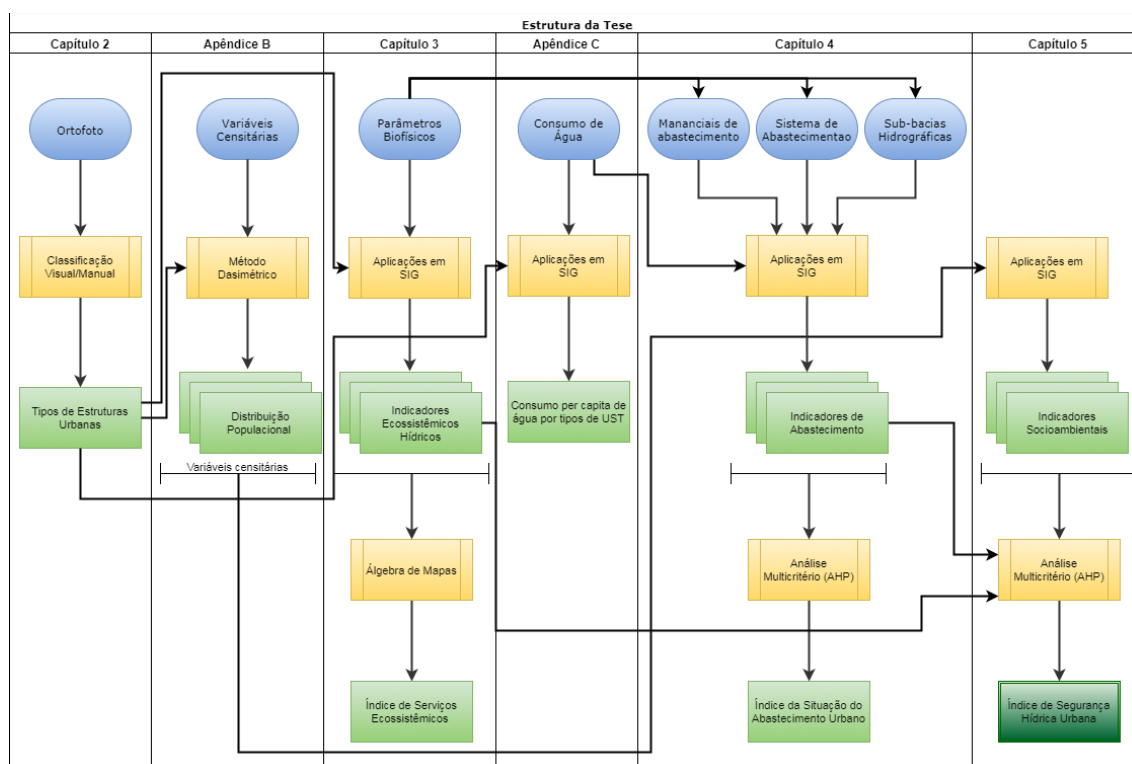


Figura 1.1: Fluxo esquemático com a proposta organizacional do projeto de pesquisa, contendo os principais dados de entrada, etapas e resultados.

O primeiro capítulo traz uma visão geral do trabalho, faz uma contextualização acerca das ideias centrais e dos principais temas desenvolvidos na tese. Aponta o objetivo geral e os específicos, as hipóteses, principais questionamentos nos quais se baseou a pesquisa e a justificativa para o tema abordado.

O segundo capítulo abrange o tema da Morfologia Urbana. Explana sobre organização e planejamento do território e a importância de se conhecer a cidade e suas particularidades. Apresenta o conceito de *Urban Structure Types* (UST) e como este pode ser utilizado como instrumento para os governantes no processo de tomada de decisão.

Apresenta o estudo de caso do mapeamento de tipos de estruturas urbanas do Distrito Federal (DF) para o ano de 2009 e suas implicações no entendimento da matriz urbana.

No terceiro capítulo são apresentados os Serviços Ecosistêmicos Urbanos Hídricos. São definidos os indicadores do potencial de cada serviço ecossistêmico urbano (PSEU) hídrico proposto. Estes foram integrados buscando-se compor um índice de prestação dos serviços ecossistêmicos (hidrológicos) urbanos (IPSEU). Este artigo busca demonstrar o impacto das diferentes composições (matrizes) urbanas - UST - para o ambiente e os recursos hídricos.

O quarto capítulo apresenta a situação do sistema de abastecimento de água urbano - gestão e características dos mananciais - e como estes refletem sobre o ambiente urbano. A proposta desse capítulo é compor um índice de fragilidade dos sistemas de abastecimento do DF, para tanto, desenvolveu-se indicadores síntese que buscam refletir essa realidade e posteriormente integrar esses indicadores por meio de análise de decisão multicritério.

Em face da atual realidade de escassez dos recursos hídricos do DF o quinto capítulo propõe um índice que revele a segurança hídrica das áreas urbanas (ISHUrb). Para tanto se utilizou de indicadores de serviços ecossistêmicos e de fragilidade dos sistemas de abastecimento de água (abordados nos capítulos anteriores), bem como de variáveis socioeconômicas, disponibilizadas pelo IBGE para o censo de 2010. A elaboração do ISHUrb foi realizada por meio de análise geográfica do tipo multicritério.

No sexto e último capítulo são discutidas as conclusões gerais do trabalho, os principais pontos limitantes e o potencial da utilização da metodologia proposta como ferramenta de análise e gestão que podem ser utilizadas pelos tomadores de decisão ou pela sociedade para acompanhar o impacto das propostas governamentais. Também foram apresentadas aspirações para trabalhos futuros.

A tese possui ainda três apêndices, o primeiro apresenta informações complementares dos capítulos já mencionados. O segundo traz um artigo sobre a técnica de desagregação zonal utilizada no trabalho para desagregar as informações oriundas do censo de 2010. A abordagem empregada foi o método dasimétrico. Para este artigo foram empregadas diferentes variações do método para a variável população, e então, foram comparados os resultados.

O último artigo presente nos apêndices mostra o estudo de caso do consumo de água urbano do Distrito Federal tendo como agrupamento analítico os diferentes tipos de

estruturas urbanas (UST). A partir deste, foi possível analisar as relações entre os diferentes padrões de UST e as variáveis demográficas e socioeconômicas.

# 1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA ABORDAGEM DE SEGURANÇA HÍDRICA

## 1.1 INTRODUÇÃO

Grande parte do mundo sofre com a pressão e a significativa escassez de água, e a situação tende a piorar a medida que as populações globais, as economias e as taxas de consumo continuam a crescer (ONU, 2017). Além disso, há evidências de alterações no sistema global (ciclo) da água de forma significativa, sem o conhecimento adequado de seu funcionamento e de como o mesmo responde às mudanças (Global Water System Project, 2012).

Apesar da imensa evolução em relação ao processo de gestão da água, muito ainda precisa ser feito e entendido, principalmente no que diz respeito ao impacto das áreas urbanas, em que as transformações acontecem de maneira mais intensa e, em grande parte das vezes, não vêm acompanhadas por uma gestão eficiente ou até pela falta da mesma. Em face disso, inúmeros estudos têm surgido buscando uma melhoria na qualidade ao acesso a esse bem (Djordjevića *et al.*, 2011; Höfer, 2013; Rodrigues, 2014; Metson *et al.*, 2015).

Neste cenário de grandes impactos sobre os recursos hídricos e os ecossistemas, e ao mesmo tempo pela busca da melhoria do bem estar humano, várias discussões e trabalhos têm sido realizados, onde tem se proposto o tema "*Water Security*" (tradução livre para Segurança Hídrica) como um modo de se tratar estes assuntos. Como todo novo conceito ainda há um pouco de confusão em sua definição (Dinar, 2002; Lundqvist *et al.*, 2003; Ratnaweera *et al.*, 2006; Allouche, 2011; Melo, 2016), porém, de uma forma geral, estas são bastante similares e convergem para a mesma ideia central. A partir de vários estudos a ONU (2013), por meio de uma visão ampla, considera Segurança Hídrica (SH) como:

*"a capacidade de uma população para (de) salvaguardar o acesso sustentável à quantidades adequadas de água com qualidade aceitável para sustentar modos de vida, bem-estar, desenvolvimento socioeconômico, para (de modo a) garantir a proteção contra a poluição e os desastres relacionados a água, conservação e manutenção dos ecossistemas em um estado de estabilidade política".*

De acordo com essa abordagem, é necessário se pensar na água não apenas sobre a ótica do abastecimento, mas também na perspectiva de preservação e conservação para garantir a manutenção dos ecossistemas e, por conseguinte a continuidade do ciclo



hidrológico. Assim, este trabalho aborda não somente relações de quantidade e qualidade das águas dos mananciais que servem como fonte para o fornecimento de água. Acredita-se que, muito além do provimento de água para a população, é necessário compreender a dinâmica dos ecossistemas no qual essas fontes se inserem e como estas são impactadas buscando a garantia do bem estar humano sem a degradação acentuada dos ecossistemas.

Seguindo essa linha de raciocínio, esse trabalho se embasa em três eixos principais: segurança hídrica, serviços ecossistêmicos e morfologia urbana. O objetivo principal é propor um índice que traduza numericamente, mesmo que ainda de forma semi-empírica, a situação da segurança hídrica (em seu sentido amplo) nas áreas urbanas do Distrito Federal - DF. Para tanto, entende-se como de suma importância à compreensão do espaço e de como esse se organiza, considerando, portanto, os espaços urbanos como um ecossistema complexo.

Assim, a Morfologia Urbana se insere como possibilidade de uma visão mais adequada da dinâmica da cidade. Trata-se do estudo da morfologia, ou seja, a respeito da forma e/ou padrão urbano (Heineberg, 2007). Para retratar essa visão da "forma/padrão" da cidade foi adotada a abordagem "*Urban Structure Type*" (UST, tradução livre - Tipos de Estruturas Urbanas - Banzhaf & Höfer, 2012). Em síntese, é um conceito que descreve regiões espacialmente "homogêneas" em termos de porcentagem e relação entre os tipos de cobertura do solo/terra (água, edificações, espaços verdes, áreas impermeáveis, solo exposto, etc), tipo de uso (residencial, comercial, industrial, público) e características físicas (tamanho de construção, densidade, arranjo) na escala de "vizinhança" (*neighborhood*) (Hetch *et al.*, 2013), como será abordado no capítulo 2.

O processo de compreensão do espaço urbano nos permite explorar suas potencialidades e integrar características a essas áreas (Deilmann, 2007; Füssel, 2007). Identificar as relações desses padrões com os aspectos físicos e biológicos nos permite avaliar quais os aspectos positivos e quais os impactos que essas áreas podem causar ao meio em que estão inseridas. Para tanto, optou-se pelo o uso do conceito de Serviços Ecossistêmicos, para avaliar ambientalmente como a área urbana do DF se comporta. De acordo com MEA (2005), os serviços ecossistêmicos (SE) são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, que são complexos em estrutura e função, e variáveis em tamanho, dinâmica e tempo.

Os serviços ecossistêmicos são importantes para as atividades econômicas porque provêm os recursos necessários à produção de bens e serviços econômicos e

forneem os serviços/bens básicos para manutenção da espécie humana, tais como alimento, água pura e outros (Wu, 2013). Em outras palavras, o bem-estar humano é profunda e indissociavelmente dependente dos serviços ecossistêmicos, que em última instância, suportam as condições de vida das espécies humanas e não humanas (Andrade *et al.*, 2012), garantindo assim a sobrevivência do planeta.

Com uma visão mais acurada das áreas urbanas e dos serviços ecossistêmicos que essas áreas prestam, e somando a isso, a qualificação e quantificação das questões hídricas (abastecimento, demanda, escassez, qualidade, acesso), que serão denominadas aqui como questões a respeito da situação do abastecimento, considera-se ser possível obter uma análise mais robusta da questão da segurança hídrica. Sendo possível alcançar dessa forma, os aspectos de continuidade e manutenção da produção de água, bem como dos ecossistemas, pressuposto presente no conceito descrito pela ONU (2013).

Tendo como ponto de partida esta contextualização, o que se busca, é a partir destes conceitos (UST, SE, SH) subsidiar os tomadores de decisão, pois um dos maiores desafios nesta área é realizar a integração do conhecimento gerado na academia com as ações públicas voltadas para a gestão do território, em especial o urbano. Diversos trabalhos apontam para essa lacuna (Perring *et al.*, 2011; Turnhout, *et al.*, 2013; Sitas *et al.*, 2014; Langemeyer *et al.*, 2016) e buscam alternativas que visam agregar os estudos científicos e o processo de tomada de decisão (Koscheke *et al.*, 2012; Fürst *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014; Grêt-Regamey *et al.*, 2016).

O Brasil também se insere nesse contexto, e muito do que é produzido acaba se perdendo e não sendo empregado efetivamente para dar suporte à governança. Sendo assim, uma das premissas desse trabalho é gerar um produto/processo que possa auxiliar na gestão, tanto voltada para a problemática hídrica e ambiental, quanto para a organização do território.

Aqui, cabe prever que estamos falando de dois pontos importantes, a metodologia e o resultado em si, pois considerando a dinâmica do ambiente o resultado é mutável e de certo modo torna-se obsoleto. Mas o método pode ser novamente aplicado desde que os conceitos sejam absorvidos pelo poder público. Em destaque para a formulação das políticas relacionadas aos planos ZEE (Zoneamento Ecológico Econômico) e o PDOT (Plano Diretor de Ordenamento Territorial), pois são instrumentos importantes para a gestão.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Elaborar um Índice de Segurança Hídrica Urbana (ISHurb) para o Distrito Federal por meio da integração do conceito de Morfologia Urbana (UST) e de Indicadores de Serviços Ecosistêmicos (SE), com vistas a auxiliar o processo de gestão territorial, dos recursos hídricos e ambientais.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adaptar o conceito de UST para a geração de mapa do padrão urbano para o DF, tornando-o capaz de ser utilizado por vários segmentos da gestão;
- Propor indicadores de Serviço Ecosistêmicos, Socioambientais e de Abastecimento que possam auxiliar para o planejamento e gestão dos recursos hídricos e território;
- Compreender a dinâmica espacial dos serviços ecosistêmicos urbanos e seus impactos nos recursos hídricos com vistas a analisar o ISHurb;
- Apresentar e discutir com os gestores públicos pertinentes toda a abordagem metodológica para a definição do ISHurb;

## 1.4 HIPÓTESE

O entendimento a cerca das características de quantidade e qualidade das águas diretamente relacionadas às bacias e mananciais que são utilizados para abastecer a população ajuda a elucidar as questões relacionadas à escassez e à demanda para sustentar modos de vida, bem-estar, desenvolvimento socioeconômico e garantir a proteção contra a poluição.

A utilização do mapeamento do padrão urbano por Tipos de Estruturas Urbanas (UST), que representam unidades homogêneas do espaço, em detrimento dos mapeamentos tradicionais de uso e ocupação da terra possibilita uma representação mais adequada do ambiente urbano e de suas particularidades. Com um retrato mais fiel das áreas urbanas, é possível realizar a integração de indicadores de serviços ecosistêmicos, que auxiliam no entendimento de como o uso da terra está impactando a produção destes serviços e provisão e manutenção dos recursos hídricos, nessas áreas.

Dessa maneira, com indicadores voltados para aferir as condições do abastecimento (qualidade e quantidade) e indicadores que apresentam os serviços ecossistêmicos urbanos prestados, torna-se possível à criação de um índice de segurança hídrica urbana (ISHUrb) fundamental para o apoio a tomada de decisão na gestão pública.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

O Distrito Federal está localizado em uma área fisiográfica onde há importantes nascentes, sendo cabeceira de importantes bacias. Em função da proximidade das nascentes, os mananciais possuem baixa disponibilidade hídrica para atender ao contingente populacional (ANA, 2010). Somado a isso, se têm o aumento desordenado da população, de 17% entre 2010 e 2017, sendo esperado que a população atinja 3,5 milhões em 2025 e 3,7 em 2030 (IBGE, 2013). De acordo com o último censo, aproximadamente 96% dos habitantes do DF residiam na área urbana (IBGE, 2010). A demanda hídrica para uso urbano é a maior da região e corresponde a 80% das captações efetiva (CODEPLAN, 2015).

O crescimento não planejado na área urbana gera um impacto não somente para a demanda de abastecimento populacional, mas também altera a paisagem natural causando impactos para o meio ambiente e atinge diretamente os recursos hídricos. Primeiramente em função da modificação na dinâmica do ciclo hidrológico e, posteriormente, em relação à poluição dos cursos d'água e lençol freático, devido às práticas inadequadas realizadas nessas áreas.

Em decorrência dos fatores citados, hoje o DF vivencia uma de suas piores crises hídricas, em que os principais reservatórios encontram-se abaixo do seu limite de capacidade e as previsões de recuperação para o abastecimento no período da seca é pessimista (Distrito Federal, 2017). Tendo como referência esse cenário, é de extrema importância que cada vez mais o tema seja discutido e estudado, assim, acredita-se que esse trabalho se insere nessa perspectiva, buscando embasar o conhecimento sobre essas questões para dar suporte aos gestores, das áreas envolvidas, na tomada de decisão. Portanto, um estudo que vise o conhecimento das áreas urbanas, o uso dos recursos hídricos e seus respectivos impactos na oferta dos serviços ecossistêmicos é relevante e oportuno, desde que utilizados pelos órgão competente.

## REFERÊNCIAS

- ALLOUCHE J. 2011. The sustainability and resilience of global water and food systems: Political analysis of the interplay between security, resource scarcity, political systems and global trade. Elsevier Ltd. Food Policy. v. 36, p. S3-S8.
- ANA, Agência Nacional de Águas. 2010. Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: Resultados por estado. ANA/Engecorps/Cobrape - Brasília. v2. 90p. 2010.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. ;FASIABEN, M .C. R.; GARCIA, J. R.2012. Dinâmica do uso do solo e valoração de serviços ecossistêmicos: notas de orientação para políticas ambientais. Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR).v. 25, p. 53-71.
- DEILMANN, C. 2007. High-resolution damage simulation flood damage to residential properties. In: J. Schanze (ed.).Flood risk management research from extreme events to citizens involvement. Proceedings European Symposium of Flood Risk Management Research. 2007. Dresden, Germany. p. 90-96.
- DINAR, S. 2002. Water, Security, Conflict and Cooperation. SAIS Review. Summer-Fall 2002. v. 22, n. 2, p. 229-253.
- DISTRITO FEDERAL. 2017. Plano integrado de enfrentamento a crise hídrica. Governo de Brasília. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/plano-integrado-de-enfrentamento-a-crise-hidrica-governo-de-brasilia.pdf>>. Acesso em Outubro de 2017.
- DJORDJEVIĆA, S.; BUTLERA, D.; GOURBESVILLE, P.; MARKC, O.; PASCHED, E. 2011. New policies to deal with climate change and other drivers impacting on resilience to flooding in urban areas: the CORFU approach. Environmental Science and Policy. v. 14, i. 7, p. 864-873.
- FÜSSEL, H. M. 2007. Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research. Global Environment Change.v. 17, p. 155-167.
- FÜRST, C.; OPDAM, P.; INOSTROZA, L.; LUQUE, S. 2014.Evaluating the role of ecosystem services in participatory land use planning : proposing a balanced score card. Landscape Ecology. v. 29, n. 8, p. 1435-1446.
- GLOBAL WATER SYSTEM PROJECT. 2012. Recomendações para a Rio +20: Segurança Hídrica para um planeta sob pressão. In: Planet Under Pressure. Londres, 2012.
- GRÊT-REGAMEY, A.; ALTWEGG, J.; SIRÉNA, E. A.; STRIEN, M. J.; WEIBEL, B. 2016. Integrating ecosystem services into spatial planning - A spatial decision support tool. Landscape and Urban Planning, <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.003>.
- HECHT, R.; HEROLD, H.; MEINEL, G.; BUCHROITHNER, M. 2013. Automatic derivation of urban structure types from topographicmaps by means of image analysis and machine learning. Leibniz Institute ofEcological Urban and Regional Development.Germany, Leibniz, Germany. 18p.
- HEINEBERG, H. 2007.German geographical urban morphology in an international andinterdisciplinaryframework.Urban Morphology. v. 11, n. 1, p. 5-24.
- HÖFER, R. 2013. Thesis - Remote sensing based derivation of urban structure types to assess hydro-meteorological impacts in highly dynamic urban agglomerations in Latin America. Freiburg im Breisgau, German: Faculty of Forestand Environmental Sciences, Albert-Ludwigs-Universitã, Disponível em: <[http://www.freidok.unifreiburg.de/volltexte/9218/pdf/ReneHoefer\\_printversion.pdf](http://www.freidok.unifreiburg.de/volltexte/9218/pdf/ReneHoefer_printversion.pdf)>.Acesso em: Junho de 2015.
- KOSCHKE, L.; FÜRST, C.; FRANK, S.; MAKESCHIN, F. 2014. A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. Ecological Indicators. v. 21, p. 54–66.
- LANGEMEYER, J.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; HAASE, D.; SCHEUER, S.; ELMQVIST, T. 2016. Bridging the gap between ecosystem service assessments and land-use planning through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). Environmental Science & Policy, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.02.013>.
- LUNDQVIST, J. APPASAMY, P. PRAKASH, N. 2003. Dimensions and approaches for Third World city water security. Philos Trans R Soc Long B Biol Sci. v. 358, p. 1985-1996.

- MEA, Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: current state and trends. Island Press, Washington, DC.
- METSON, G. S.; IWANIEC, D. M.; BAKER, L. A.; BENNET, E. M.; CHILDERS, D. L.; CORDELL, D.; GRIMM, N. B.; GROOVE, J. M.; NIDZGORSKI, D. A.; WHITE, S. 2015. Urban phosphorus sustainability: Systemically incorporating social, ecological, and technological factors into phosphorus flow analysis. *Environment Science and Policy*. v. 47, p. 1-11.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2013. Water Security & the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief. UN Water. Disponível em: <[http://WWW.unwater.org/downloads/analytical\\_brief\\_\\_oct2013\\_web.pdf](http://WWW.unwater.org/downloads/analytical_brief__oct2013_web.pdf)>. Acesso em Setembro de 2014.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2017. The united nations world water development report 2017: wastewater the untapped resource. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002471/247153e.pdf>>. Acesso em Setembro 2017.
- PERRINGS, C., DURAIAPPAH, A., LARIGAUDERIE, A., & MOONEY, H. 2011. The biodiversity and ecosystem services science–policy interface. *Science*, 331, 1139–1140.
- RATNAWEERA, P.; KULATUNGA, G.; SRIYANANDA, H. 2006. Modelling of Water Resources: Water Balance, Water Use and Water Security. In: 32nd WEDC International Conference, Colombo, Sri Lanka. p. 271-274.
- RODRIGUES, D. B. B. 2014. Assessment of water security using conceptual, deterministic and stochastic frameworks. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 108p.
- SITAS, N.; PROZESKY, H. E.; ESLER, K. J.; REYERS, B. 2014. Exploring the Gap between Ecosystem Service Research and Management in Development Planning. *Sustainability*, v. 6, p. 3802-3824.
- TURNHOUT, E., STUIVER, M., KLOSTERMANN, J., HARMS, B., & LEEUWIS, C. 2013. New roles of science in society: Different repertoires of knowledge Brokering. *Science and Public Policy*, 40, 354–365.
- WANG et al. 2014. Perspectives on narrowing the action gap between landscape science and metropolitan governance: Practice in the US and China. *Landscape and Urban Planing*. v. 125, p. 329-334.
- WU, J. 2013. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*. v. 28, n. 6, p. 999-1023.

## 2. NOVAS PERSPECTIVAS DO MAPEAMENTO URBANO BASEADO NA MORFOLOGIA URBANA: O ESTUDO DE CASO DO DISTRITO FEDERAL

### 2.1 INTRODUÇÃO

A transferência da população para as grandes cidades tem crescido em escala alarmante (Taubenbock *et al.*, 2012). Em 1900 eram apenas 13% da população mundial (220 milhões). Em 50 anos a população urbana triplicou (732 milhões em 1950). Em 2007 mais da metade da população mundial (3,3 bilhões) morava nas cidades (Mills, 2007). A perspectiva é que em 2030 cerca de 60% da população seja urbana e que a taxa de crescimento nos países menos desenvolvidos seja quatro vezes mais rápida que nos países desenvolvidos (3.9 bilhões vs. 1 bilhão, ONU, 2012).

Neste contexto, vários estudos têm constatado a estreita relação entre o crescimento urbano e problemas socioeconômicos e ambientais (Djordjevića *et al.*, 2011; Kamusoko & Gamba, 2015; Wei *et al.*, 2015; Baró *et al.*, 2015; Zevenbergen *et al.*, 2015; Metson *et al.*, 2015), impactando assim o bem estar humano e a prestação de serviços ecossistêmicos (Haase & Rall, 2014; Haase *et al.*, 2014).

Além desses, vários estudos também têm demonstrado que o mapeamento do padrão e forma de ocupação do espaço urbano (*fabric* - arranjo), conhecido como morfologia urbana (Heineberg, 2007), é fundamental para o entendimento destes problemas e a busca por soluções (Steenefeld *et al.*, 2011; Allan *et al.*, 2013; Ariza-Villaverde *et al.*, 2014; Serrald *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2016), em detrimento dos métodos tradicionais de mapeamento do uso urbano (Raith, 2000).

Segundo Haase & Rall (2014) uma visão estrutural/funcional do território é fundamental para um entendimento mais realista da dinâmica urbana e dos seus efeitos sobre o bem estar humano e o sistema ambiental. Esta abordagem permite a extração, de indicadores ecossistêmicos urbanos (Dobbs *et al.*, 2014; McPhearson *et al.*, 2014; Turner *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014), necessários para a busca das soluções sociais e ambientais.

Dessa forma, o entendimento da trama urbana tem contribuído para aprimorar as possibilidades de análise, a partir de um novo paradigma sobre a cidade, baseada em uma análise ecossistêmica (Heiden *et al.*, 2012), constituindo-se assim, como um instrumento poderoso para o planejamento das cidades (Jones & Larkham, 1991; Rego & Meneguetti,

2011; Oliveira e Monteiro, 2014). Este tipo de estudo sobre as formas das cidades busca analisar e sistematizar a cidade enquanto um objeto concreto cuja evolução física, ambiental e social pode ser acompanhada e as possibilidades existentes ou futuras possam ser apontadas (Kruger, 1996).

Apesar desta evolução conceitual no entendimento do espaço urbano e dos seus desdobramentos no processo de entendimento dos problemas sócio-ambientais, ainda existe uma clara distância entre os trabalhos científicos e a sua aplicação no processo de gestão e planejamento governamental das cidades, ou seja, nas políticas públicas (Wang *et al.*, 2014; Mascarenhas *et al.*, 2015; Gret-Regamey *et al.*, 2016; Langemeyer *et al.*, 2016).

Este fato é ainda mais evidente nos países da América Latina (Pickett *et al.*, 2001, Pauchard *et al.*, 2006; Banzhaf *et al.*, 2009; Banzhaf & Höfer, 2012; Höfer 2013), em que o processo de mapeamento do uso urbano segue padrões tradicionais (Barros, 2004), apresentando o delineamento do uso de maneira geral e muito ampla, sem considerar diferentes características que compõe cada classe e seus relacionamentos espaciais, limitando de certa forma, a potencialidade de utilização desse dado (Raith, 2000, Heiden *et al.*, 2012; Höfer, 2013; Haase & Rall, 2014).

Para o caso específico do Brasil, e em particular do Distrito Federal (onde está situada Brasília, a Capital do país), os planejadores ainda utilizam mapas de uso e ocupação do solo com uma visão tradicional (Fontoura, 2013; Honda *et al.*, 2015; Fernandes *et al.*, 2016; Araújo Jr. & Tavares Jr. 2017). Além disso, os instrumentos de gestão como o PDOT<sup>1</sup> (Plano diretor de Ordenamento Territorial) e o ZEE<sup>2</sup> (Zoneamento Econômico Ecológico), que definem as diretrizes do que pode ser feito dentro do território, não tem demonstrado grande eficácia, pois na grande maioria das vezes, o planejamento proposto está sempre um passo atrás da realidade local (Severo, 2014), por

---

<sup>1</sup>O Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) é o instrumento básico da política territorial e de orientação aos agentes públicos e privados que atuam na produção e gestão das localidades urbanas, de expansão urbana e rural do território do Distrito Federal. Segundo a Lei Orgânica do DF, art. 31, o Plano Diretor abrangerá todo o espaço físico do Distrito Federal e regulará, basicamente, a localização dos assentamentos humanos e das atividades econômicas e sociais da população.

<sup>2</sup> O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente regulamentado pelo Decreto Federal nº 4.297/2002. Tem por objetivo, em linhas gerais, viabilizar o desenvolvimento sustentável de determinada região a partir da compatibilização de suas características ambientais e socioeconômicas. Para tanto, se baseia em diversos diagnósticos e análises técnicas – bem como em cenários futuros –, que visam à proposição de diretrizes gerais e específicas para unidades territoriais homogêneas.



não conseguirem retratar a dinâmica e a funcionalidade urbana e sua relação com as condições ambientais vigentes.

A dissonância entre os critérios e pontos de vistas dos gestores (*Stakeholder Strategies*), no caso do Distrito Federal, tem dificultado o processo de gestão e planejamento integrado (Severo 2014; Costa & Steinke, 2014), reforçando a distância entre o proposto e o real para a cidade. Este fato propiciou a busca de novas abordagens para o mapeamento dos padrões urbanos, buscando uma sinergia entre os tomadores de decisão nas várias esferas governamentais, a partir do uso da morfologia urbana, ou seja, uma análise do arranjo dos elementos que compõem a cidade, denominado *Urban Structure Type* (UST - Banzhaf & Höfer, 2008). Este estudo, buscando uma visão mais integrada, iniciou-se com o projeto "*Integrated Water Resource Management In Central Brazil*" desenvolvido em parceria entre Brasil e Alemanha, conhecido como AGUA-DF (Lorz et al, 2014), que teve os recursos hídricos como mote para a discussão do uso do território.

Deste modo, considerando o exposto, o objetivo desse trabalho foi propor uma nova dinâmica metodológica para a construção de mapa de uso urbano a partir da participação dos tomadores de decisão, buscando entender as relações espaciais entre os elementos urbanos por meio do conceito *Urban Structure Type*. Todo o processo de construção desta nova abordagem foi desenvolvido contando com a participação de técnicos e gestores do poder público do Distrito Federal (Secretaria do Meio Ambiente - SEMA, Companhia de Planejamento - CODEPLAN e Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação - SEGETH) buscando uma análise mais eficiente e uma validação do processo, mas principalmente construir um modelo que possa servir de ponto de ligação entre os gestores (*Stakeholder Strategies*) na busca de uma linguagem comum de comunicação.

Neste contexto, a hipótese do estudo é que o conjunto de potencialidades associado ao método de trabalho pode trazer elementos diferenciais à tomada de decisão, tanto no âmbito do planejamento territorial, quanto no âmbito da gestão dos espaços urbanos. O valor agregado deste método, como instrumento de suporte à tomada de decisão no âmbito das políticas públicas, dar-se-á por meio da aferição da natureza e intensidade dos impactos ambientais e sociais associados aos padrões UST no DF. Já no âmbito do planejamento territorial e urbano, o conhecimento da natureza e intensidade

dos impactos ambientais e sociais intrinsecamente associados a cada padrão *Urban Structure Type* (UST), possibilita a realização de análises preditivas do território.

Esta abordagem pode permitir definir as perdas ambientais e socioeconômicas, bem como permitir verificar os padrões urbanos que tem ajudado na melhoria da qualidade de vida e o bem-estar humano, para cada situação ambiental. Estes benefícios à população humana derivados de ecossistemas são conhecidos hoje como serviços ecossistêmicos urbanos (Haase *et al.*, 2014).

## 2.2 ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO, MORFOLOGIA URBANA E UST

No planejamento urbano se faz necessário a realização de estudos do uso e ocupação da terra, com a caracterização quantitativa ou qualitativa do território (Iallenni *et al.*, 2014; Happ *et al.*, 2015). A visualização dos fatos no espaço, melhora a compreensão das interações existentes e aponta as ações necessárias a serem tomadas pelos gestores (Sebusiani & Bettine, 2011).

O mapeamento de uso e ocupação da terra, tradicionalmente, apresenta o delineamento do território de maneira geral e muito ampla (figura 2.1), sem considerar diferentes características que compõe cada classe, limitando a potencialidade de utilização desse dado, principalmente quando se trata de mapeamento do uso urbano (Raith, 2000). Por outro lado, o advento de novos sensores remotos e processamento digital de imagens como *Object-Based Image Analysis* (OBIA - Baschke, 2010; Baschke *et al.*, 2014 ) permitem identificar os menores elementos que constituem o padrão urbano (ex. edifícios, ruas, vegetação etc, figura 2.2). Assim possibilita a geração de mapeamentos muito específicos, ao nível do elemento estruturante (Figura 2.1)




Exemplo	Escala	Nível de Generalização	Avaliação
	Uso e Ocupação do solo Urbano	Regional	Dinâmicas urbanas: Processos de uso (sub-urbanização) Impactos naturais Perigos naturais
	Morfologia Urbana	Ampla	Estrutura de biótopo; Estrutura de assentamento.
	Tipo de Estrutura Urbana	Intermediário	Grau de impermeabilidade; Grau de estrutura mista ou homogênea; Potenciais no uso de estrutura local; Qualidade Ambiental.
	Elemento da Estrutura	Local (específico)	Dinâmicas urbanas: Construção de casas, demolições de construções. (Prevenção de) Desastres: Ecológico/vulnerabilidade; Econômica e resiliência. Desastres: perdas/evacuação de pessoas.

Figura 1.1: Análise escalar do espaço urbano (modificado de Wickop, 1998; Banzhaf & Höfer, 2008).

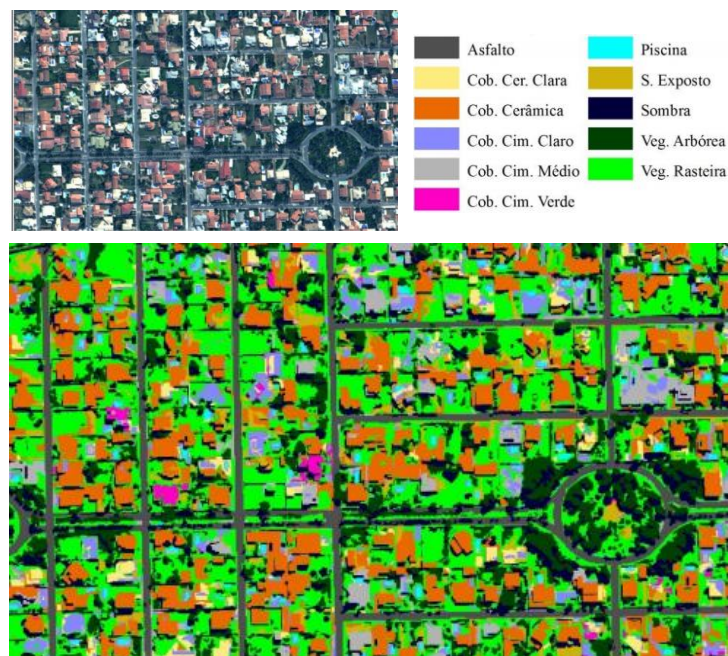


Figura 2.2: Mapeamento dos menores elementos que constituem o espaço urbano e podem ser utilizados para a classificação da UST (Fonte: Passo, 2013).

Entretanto, as inter-relações que descrevem o metabolismo urbano ocorrem em escala intermediária (figura 2.1), permitindo assim, compreender características físicas e espaciais de toda a matriz urbana, ou seja, a organização do espaço urbano (Heineberg, 2007). Este tipo de visão se constitui em um instrumento poderoso no entendimento e no planejamento da cidade pelo poder público (Jones & Larkham, 1991; Rego & Meneguetti, 2011).

É neste contexto, que se encontra o conceito de UST (*Urban Structure Type*). Embora não exista uma definição formal na literatura científica, segundo Wickop et al., (1998) e Banzhaf & Höfer (2008) a UST agrega objetos únicos em um nível de bairro e fornece informações para essa agregação, como por exemplo, na quantidade e no tipo de espaços verdes, grau de impermeabilidade, tipo de construção e uso da terra.

Em síntese, é um conceito que busca definir/descrever regiões “homogêneas” espacialmente em termos da relação (composição e arranjo) entre os tipos de elementos básicos (figura 2.2), e outras características físicas, como tamanho da construção, taxa de ocupação e arranjo (Haggag & Ayad, 2002; Tang, 2007; Hetch *et al.*, 2013), figura 2.3.

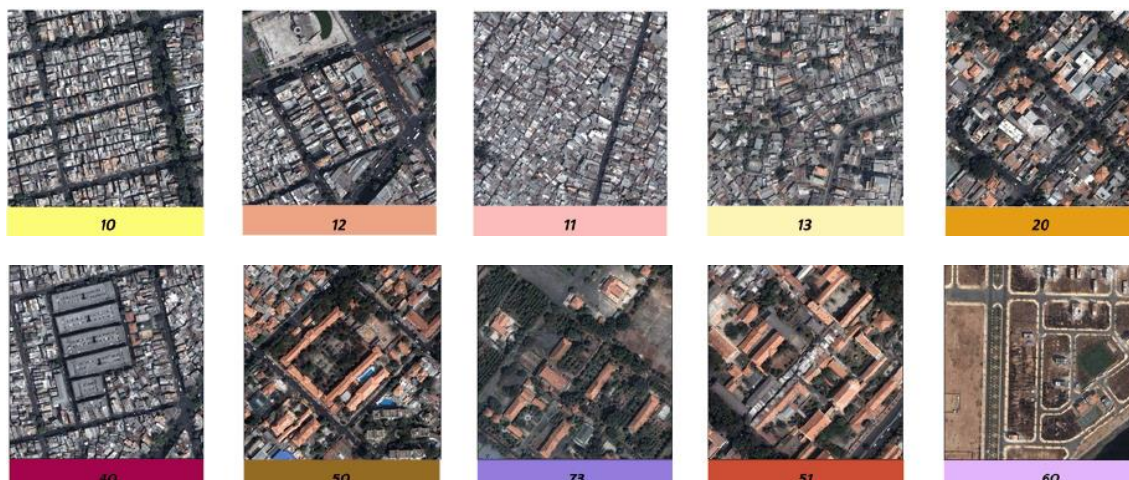


Figura 2.3: Padrões urbanos baseados nas características físicas como tipo e tamanho das construções, taxa de ocupação e arranjo (Fonte: Moon *et al.*, 2009).

Assim, a UST serve como indicador para diferentes análises relevantes para o bem-estar humano e ambientais, tais como, indicadores de exposição e resiliência, como redução da temperatura (Weber *et al.*, 2014) e a melhoria na qualidade do ar (Moon *et al.*, 2009). Ao mesmo tempo, também fornece uma interface estratégica para o desenvolvimento de cenários urbanos e priorização no planejamento de adaptação e

mitigação urbana (Storchand & Schmidt, 2006; Deilmann, 2007; Taubenböck *et al.*, 2008; Moon *et al.*, 2009; Krellenberg *et al.*, 2011; Schanze *et al.*, 2012; Höfer, 2013).

## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção irá apresentar a localização da área de estudo, bem como a abordagem escolhida para realizar o mapeamento de tipos de estruturas urbanas para o DF. Para tanto, serão apontadas as etapas percorridas e quais dados foram utilizados na execução da pesquisa.

### 2.3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal-DF está localizado entre os paralelos de 15°30' e 16°03' de latitude sul e os meridianos de 47°25' e 48°12' de longitude oeste, no Planalto Central do Brasil e ocupa área de 5.814 km<sup>2</sup>. Compreende a unidade da federação onde se situa a capital do país (Figura 2.4). A área considerada urbana, de acordo com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT - lei distrital nº803/2009) corresponde a 1.179,37 km<sup>2</sup> totalizando 20,33% do território. O DF é subdividido em 31 Regiões Administrativas.

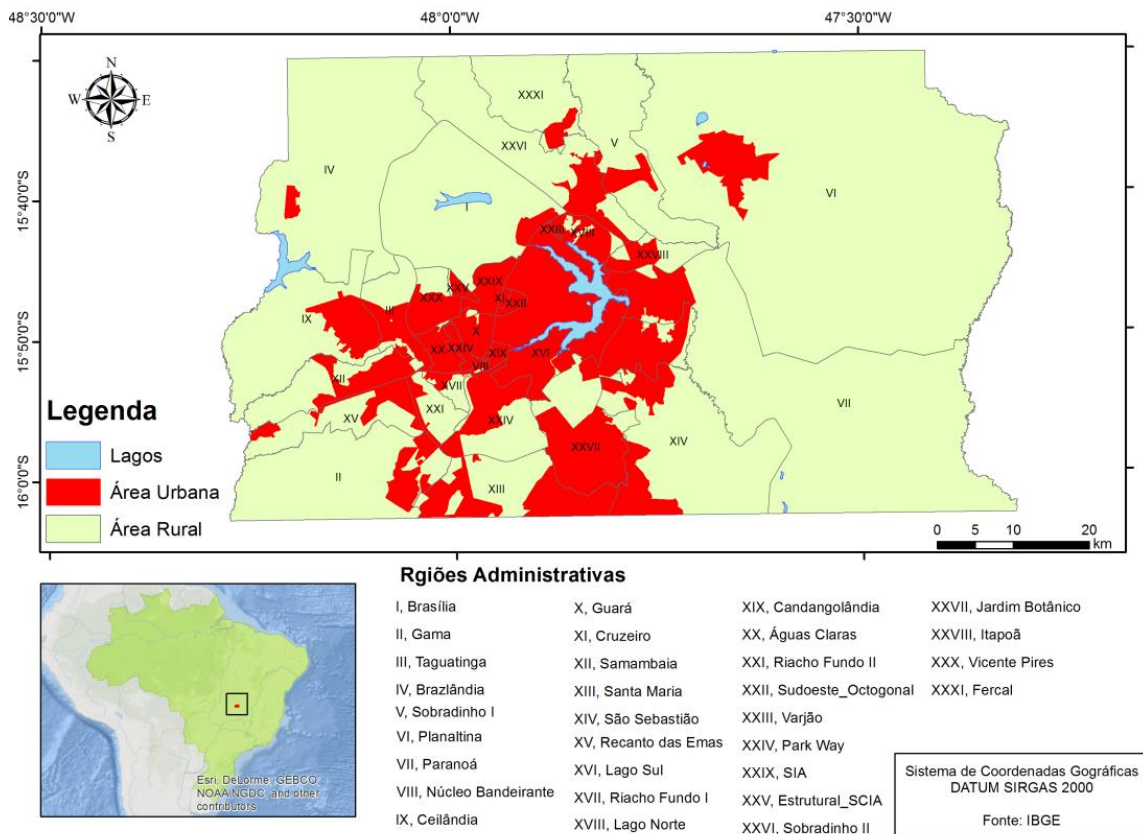


Figura 2.4: Localização da área urbana do Distrito Federal e suas Regiões Administrativas.

### 2.3.2 ETAPAS E PROCEDIMENTOS

Para que o resultado desejado fosse alcançado, ou seja, a utilização do mapeamento em si, bem como da abordagem metodológica pelo poder público, o trabalho foi apresentado e discutido com segmentos do setor público do DF, com destaque para a Secretaria de Meio Ambiente do DF (SEMA), a Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (SEGETH) e da Companhia de Planejamento do DF (CODEPLAN). O fluxograma da figura 2.5 exemplifica as etapas aplicadas para o desenvolvimento do mapeamento de tipos de estruturas urbanas (UST) do DF.

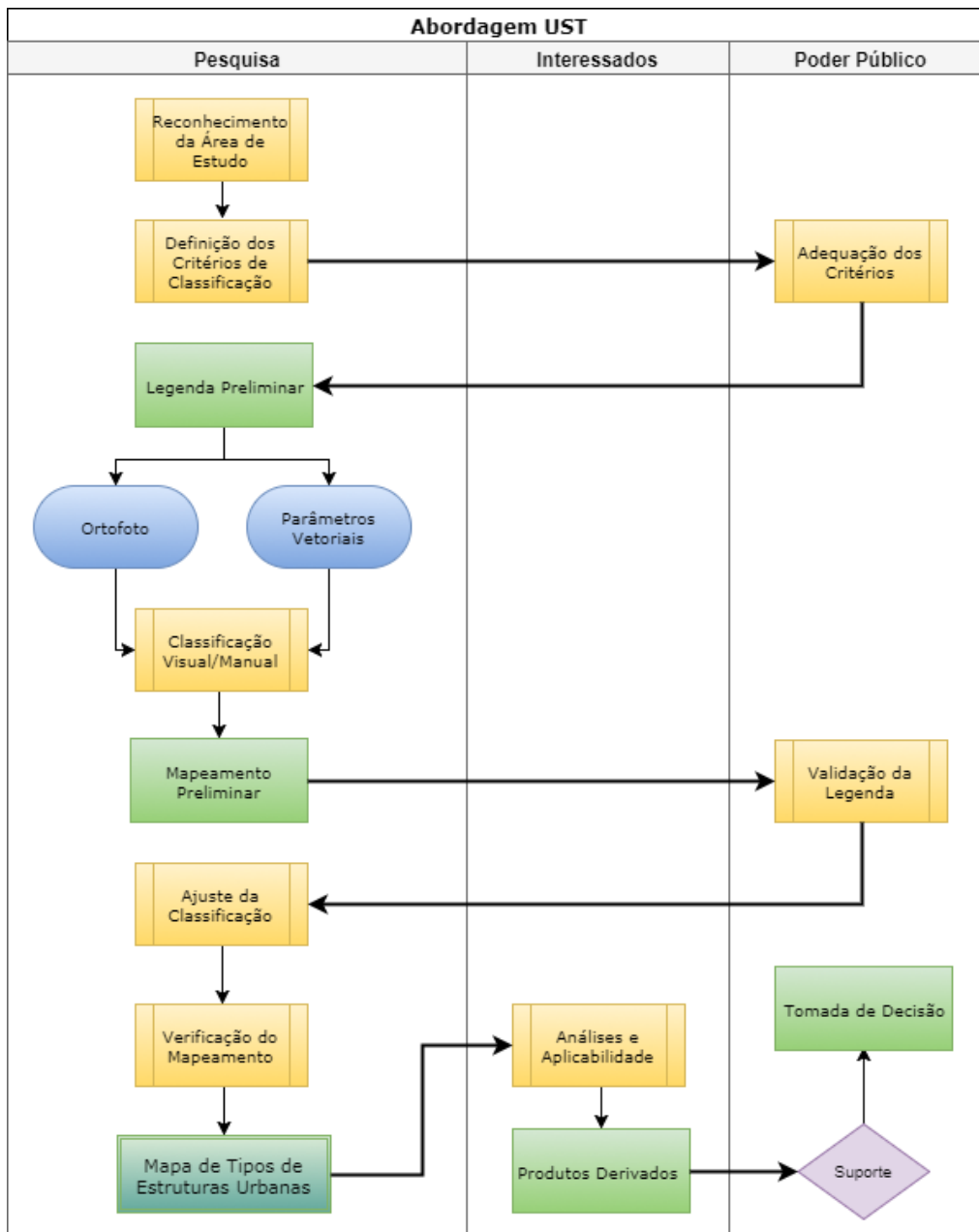


Figura 2.5: Fluxograma metodológico para desenvolvimento da abordagem UST no DF.

Inicialmente delimitou-se a área de estudo, tomando-se como base o perímetro urbano definido pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial de 2009 (lei distrital nº 803/2009), conforme apresentado na Figura 2.4. O passo seguinte foi à definição da chave de classificação. Dessa forma, foi realizada uma revisão e atualização das tipologias utilizadas nos trabalhos de Höfer (2013), Sotero (2014) e Réquia Jr. (2015), que realizaram pesquisas para regiões específicas do DF.

A chave de classificação foi elaborada considerando três níveis hierárquicos (Figura 2.6). As classes de UST foram separadas tendo como base as características

físicas e funcionais conforme proposto por Wickop *et al.* (1998) e Banzhaf & Höfer (2008) e utilizados por Moon *et al.* (2009) e Hetch *et al.* (2013). No primeiro nível de classificação, ou seja, as classes básicas do padrão de uso e ocupação (ver figura 2.1) foram agrupadas em cinco tipos principais, relacionadas à funcionalidade do território: Áreas Abertas, Áreas de Uso Comum, Áreas de Comércio e Indústria, Áreas Residenciais e Áreas em Consolidação. O segundo nível correspondeu ao tipo mais específico de funcionalidade.

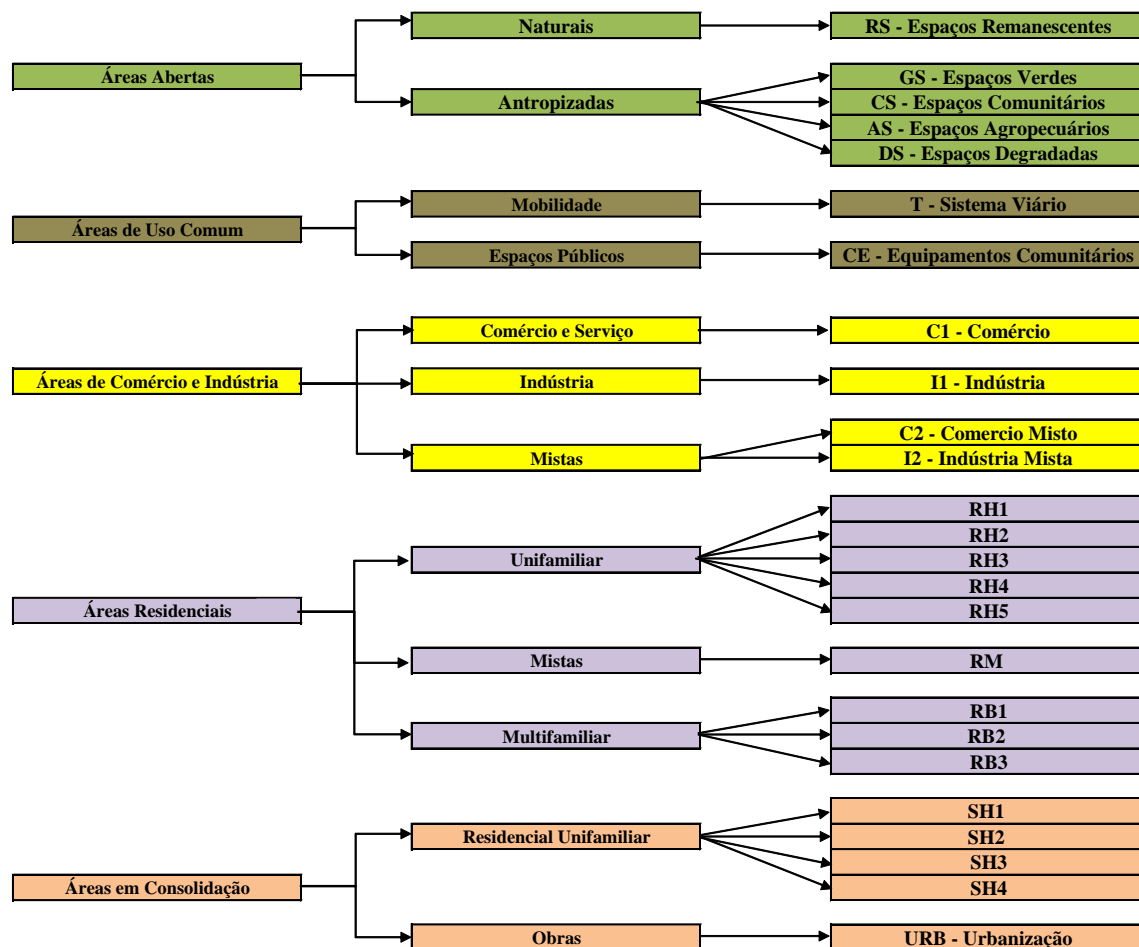


Figura 2.6: Chave de classificação dos tipos de estruturas urbanas presentes no DF, hierarquizada em três níveis.

O último nível de hierarquização foi definido de forma qualitativa, considerando regiões “homogêneas” espacialmente em termos da composição e arranjo dos tipos de elementos básicos de análise (Figura 2.2). As principais características consideradas para a separação das classes nesse nível foram: tamanho do lote, taxa de ocupação (taxa de área construída), padrão construtivo (tipo da superfície de cobertura - telhado),



quantidade de área verde. O quadro 7.1, constante no Apêndice A, sintetiza as características que compõem cada padrão UST.

Com uma primeira chave definida, realizaram-se reuniões com os gestores e técnicos do setor público do DF (Secretaria de Meio ambiente - SEMA, Companhia de Planejamento do Distrito Federal - CODEPLAN e Secretaria do Estado de Gestão do Território e Habitação - SEGETH). Esta etapa redefiniu, reorganizou e conceituou as UST buscando uma equalização e a aceitação (utilização) por parte dos órgãos envolvidos, sendo o primeiro passo para construção da ponte entre a academia e os gestores públicos. De posse da legenda preliminar, iniciou-se o mapeamento das UST.

Para esta fase, foi necessário o pré-processamento dos dados, ou seja, a organização dos vetores auxiliares (lotes, quadras, setores censitários, vias e mapa de corredores ecológicos do DF) por meio da análise topológica e inserção no banco de dados. Para a classificação foi utilizada ortomosaico fotográfico, com resolução de 1m, referente ao ano de 2009. O método de mapeamento aplicado nesse estudo foi o visual/manual, que consiste na identificação visual dos alvos e digitalização manual das classes usando, quando necessário, os dados vetoriais como limites dos polígonos da UST.

De acordo com Hecht *et al.* (2013), apesar de este método demandar mais tempo, ele ainda é o mais indicado, por ser mais eficiente (melhor acurácia), além de permitir uma análise multiescalar. Os estudos que buscaram a classificação automática das UST ou de outros tipos de morfologia urbana demonstram que a primeira fase do processo, geralmente baseada em técnicas de *Object-Based Image Analysis* (OBIA) conseguem identificar os elementos básicos (ex. vegetação, edificações, ruas - Figura 2.2) com boa acurácia, superior a 85% (Momeni *et al.*, 2016; Grippa *et al.*, 2017). Entretanto, as técnicas automáticas que buscam analisar o padrão e arranjo urbano homogêneos ainda apresentam baixa acurácia (até 70%), como exemplo, tem-se a técnica *Support Vector Machine Classification* (Poncet-Montanges, 2014). Quando o objeto do mapeamento é a sua utilização como instrumento de gestão esse nível de acurácia não é aceitável (Hecht *et al.*, 2013).

Após realizar o mapeamento de uma parte da área de estudo, a qual continha todas as classes da chave de classificação, realizou-se nova reunião técnica com os gestores públicos para a validação do processo de mapeamento e da legenda proposta.

Após as adequações necessárias apontadas pelo poder público elaborou-se o mapa UST para toda a área urbana do DF e posteriormente procedeu-se a sua verificação e validação.

## 2.4 RESULTADOS

O mapeamento de tipos de Estruturas Urbanas compartimentou o DF em cinco classes principais, 12 subclasses e 25 padrões UST (Figuras 2.6, 2.7 e 2.8). A legenda descritiva referente aos tipos de padrões urbanos, presentes no mapa (Figura 2.7), consta no quadro 7.2 do Apêndice A, bem como as porcentagens em área de cada padrão UST (Tabela 7.1), para cada uma das Regiões Administrativas do Distrito Federal. A descrição do primeiro e segundo nível segue abaixo:

**Áreas Abertas:** espaços públicos e privados sem destinação específica ou espaços livres de uso comunitário. Geralmente são compostos por áreas verdes em diferentes estágios de preservação. Estas áreas estão subdivididas em naturais, que são aquelas onde há presença de vegetação nativa preservada; e áreas antropizadas, que são as modificadas em diferentes níveis e com propósitos diversos pela ação humana.

**Áreas de Uso Comum:** são as áreas destinadas a mobilidade e implantação de equipamentos urbanos e comunitários. Essa classe é composta pela subclasse mobilidade, que corresponde ao sistema viário e a subclasse espaços públicos que são as áreas onde estão instaladas as infraestruturas de uso coletivo que podem ser públicas ou privadas.

**Áreas de Comércio e Indústria:** áreas destinadas para o comércio e serviços, para atividades industriais e fornecimento de alimentos. Esta se subdivide em três tipos Comércio e Serviços, áreas destinadas exclusivamente para atender atividades e serviços; Industriais, são designadas exclusivamente para indústrias e galpões de estocagem; e Áreas Mistas, que possuem funcionalidades diversas como comércio, serviços, indústria e residências.

**Áreas Residenciais:** áreas destinadas a ocupação por moradias, geralmente no núcleo urbano já implantado. Essas áreas podem ser de três tipos: Unifamiliar, são áreas horizontais em que cada unidade é habitada por uma família; Multifamiliar, áreas

verticais, onde o tipo de moradia é constituído por várias famílias; Mistas, abrange áreas que possuem adjacientemente estruturas multifamiliares e unifamiliares.

**Áreas em Consolidação:** áreas em processo de transformação possuem forte pressão urbana, incluindo grilagem, parcelamentos, sub-parcelamentos e grandes obras. Esta classe se subdivide em Residencial Unifamiliar, compostas por moradias com caráter horizontal em diferentes níveis do processo de parcelamento; e Obras, que abrangem os espaços em processo de construção civil, destinados a empreendimentos de grande porte.

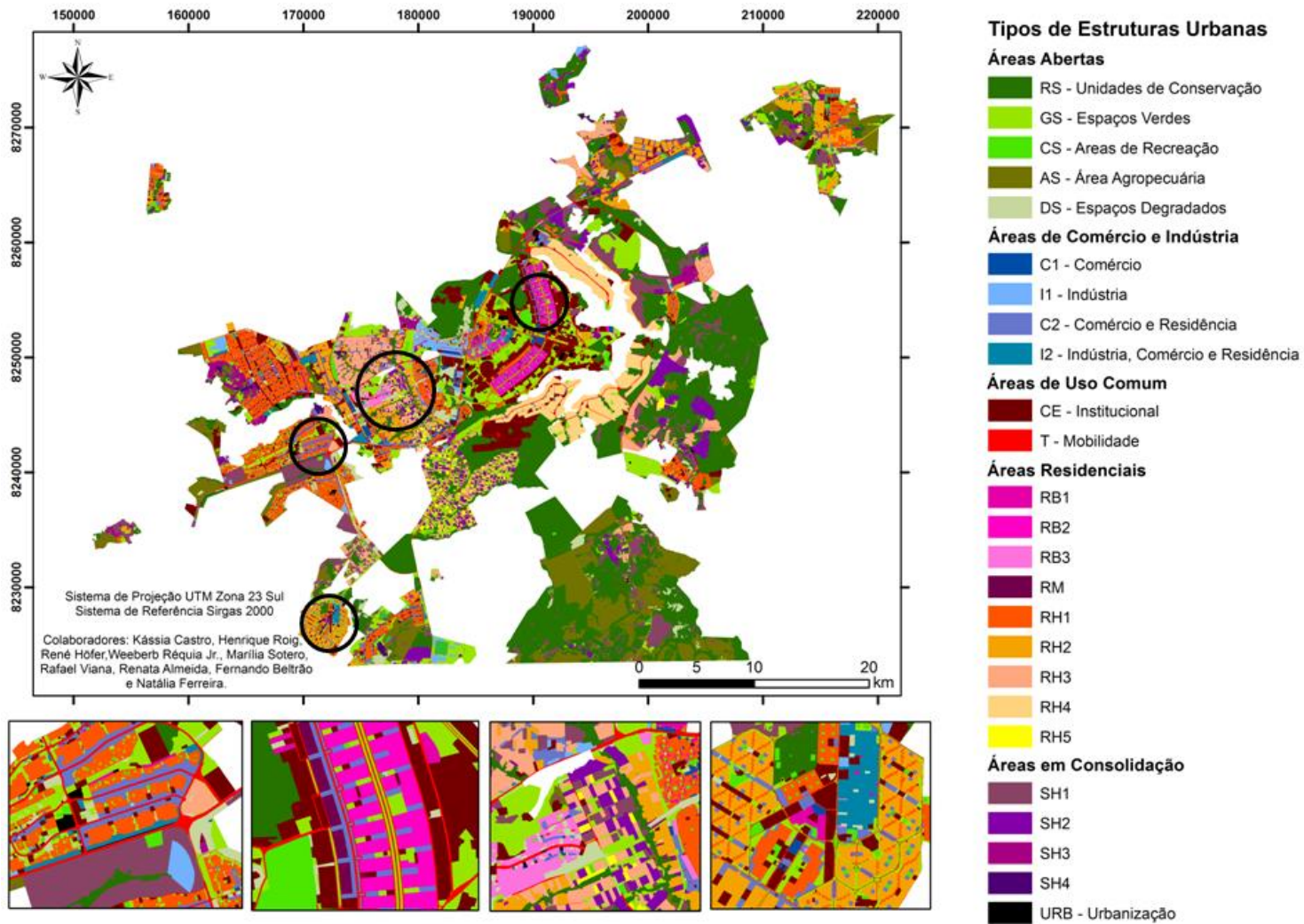


Figura 2.7: Mapa de Tipos de Estruturas urbanas do Distrito Federal.

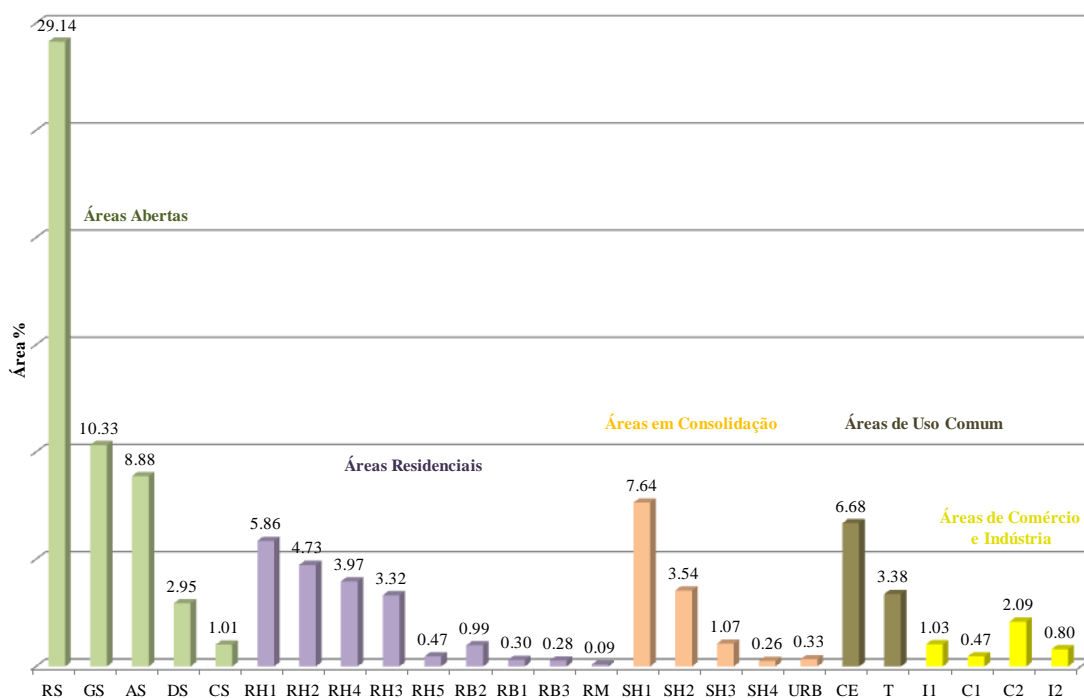


Figura 2.8: Porcentagem de área ocupada no DF pelas classes UST do tipo: Áreas Abertas; Áreas Residenciais; Áreas em Consolidação; Áreas de Uso Comum e; Áreas de Comércio e Indústria.

A análise destes dados permite considerar que o perímetro urbano do DF não é composto apenas por área urbana consolidada, existe uma taxa significativa de unidades verdes, das quais 29% são espaços remanescentes (RS), que servem como um cinturão verde para a parte central. Este cinturão, que constava no plano original de desenvolvimento foi quebrado pela expansão urbana na região oeste pelas RA de Águas Claras (RA XX) e Vicente Pires (RA XXX), figuras 2.4 e 2.7. Além deste cinturão externo, a área tombada de Brasília (Costa, 2011) tem outro cinturão de espaços verdes (GS), figura 2.7, proposto no seu projeto original.

Foi possível para cada classe de UST analisar a organização e a porcentagem dos elementos constituintes (figuras 2.9 e 2.10). Das classes com caráter residencial as que possuem maior presença de área vegetada (vegetação arbórea e gramínea), pertencem ao grupo Área em Consolidação (SH1 - 69% e SH2 - 62%), esses padrões estão em transformação de suas características de ambiente rural para urbano em um processo de parcelamento. Entretanto, se for considerado somente a presença da vegetação arbórea as estruturas que apresentaram maior presença em área fazem parte do grupo Áreas Residenciais: RB2 (31%); RH4 (22%); e RH5 (22%). Padrões que estão presentes exclusivamente em Brasília, Lagos Sul e Norte e Park Way, regiões nobres do DF.

Por outro lado, as UST com maior porcentagem de áreas edificadas estão associadas às regiões onde a população possui menor poder aquisitivo (Apêndice C) o que se reflete no padrão construtivo das edificações, que varia de baixo a muito baixo padrão construtivo (Quadro 7.1, Apêndice A), como RH1 (75%), SH3 (74%) e SH4 (63%), ressalta-se também a alta taxa de ocupação dessas áreas. Estes fatos demonstram a desigualdade da distribuição de importantes elementos (por exemplo, área verde) para a qualidade de vida e o bem-estar humano no Distrito Federal.

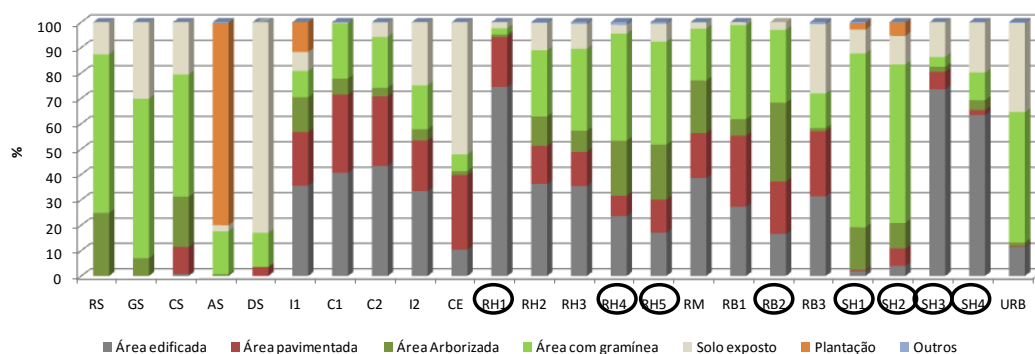


Figura 2.9: Porcentagem em área dos Materiais de cobertura quantificados por tipo de estrutura urbana.

Os resultados das áreas permeáveis e impermeáveis (Figura 2.10) apontam que as áreas do grupo Áreas Abertas apresentam a maior taxa de área permeável, como era esperado. Das demais estruturas as maiores taxas de área permeável estão nas áreas em consolidação SH1 (98%) e SH2 (89%). Considerando as que compõem o arranjo urbano consolidado as maiores taxas estão presentes em RH5 (70%) e RH4 (68%). Já as estruturas com as mais altas taxas de área impermeável são RH1 (94%), SH3 (80%), Comércio (C1 - 71%), Comércio Misto (C2 - 71%) e SH4 (65%).

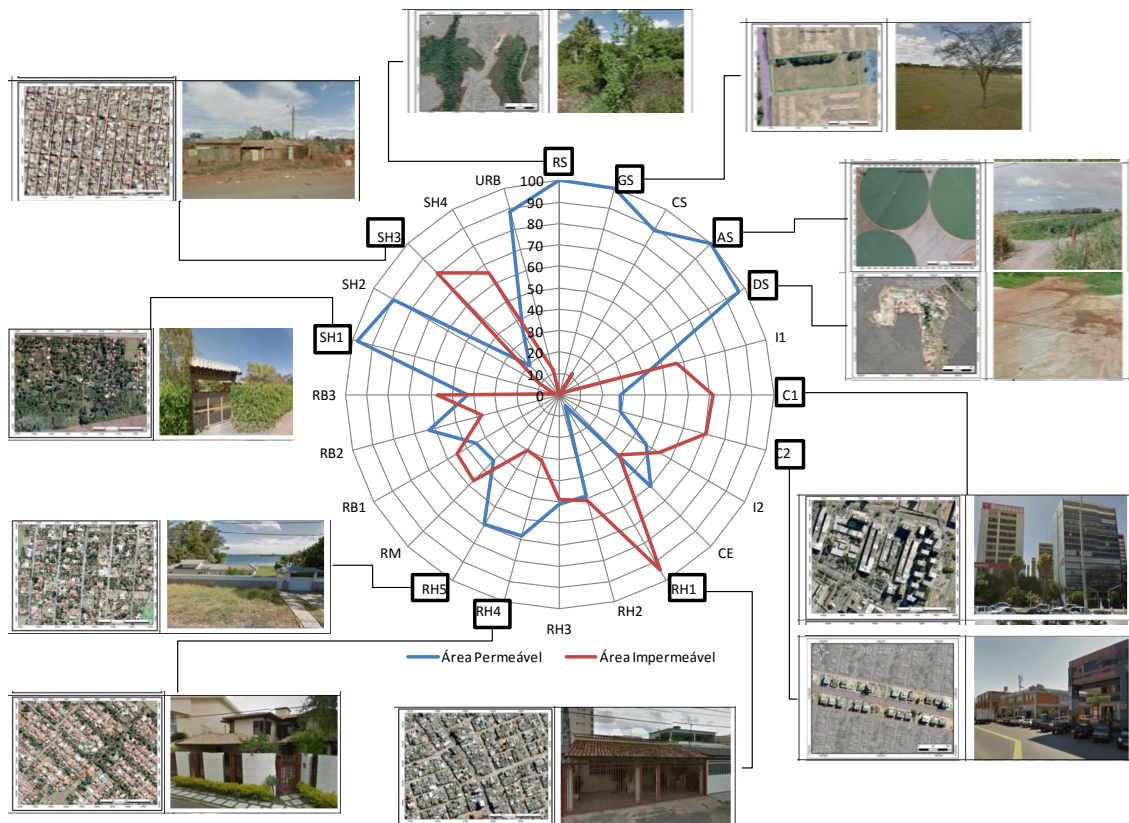


Figura 2.10: Porcentagem em área permeável e impermeável quantificadas por tipo de estrutura urbana.

Se for comparado os resultados apresentados nas figuras 2.9 e 2.10, percebe-se que o tipo de estrutura em relação à taxa de impermeabilidade do solo com a situação mais crítica é a RH1, pois excetuando-se as estruturas pertencentes ao grupo áreas Abertas, esta possui umas das maiores áreas (em torno de 6%, figura 2.8) no DF e possui também a maior taxa de área impermeável, sendo que quase 95% de sua área está impermeabilizada. Cabe ressaltar que aproximadamente 50% da população do DF reside nesse tipo de estrutura (Apêndice B).

## 2.5 DISCUSSÕES

No Distrito Federal o marco legal para ocupação das terras é o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT), o qual divide a área urbana do Distrito Federal em zonas em que é definido, em linhas gerais, o que é permitido ser feito em cada região, conforme o quadro 7.3 (Apêndice A). Estas macrozonas foram construídas sob o olhar de mapas de uso e ocupação tradicionais, em que não é possível capturar o arranjo e dinâmica da área urbana, o que dificulta um adequado planejamento do território.

Ao se comparar o mapeamento das UST como o PDOT (Figura 2.11) verifica-se que 51% da área urbana do DF está enquadrada na classe Áreas Abertas. Esta alta taxa pode ser explicada pelo fato do mapeamento e tipificação da UST ter considerado o limite político da área urbana e não a área urbanizada em si, demonstrando a propensão do PDOT em permitir a ampliação da área urbana.

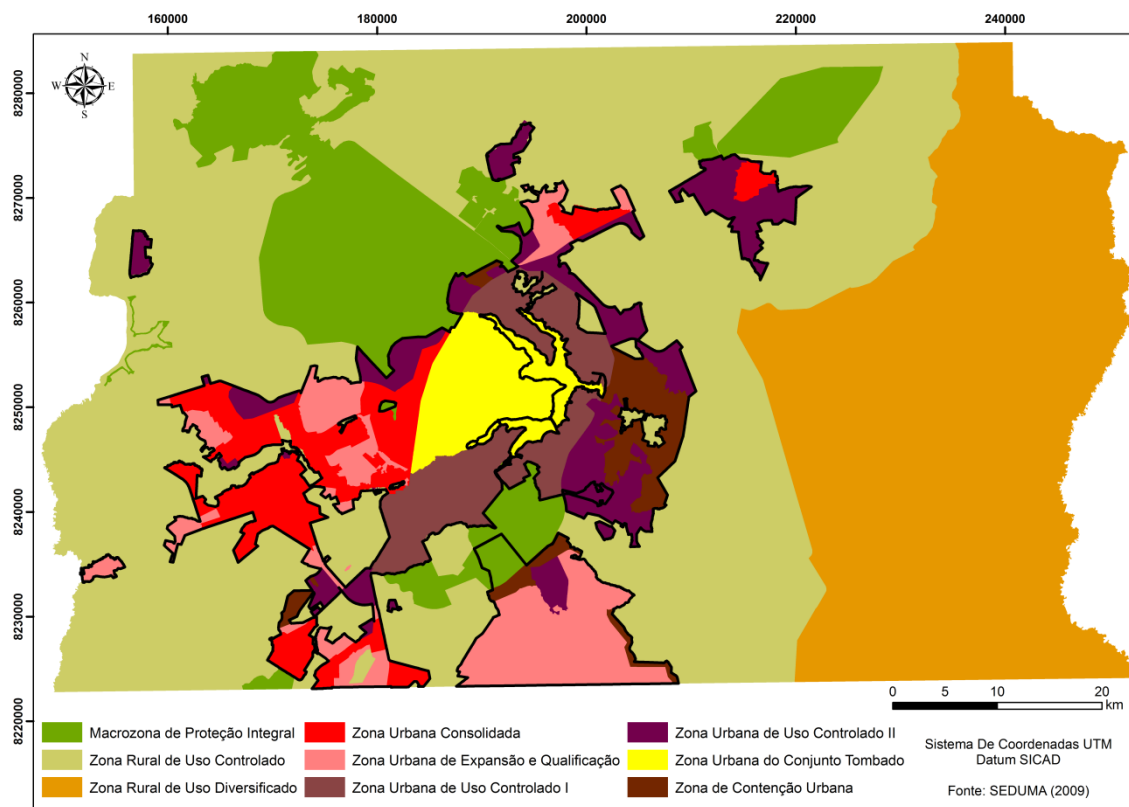


Figura 2.11: Macrozonas do Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) do DF.

Nas áreas de padrão Espaços Remanescentes (RS) foram consideradas as áreas de vegetação natural preservada (primordialmente matas ciliares, de galeria e cerrado e campo), dentro e fora das áreas legalmente instituídas no PDOT (Macrozona de Proteção Integral). Nessas áreas constatou-se que 25% da vegetação natural ocorre na Zona Urbana de Expansão e Qualificação, 25% na Zona Urbana de Uso Controlado II, 20% na Zona de Contenção Urbana e 15% na Zona Urbana de Uso Controlado I, restando 15% nas zonas Urbanas Consolidadas e do Conjunto tombado.

Esses resultados indicam risco estas áreas principalmente nas zonas de Expansão e Uso Controlado, onde se observa uma grande pressão dos “grileiros” pelo parcelamento irregular das terras. O fato de estas áreas verdes estarem nestas regiões, abre caminho para uma forte pressão imobiliária, visto que o DF tem um déficit habitacional de 13,6 %



(IPEA, 2013). Destaca-se que para a área de uso controlado II, que referem-se a regiões ambientalmente sensíveis e de manutenção dos recursos hídricos, deve-se ter uma determinação clara do tipo de padrão urbano a ser implementado, considerando as características fisiográficas da área e os potenciais impactos que serão gerados pelo tipo de estrutura a ser instalada.

Outro ponto a ser destacado em relação ao PDOT refere-se à existência de Espaços Agropecuários (AS) inseridos na zona urbana, sem nenhuma diretriz de ordenamento do uso. Desses Espaços Agropecuários 63% desta classe encontra-se na Zona Urbana de Expansão e Qualificação, 15% na Zona Urbana de Uso Controlado II e 9% na Zona de Contenção Urbana. Nestas regiões, a expansão urbana dar-se-á pelo fracionamento dos lotes. Destaca-se ainda a atual fragilidade da atividade agrícola, em detrimento da crise hídrica instalada, fato que pode acelerar o processo de parcelamento do território nessas áreas.

A falta de qualificação do padrão urbano para as zonas definidas no PDOT abriu brechas para a implantação de sistemas urbanos não adequados. Tanto para a qualidade de vida como para a preservação do meio ambiente, impactando a manutenção de serviços ecossistêmicos fundamentais. Como exemplo, pode-se citar a Zona de Uso controlado II. Trata-se de uma região, segundo o PDOT, com significativa “sensibilidade ambiental, que exige ocupação e uso urbano disciplinado no sentido de proteger os atributos naturais, especialmente os solos e os recursos hídricos, superficiais e subterrâneos”.

No entanto, este disciplinamento não ocorreu, de modo que para a mesma região encontra-se ao longo das principais vias e próximo ao centro de Brasília, UST do tipo RH3 e RH4, marcadas por porcentagens significativas de áreas verde e alto padrão construtivo, e ao passo que nas regiões mais distantes observa-se UST do tipo SH3, com alta taxa de ocupação (>75% impermeabilizada) e muito baixo padrão construtivo, onde há certa fragilidade dos modos de vida e qualidade ambiental.

Em síntese, os resultados demonstram a necessidade de um disciplinamento do território, qualificando melhor as zonas do PDOT. Não basta o disciplinamento estabelecido na LUOS<sup>3</sup>, que define características intra-lote, mas sim de um modelo

---

<sup>3</sup> Lei Complementar de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) do Distrito Federal, é a Lei que define usos e índices a que estão sujeitas as edificações para o controle urbanístico. Trata-se de instrumento complementar do PDOT e como tal deve estar compatibilizada com o Plano Diretor. Os parâmetros de uso e ocupação definidos para cada localidade devem refletir as proposições do PDOT contidas nas suas estratégias de ordenamento territorial (de dinamização, revitalização, estruturação viária e polos multifuncionais).

integrado que leve em consideração a sinergia, o arranjo urbanístico, como proposto aqui por meio da UST.

Deste modo, considera-se que o mapeamento por tipos de padrões urbanos permite uma análise mais acurada da área urbana, se comparada com métodos de mapeamento tradicionais de uso e ocupação do solo empregado atualmente para o planejamento territorial do DF. Dessa maneira, diferentes percepções a cerca das condições urbanas podem ser verificadas e assim possibilitar o seu uso pelos interessados e gestores do território. Esta abordagem permitirá estabelecer as perdas ambientais e socioeconômicas, bem como verificar os padrões urbanos que tem possibilitado a melhoria da qualidade de vida e o bem-estar humano.

## 2.6 CONCLUSÕES

O mapeamento por tipos de estruturas urbanas traz um olhar novo sobre as cidades, visto que a escala de detalhamento possibilita que a mesma seja analisada por diferentes óticas e diferentes atores do setor público e privado. Compreender a dinâmica e estrutura do espaço é o primeiro passo para se buscar soluções para os problemas urbanísticos e ambientais. Este estudo assume que as UST (padrões urbanos) são um caminho para identificar indicadores que revelem, por exemplo, a qualidade dos serviços ecossistêmicos urbanos.

A abordagem UST, ao representar características dos padrões urbanos e tipificar diferenças em relação à qualidade de vida, bem-estar humano e impacto ambiental e socioeconômico, demonstra potencial como ferramenta capaz de subsidiar a tomada de decisão governamental no âmbito do planejamento e da gestão territorial. O instrumento pode ademais, avaliar de forma antecipada os impactos positivos e as externalidades negativas no uso atual ou futuro do território, no tocante à melhoria ou diminuição tanto da qualidade de vida e da qualidade ambiental. Os resultados revelam ainda um potencial da abordagem como instrumento qualificado e promissor para adoção pelo governo no âmbito do ordenamento do território e de sua gestão, como ferramenta para apoiar a tomada de decisões.

Por último, destaca-se que tanto a chave de classificação como o mapa foram validados por segmentos do poder público. Assim, a internalização deste conceito nos setores gestores do governo do Distrito Federal tem ocorrido, com destaque para a SEMA,

SEGETH e CODEPLAN em que esta conceituação e mapeamento estão sendo introduzidos nos instrumentos legais, como por exemplo o ZEE.

## REFERÊNCIAS

- ALLAN, P.; BRYANT, M.; WIRSCHING, C.; GARCIA, D.; RODRIGUEZ, M. T. 2013. The influence of urban morphology on the resilience of cities following earthquake. *Journal of Urban Design*, v. 18, n. 2, p. 242-262.
- ARAÚJO JR, A. C. R. ; TAVARES JR., S. S. 2017. Uso e cobertura do solo para o planejamento Urbano, Boa Vista, Roraima, Brasil. *Bol. Goia. Geogr. (Online)*. v. 37, n. 1, p. 36-55.
- ARIZA-VILLAVERDE, A. B.; JIMÉNEZ-HORNERO, F. J.; RAVÉ, E. G. D. 2014. Influence of urban morphology on total noise pollution: multifractal description. *Science of the Total Environment*. v. 472, p. 1-8.
- BANZHAF, E.; HÖFER, R. 2008. Monitoring urban structure types as spatial indicators with CIR aerial photographs for a more effective urban environmental management. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. Leipzig, Germany, v. 1, n. 2, p. 129-138.
- BANZHAF, E.; HÖFER, R.; EBERT, A. 2009. Delineating urban structure types (UST) in a heterogeneous urban agglomeration with VHR and Terra SAR-X data. *IEEE Urban Remote Sensing Joint Event*.
- BANZHAF, E.; NETZBAND, M. 2012. Monitoring urban land use changes with remote sensing techniques. In: Richter, M.; Weiland, U (eds). *Applied urban ecology: a global framework*. Blackwell Publishing Ltd. First edition. p. 18-32.
- BARÓ, F.; HAASED.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; FRANTZESKAKI, N. 2015. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. *Ecological Indicators*, v.55, p. 146-158.
- BASCHKE, T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. v. 65, n. 1, p. 2-16.
- BASCHKE, T.; HAY, G. J.; KELLY, M.; LANG, S.; HOFMANN, P.; ADDINK, E.; FEITOSA, R. Q.; MEER, F. V. D.; WERFF, H. V. D.; COILLIE, F. V.; TIEDE, D. 2014. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. v. 87, p. 180-191.
- CAMPOS, N.; SCHVASBERG, B.; MARTINS, A. M. 2010. Relatórios Municipais para Rede de Capacitação para Implementação dos Planos Diretores Participativos DF + RIDE. Relatório de pesquisa.
- COSTA, E. B. da; STEINKE, V. A. 2014. Brasília meta-síntese do poder no controle e articulação do território nacional. In: *Coloquio Internacional de Geocrítica El control del espacio y los espacios de control Barcelona, 13, 2014, Barcelona. Anais...* Barcelona: Universidade de Barcelona, 2014, p. 1-29.
- DEILMANN, C. 2007. High-resolution damage simulation flood damage to residential properties. In: J. Schanze (ed.). *Flood risk management research from extreme events to citizens involvement*. Proceedings European Symposium of Flood Risk Management Research. 2007. Dresden, Germany. p. 90-96.
- DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009. Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 27 Abr. 2009. Disponível em: <[http://www.tc.df.gov.br/SINJ/Norma/60298/Lei\\_Complementar\\_803\\_25\\_04\\_2009.html](http://www.tc.df.gov.br/SINJ/Norma/60298/Lei_Complementar_803_25_04_2009.html)>. Acesso em: Janeiro de 2017.
- DJORDJEVIĆA, S.; BUTLERA, D.; GOURBESVILLE, P.; MARKC, O.; PASCHED, E. 2011. New policies to deal with climate change and other drivers impacting on resilience to flooding in urban areas: the CORFU approach. *Environmental Science and Policy*. v. 14, i. 7, p. 864-873.

- DOBBS, C.; KENDAL, D.; NITSCHKE, C. R. 2014. Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics. *Ecological Indicators*. v. 43, p. 44-55.
- FERNANDES, B. de J.; COSTA, R. M.; ZAIDAN, R. T. 2016. Evolução do crescimento urbano na bacia hidrográfica Do córrego Tapera (Juiz de Fora-MG) e sua correlação com a legislação para o uso e ocupação do solo. *Revista Formação (Online)*. v. 4; n. 23, p.91-106.
- FONTOURA, L. N. J. 2013. Planejamento urbano-ambiental: o uso e ocupação do solo no Distrito Federal. *Revista Especialize (Online)*. v. 1 n. 5. ISSN 2179-5568.
- GRÊT-REGAMEY, A.; ALTWEGG, J.; SIRÉNA, E. A.; STRIEN, M. J.; WEIBEL, B. 2016. Integrating ecosystem services into spatial planning - A spatial decision support tool. *Landscape and Urban Planning*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.003>.
- GRIPPA, T.; LENNERT, M.; BEAUMONT, B.; VANHUYSSSE, S.; STEPHENNE, N.; WOLFF, E. 2017. An Open-Source Semi-Automated Processing Chain for Urban Object-Based Classification. *Remote Sens*. 2017, v. 9, n. 4, 358; doi:10.3390/rs9040358.
- HAASE, D.; LARONDELLE, N.; ANDERSSON, E.; ARTMANN, M.; BORGSTRÖM, S.; BREUSTE, J.; GOMEZ-BAGGETHUN, E.; GREN, A.; HAMSTEAD, Z.; HANSEN, R.; KABISCH, N.; KREMER, P.; LANGEMEYER, J.; L. RALL, E.; MCPHEARSON, T.; PAULEIT, S.; QURESHI, S.; SCHWARZ, N.; VOIGT, A.; WURSTER, D.; ELMQVIST, T. 2014. A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. *AMBIO*. v. 43, p. 413-433.
- HAASE, D.; RALL, E. L. 2014. Creative intervention in a dynamic city: A sustainability assessment of an interim use strategy for brownfields in Leipzig, Germany. *Landscape and Urban Planning*. v. 100, n. 3, p. 189-201.
- HAGGAG, M.A.; AYAD, H.M. 2002. The Structural units method: a basis for evaluation environmental prospects for sustainable development. *Urban Design International*, v. 7, n. 2, p. 97-108.
- HAPP, P. N.; FERREIRA, R. da S.; COSTA, G. A. O. P. da; FEITOSA, R.; BENTES, C.; GAMBA, P. 2015. Towards distributed region growing image segmentation based on map reduce. Disponível em: < [http://www.researchgate.net/publication/279538970\\_Towards\\_distributed\\_region\\_growing\\_image\\_segmentation\\_based\\_on\\_mapreduce](http://www.researchgate.net/publication/279538970_Towards_distributed_region_growing_image_segmentation_based_on_mapreduce)>. Acesso em Julho de 2015.
- HECHT, R.; HEROLD, H.; MEINEL, G.; BUCHROITHNER, M. 2013. Automatic derivation of urban structure types from topographic maps by means of image analysis and machine learning. Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development, Germany, Leibniz, Germany. 18p.
- HEIDEN, U.; HELDENS, W.; ROESSNER, S.; SEGL, K.; ESCH, T.; MUELLER, A. 2012. Urban structure type characterization using hyperspectral remote sensing and height information. *Landscape and Urban Planning*. v. 105. p. 361-375.
- HEINEBERG, H. 2007. German geographical urban morphology in an international and interdisciplinary framework. *Urban Morphology*. v. 11, n. 1, p. 5-24.
- HÖFER, R. 2013. Thesis - Remote sensing based derivation of urban structure types to assess hydro-meteorological impacts in highly dynamic urban agglomerations in Latin America. Freiburg im Breisgau, Germany: Faculty of Forest and Environmental Sciences, Albert-Ludwigs-Universität, Disponível em: <[http://www.freidok.unifreiburg.de/volltexte/9218/pdf/ReneHoefer\\_printversion.pdf](http://www.freidok.unifreiburg.de/volltexte/9218/pdf/ReneHoefer_printversion.pdf)>. Acesso em: Junho de 2015.
- HONDA, S. C. A. L.; VIEIRA, M. do C.; ALBANO, M. P.; MARIA, Y. R. 2015. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). *Revista Brasileira de Gestão Urbana*. v. 7, n. 1, p. 62-73.
- IANNELLI, G. C.; LISINI, G.; DELL'ACQUA, F.; FEITOSA, R. Q.; COSTA, G. A. O. P. da; GAMBA, P. 2014. Urban Area Extent Extraction in Space borne HR and VHR Data Using Multi-Resolution Features. *Sensors*. v. 14, p. 18337-18352.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010a. Censo Demográfico 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/pt/>>. Acesso em Junho de 2014.

- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Projeção da População do Brasil e Unidades da Federação por Sexo e Idade para o período 2000-2030. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. 21p.
- IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. 2013. Estimativas do Déficit Habitacional brasileiro (PNAD 2007-2012). Nota técnica nº 5, 17 p.
- JONES, A. N.; LARKHAM, P. J. 1991. Glossary of urban form. Norwich: Geo Books. Disponível em: <<http://www.urbanform.org/glossary/online.html>>. Acesso em Junho de 2015.
- KAMUSOKO, C.; GAMBA, J. 2015. Simulating Urban Growth Using a Random Forest-Cellular Automata (RF-CA) Model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 4, p. 447-470.
- KRELLENBERG, K.; HÖFER, R.; WELZ, J. 2011. Dinámicas recientes y relaciones entre las estructuras urbanas y socioeconómicas en Santiago de Chile: el caso de Peñalolén. *Santiago, Chile. Revista de Geografía Norte Grande*. v. 48, p. 107-131.
- KRUGER, M. J. 1996. Definição de Morfologia Urbana. Curso Global de Morfologia Urbana. PROPUR, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- LANGEMEYER, J.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; HAASE, D.; SCHEUER, S.; ELMQVIST, T. 2016. Bridging the gap between ecosystem service assessments and land-use planning through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). *Environmental Science & Policy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.02.013>.
- LORZ, C.; BAKKER, F.; FRIMMEL, F.; GÜNTHER, W.; KOIDE, S.; MAKESCHIN, F.; NEDER, K.; ROIG, H.; UHL, W.; WALDE, D.; WEISS, H.; WORCH, E. 2014. Chapter 1: Introduction and overview. In: C. LORZ; F. MAKESCHIN; H. WEISS (eds.). *Integrated water resources management in Brazil*. IWA Publishing, London, UK. 148 p.
- MASCARENHAS, A.; RAMOS, T. B.; HAASE, D.; SANTOS, R. 2015. Ecosystem services in spatial planning and strategic environmental assessment—A European and Portuguese profile. *Land Use Policy*. v. 48. p. 158-169.
- MCPHEARSON, T.; HAMSTEAD, Z. A.; KREMER, P. 2014. Urban ecosystem services for resilience planning and management in New York city. *AMBIO*. v. 43, p. 502-515.
- METSON, G. S.; IWANIEC, D. M.; BAKER, L. A.; BENNET, E. M.; CHILDERS, D. L.; CORDELL, D.; GRIMM, N. B.; GROOVE, J. M.; NIDZGORSKI, D. A.; WHITE, S. 2015. Urban phosphorus sustainability: Systemically incorporating social, ecological, and technological factors into phosphorus flow analysis. *Environment Science and Policy*. v. 47, p. 1-11.
- MILLS, G. 2007. Cities as agents of global change. *International Journal of Climatology* v. 27, n. 14, p. 1849-1857.
- MOMENI, R.; APLIN, P.; BOYD, D. S. 2016. Mapping Complex Urban Land Cover from Spaceborne Imagery: The Influence of Spatial Resolution, Spectral Band Set and Classification Approach. *Remote Sens*. 2016, v.8, n. 2, 88; doi:10.3390/rs8020088.
- MOON, K. DOWNES, N.; RUJNER, H.; STORCH, H. 2009. Adaptation of the Urban Structure Type Approach for the Assessment of Climate Change Risks in Ho Chi Minh City. In: 45 ISOCARP Congress. 2009. p. 1-7.
- OLIVEIRA, V.; MONTEIRO, C. 2014. Regiões morfológicas: a aplicabilidade de um conceito da morfologia urbana na prática de planejamento. *Revista de Morfologia Urbana*, v.2, n.2, p. 105-108.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2012. World urbanization prospects, the 2011 revision. Technical report, Department of Economic and Social Affairs, Population Division: New York, 2012.
- PASSO, D. P.; BIAS, E. S.; BRITES, R. S.; COSTA, G. A. O. P. 2013. Uso do sistema de imagens para a identificação de alvos urbanos em imagens do satélite worldview II. *Revista Brasileira de Cartografia (Online)*, v. 65, n. 6, p. 1211-1221.
- PASSO, D. P. 2017. Desenvolvimento de aplicação para análise geográfica de imagens, baseada em objeto, com a finalidade de identificar automaticamente focos erosivos lineares. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, DF. 185p.

- PAUCHARD, A.; AGUYAGO, A. E. P. na; URRUTIA, R. 2006. Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: The case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile). *Biological Conservation*. v.127, p. 272-281.
- PELUSO, M.L. & OLIVEIRA, W.C. de. Distrito Federal: Paisagem, População e Poder. São Paulo: Harbra, 2006.
- PICKETT, S. T. A.; CADENASSO, M. L.; GROVE, J.; NILON, C.; POUYAT, R.; ZIPPERER, W.; COSTANZA, R. 2001. Urban Ecological Systems: Linking Terrestrial Ecological, Physical, and Socioeconomic Components of Metropolitan Areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*. v. 32, n. 1, p.127-157.
- PONCET-MONTAGNES, A. 2014. Classification of urban structural types (UST) using multiple data sources and spatial priors. Projeto de Mestrado. Laboratório de Informação Geográfica, École Polytechnique Fédéral de Lausanne, Lausanne, Suíça. 54 p.
- RAITH, E. 2000. *Stadt morphologie. Annäherungen, Umsetzungen, Aussichten* (Springer, Wien).
- REGO, R. L.; MENEGUETTI, K. S. 2011. A respeito de morfologia urbana: tópicos básicos para estudos da forma da cidade. *Acta Scientiarum Technology*. Maringá, v. 33, n. 2, p. 123-127.
- RÉQUIA JR., E. J.; ROIG, H. L.; KOUTRAKIS, P. 2015. A novel land use approach for assessment of human health: The relationship between urban structure types and cardiorespiratory disease risk. *Environment International*. v. 85, p. 334-342.
- RIBEIRO, R. J. da C.; HOLANDA, F. 2015. O processo de metropolização. In: RIBEIRO, R. J. da C.; TENORIO, G. de S.; HOLANDA, F. de (orgs). *Brasília: transformações na ordem urbana*. Coordenação QUEIROZ, L. C. de R. Recurso Eletrônico. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital. 346p. 2015.
- SCHANZE, J.; TRÜMPER, J.; BURMEISTER, C.; PAVLIK, D.; KRUHLOV, I. 2012. A methodology for dealing with regional change in integrated water resources management. *Environmental Earth Sciences*. v. 65, p. 1405-1414.
- SEBUSIANI, H. R. V.; BETTINE, S. do C. 2011. Metodologia de uso e ocupação do solo em micro bacia urbana. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*. v. 7, n. 1, p. 256-285.
- SEVERO, D. S. 2014. Planejamento urbano no Distrito Federal: o caso de Ceilândia. Monografia. Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília. 73 p.
- SERRALDE, J. J.; QUINN, D. J.; WIESMANN, D.; STEEMERS, K. 2015. Solar energy and urban morphology: scenarios for increasing the renewable energy potencial of neighbourhoods in London. *Renewable Energy*, v.73, p. 10-17.
- SILVA, M.; OLIVEIRA, V.; LEAL, V. 2016. Urban form and energy: a review of urban attributes with energy relevance. *Journal of Planning Literature*. (submetido)
- SOTERO, M. S. P. 2014. Tipos de estrutura urbana e consumo de água, análise da morfologia urbana na bacia hidrográfica do Riacho Fundo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, DF. 124p.
- STEENEVELD, G. J.; KOOPMANS, S.; HEUSINKVELD, B. G.; VAN HOVE, L. W. A.; HOLTSLAG, A. A. M. 2011. Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *Journal of Geophysical Research*, v. 116, D20129, doi:10.1029/2011JD015988.
- H. STORCH, H.; SCHMIDT, M. 2006. Indicator-based Urban Typologies. *Sustainability Assessment of Housing Development Strategies in Megacities*. In: K. Tochtermann (editor), *Managing environmental knowledge: proceedings of the 20th International Conference "Informatics for Environmental Protection"* Graz (Austria). Shaker, 2006, p. 145-152.
- TANG, Y. 2007. An integrated GIS-spatial analysis of Atlanta's urban structure and urban space. PhD thesis. University of Georgia, USA. Disponível em: <[https://getd.libs.uga.edu/pdfs/tang\\_yanbing\\_200708\\_phd.pdf](https://getd.libs.uga.edu/pdfs/tang_yanbing_200708_phd.pdf)>. Acesso em Junho de 2015.
- TAUBENBÖCK, J.; POST, J.; ROTH, A.; ZOSEDER, K.; STRUNZ, G.; DECH, S. 2008. A conceptual vulnerability and risk framework as outline to identify capabilities of remote sensing. *Natural Hazard and Earth System Science*. v. 8, p.409-420.
- TAUBENBÖCK, H.; ESCH, T.; FELBIER, A.; WIESNER, M.; ROTH, A.; DECH, S. 2012. Monitoring of mega cities from space. *Remote Sensing of Environment*, v. 117, p. 162-176.

- TURNER, K. G.; OGAARD, M. V.; BOCHER, P. K.; DALGAARD, T.; SVENNING J-C. 2014. Bundling ecosystem services in Denmark: Trade-offs and synergies in a cultural landscape. *Landscape and Urban Planning*. v. 125, p. 89-104.
- WANG et al. 2014. Perspectives on narrowing the action gap between landscape science and metropolitan governance: Practice in the US and China. *Landscape and Urban Planning*. v. 125, p. 329-334.
- WEBER, N.; HAASE, D.; FRANCK, U. 2014. Assessing modelled outdoor traffic-induced noise and air pollution around urban structures using the concept of landscape metrics. *Landscape and Urban Planning*. v. 125, p. 105-116.
- WEI, Q.; SHENGHE, L.; XIAOLU, G.; MEIFENG, Z. 2015. Modeling the spatial distribution of urban population during the daytime and at night based on land use: A case study in Beijing, China. *Journal of Geographic Science*., v. 25, n. 6, p.756-768.
- WICKOP, E. ; BÖHM, P. ; EITNER, K.; BREUSTE, J. 1998. Qualitätszielkonzept für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig. *UFZ Bericht*, 14:156.
- ZEVENBERGEN, J. A.; Kerle, N.; TULADHAR, A. 2015. Spatial information for addressing and assessing land issues in disaster risk management. *Land Tenure Journal*, v. 1, p. 9-35.

### **3. PROPOSTA DE ÍNDICE PARA QUANTIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS URBANOS**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Os serviços ecossistêmicos são importantes para as atividades econômicas porque provêm os recursos necessários à produção de bens e serviços econômicos. Bem como fornecem os serviços/bens básicos para manutenção da espécie humana, tais como alimento, água pura entre outros (Wu, 2013). Em outras palavras, o bem-estar humano é profunda e indissociavelmente dependente dos serviços ecossistêmicos, que em última

instância, suportam as condições de vida das espécies humanas e não humanas (Miller *et al.*, 2016; Geijzendorffer *et al.*, 2017), garantindo assim a sobrevivência do planeta.

De acordo com MEA (2005) os serviços dos ecossistemas são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, que são complexos em estrutura e função, e variáveis em tamanho, dinâmica e tempo. Esses serviços dos ecossistemas podem ser classificados então em quatro tipos: I) Serviços de provisão: bens ou produtos obtidos dos ecossistemas; II) Serviços de regulação: benefícios obtidos a partir do controle dos processos naturais de um ecossistema; III) Serviços culturais: benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas e; IV) Serviços de suporte: processos naturais que mantêm outros serviços ecossistêmicos.

A literatura mundial a respeito dos serviços ecossistêmicos está ganhando cada vez mais espaço (Egoh *et al.* 2008; Andrade *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2014; Bastian *et al.*, 2013; Machado & Duppas, 2013; Koschke, *et al.*, 2014; Ballerine & Galharde, 2014; Harrison *et al.*, 2014; Helfenstein *et al.*, 2014; Zurlini *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015; Rodríguez-Loínez *et al.*, 2015; Lima *et al.*, 2017), sendo mais frequentes pesquisas em áreas rurais, em detrimento dos espaços urbanos (Haase *et al.*, 2014).

Os serviços ecossistêmicos em ambientes urbanizados estão diretamente associados ao padrão urbano, ou seja, a relação entre os vários constituintes deste espaço, formando assim, o que os arquitetos denominam de Morfologia Urbana (Heineberg, 2007; Haase & Rall, 2014). A chave para o entendimento dos serviços está na capacidade de definir os limites e a escala desta morfologia.

A morfologia urbana tem contribuído muito para um novo olhar da cidade, por meio do seu aspecto ecossistêmico (Heiden *et al.*, 2012). Trata-se do estudo da forma das cidades, sob aspectos visuais e estruturais. Procura explorar e sistematizar a cidade enquanto objeto concreto por meio da identificação das possibilidades existentes ou que poderiam ocorrer, assim como sua evolução física ao longo do tempo (Kruger, 1996). Esta abordagem pode permitir não só definir as perdas ambientais e socioeconômicas, mas também tem permitido verificar os padrões urbanos, que tem ajudado na melhoria da qualidade de vida e do bem-estar humano (Haase *et al.*, 2014; Beichler *et al.*, 2017).

Muitos trabalhos têm surgido com o intuito de analisar e quantificar serviços ecossistêmicos urbanos em diferentes lugares do mundo (Carrasquilla, 2001; Ebert *et al.*, 2009; Banzhaf & Netzband, 2012; Childers *et al.*, 2014; Fürst *et al.*, 2014; McPhearson *et al.*, 2014; Weber *et al.*, 2014; Mascarenhas *et al.*, 2015; Metson *et al.*, 2015). Para o caso do Brasil, embora existam estudos mais antigos, estes são poucos e na maioria



restringem-se a serviços de áreas naturais inseridas no espaço urbano ou tratam de índices verdes (Hezorg, 2010; Atanazio, 2011; Tôsto *et al.*, 2011; Tôsto *et al.*, 2011b; Bonzi, 2013; O'Reiley *et al.*, 2013; Momm-Schult *et al.*, 2014), o que demonstra o quanto ainda há por ser feito no entendimento da dinâmica urbana e os serviços ecossistêmicos prestados.

Mesmo a nível mundial, a maior parte dos trabalhos que vem sendo desenvolvidos nessa linha, dá prioridade a áreas específicas dentro do contexto urbano, tais como parques, cemitérios, áreas úmidas, áreas de preservação, dentre outros (Haase *et al.*, 2014; Baró *et al.*, 2015; Elmqvist *et al.*, 2015; Sieber & Pons, 2015; EU, 2016; Zulian *et al.*, 2017), além da maioria abordar um número genérico de serviços nesses contextos. Ainda é incipiente e escasso na literatura uma abordagem que permita identificar e analisar os serviços ecossistêmicos que ocorrem na área urbana considerando a sua totalidade, mas respeitando as particularidades de cada porção desse espaço, bem como suas características físicas, estruturantes e ambientais.

Uma vez que mais de 54% da população mundial (ONU, 2014) reside em áreas urbanas devido a um grande número de beneficiários locais imediatos (Elmqvist *et al.*, 2015), o enfoque deste trabalho está voltado para o espaço urbano. Os ecossistemas urbanos são complexos, heterogêneos e dinâmicos. Exige uma perspectiva de ecologia de paisagem para investigar a inter-relação entre a estrutura espacial das funções ou processos ecológicos e da paisagem (Forman & Godron, 1986; Breuste *et al.* 2008; Lovell & Taylor, 2013).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é propor um índice do potencial de prestação de SE. Além disso, identificar e estimar os principais serviços ecossistêmicos, com relação direta e indireta com as questões hídricas, da área urbana do Distrito Federal, capital do Brasil, utilizando a abordagem de tipos de estruturas urbanas como suporte para a análise.

Optou-se por selecionar os SE que possuem vínculo com o recurso natural água, levando em consideração as características biofísicas, na qual está inserida a área de estudo. O Distrito Federal está encravado no centro do Bioma Cerrado, o qual ocupa cerca de 24% do território Nacional, representando o segundo maior bioma, atrás somente do Floresta Amazônica. E tem um importante papel para a Biodiversidade (Sano *et al.*, 2010; Arimoro, *et al.*, 2017). Além disso, desempenha um papel importante no ciclo das águas por ser a cabeceira de quatro principais bacias de rios brasileiras: Paraná, São Francisco,

Tocantins, Paraguai-Araguaia. Por último, deve-se considerar também o momento de escassez dos recursos hídricos vivenciado pelos moradores da região.

O potencial de serviços ecossistêmicos (PSE) mede, portanto, a quantidade de serviços que pode ser fornecida ou utilizada de forma sustentável em uma determinada região, tendo em vista o uso atual do solo e as propriedades e condições do ecossistema (Syrbe *et al.*, 2017). Deste modo, pretende-se que este estudo possa servir como ferramenta para apoiar o processo de tomada de decisão e governança, visando à garantia da manutenção dos serviços ecossistêmicos, tanto para o bem-estar humano quanto para a proteção ambiental (Maes *et al.*, 2016 e Opdam 2016).

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão abordadas algumas características a respeito do histórico de ocupação do DF, e como esta modificação na paisagem impactou os recursos naturais. Além disso, será feita a descrição dos materiais, etapas e técnicas utilizadas para a quantificação dos indicadores de serviços ecossistêmicos hídricos para a área urbana, bem como para a geração do índice de potencial de prestação de serviços ecossistêmicos urbanos voltados para os recursos hídricos.

#### 3.2.1 CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal (DF) está localizado no Planalto Central do Brasil e ocupa aproximadamente 5.814 km<sup>2</sup>. É limitado pelo rio Preto a leste e o rio Descoberto a oeste, e compreende a unidade da federação onde se situa a capital (ANA, 2010a).

O DF surgiu com a transição da capital do país para a Região Centro-Oeste. Inicialmente com a construção de Brasília, cidade planejada que equivale à área central (Plano Piloto) projetada. Num segundo momento, foram constituídas uma área central e as chamadas cidades satélites (Regiões Administrativas), criadas pela necessidade de dar moradias aos trabalhadores, com excessão de Planaltina e Brazlândia que já existiam. Mais recentemente, a constituição do Aglomerado Urbano de Brasília, no qual o número de Regiões Administrativas aumenta desordenadamente. Sendo consolidada a relação entre a área central e a sua periferia, bem como a intensificação da interação do DF com os municípios do entorno (Campos *et al.*, 2010).

Além disso, nas últimas décadas, cerca de 60% da cobertura nativa do DF foi reduzida para dar espaço, principalmente a centros urbanos, áreas agrícolas e pastos (Sano *et al.*, 2010; Lorz *et al.*, 2011; Lorz *et al.* 2014). E aproximadamente 10% dessa redução de área nativa ocorreu em áreas de proteção ambiental (GDF, 2005; Fontoura, 2013).

Essa ocupação desordenada das regiões administrativas, sem tratamento adequado dos dejetos, o esgoto, fossas domésticas, cemitérios e lixões têm poluído sistematicamente os cursos de água que cortam ou fluem a partir dos aglomerados urbanos (CPRM, 2003; ZEE, 2017). Esses efeitos da urbanização, traduzida pela implantação de condomínios e assentamentos irregulares, afetam zonas de recarga de aquíferos e áreas de preservação permanente (nascentes e margens de rios, encostas íngremes, etc.).

Além disso, o aumento das áreas urbanas em expansão promovem o crescimento das áreas impermeáveis nas bacias hidrográficas, o que leva à uma excessiva produção de escoamento superficial, responsável pela erosão do solo, assoreamento e poluição dos mananciais (GDF, 2005; CPRM, 2003, Menezes *et al.*, 2012, Fontoura, 2013).

Outrossim, juntamente com o aumento de áreas impermeabilizadas e o desmatamento do cerrado, a especulação imobiliária contribui para outros problemas ambientais no DF. Ocasionalmente o aumento da temperatura (Costa, 2017), pois quanto mais construções, asfalto, carros e poluição, mais a temperatura se eleva, ocasionando ilhas de calor (Fontoura, 2013) e causando problemas de agravamento à saúde humana (Réquia Jr. *et al.*, 2016a e b).

Em face desse cenário, atualmente, o DF atravessa a pior crise hídrica dos últimos 30 anos (CAESB, 2016). Tendo como causas principais: I) o período de seca intenso e prolongado, com volume de chuvas inferior à média histórica (CAESB, 2016); II) elevado consumo de água por pessoa (Apêndice C); III) ocupação desordenada do solo, com consequente degradação das nascentes e aumento de ligações clandestinas à rede pública de água (Menezes *et al.*, 2012) e; IV) baixos investimentos em expansão dos sistemas de abastecimento de água nos últimos anos (CAESB, 2016).

Nesse contexto, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos para áreas específicas da região com o intuito de subsidiar a gestão dos recursos naturais, proteção e mitigação de impactos, dentre eles pode-se citar: Menezes *et al.* (2012), Gonçalves *e al.*, (2012), Costa (2013), Herrera (2013), Ferrigo *et al.*, (2014), Loz *et al.*, 2014; Ribeiro *et al.* (2015), Nunes & Roig (2016) e Lima *et al.* (2017).

### 3.2.2 ETAPAS E PROCEDIMENTOS

O modelo conceitual adotado foi adaptado do método de quantificação por matrizes, que visa a quantificação de serviços ecossistêmicos, proposto por Burkhard *et al.*, (2012) e atualizado por Burkhard (2017), apresentado no fluxograma da figura 3.1.

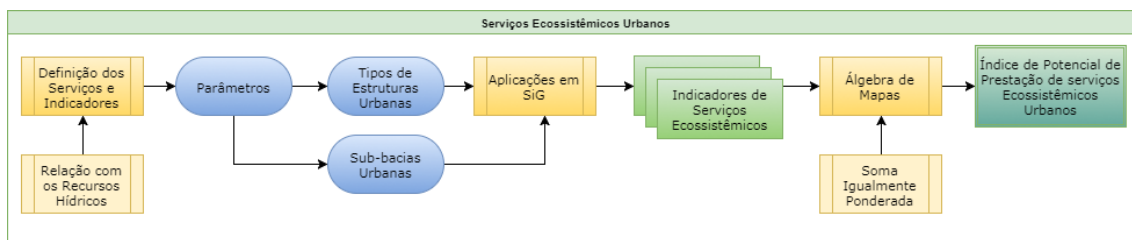


Figura 3.1: Fluxograma de métodos adaptado de Burkhard (2017).

De maneira geral, os serviços ecossistêmicos urbanos (SEUrb) têm sido aplicados em segmentos das áreas urbanas potenciais a prestação destes serviços, tais como: parques, jardins, cemitérios entre outros (Lovel & Tylor, 2013; McPhearson *et al.*, 2014; Baró *et al.*, 2015; Derkzen *et al.*, 2015; Elmqvist *et al.*, 2015; Sieber & Pons, 2015; EU, 2016; Zulian *et al.*, 2017). Ou seja, os serviços são quantificados tendo como unidades espaciais áreas geo-biofísicas específicas. Entretanto, nesse estudo de caso, optou-se por analisar a área urbana como um todo indissociável, considerando tanto as áreas “naturais e antropizadas” de forma homogênea, para assim compreender e mapear a sua relação com os SEUrb.

Assim, a morfologia urbana permitiu a subdivisão da cidade de acordo com suas características similares, tendo como unidade de análise espacial os tipos de estruturas urbanas (Capítulo 2) o que permite a sua análise e integração com os parâmetros bio-geofísicos da paisagem (*landscape*). O mapeamento UST (Figura 3.2) foi realizado tendo como ano base 2009, na escala 1: 10.000 e foi elaborado considerando três níveis hierárquicos de classificação (ver capítulo 2). No qual o último nível, compartimenta a cidade em 25 tipos de estruturas urbanas distintas (Figura 3.3).

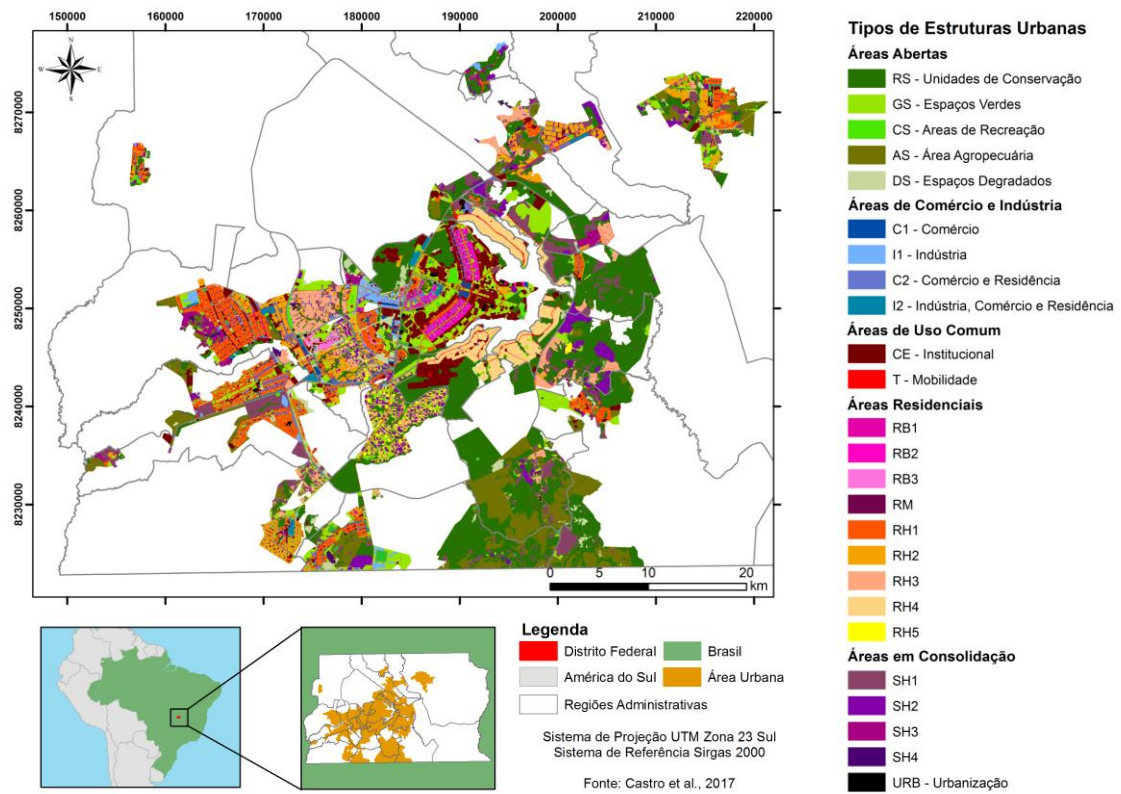


Figura 3.2: Localização da área urbana do Distrito Federal classificado pelos tipos UST.

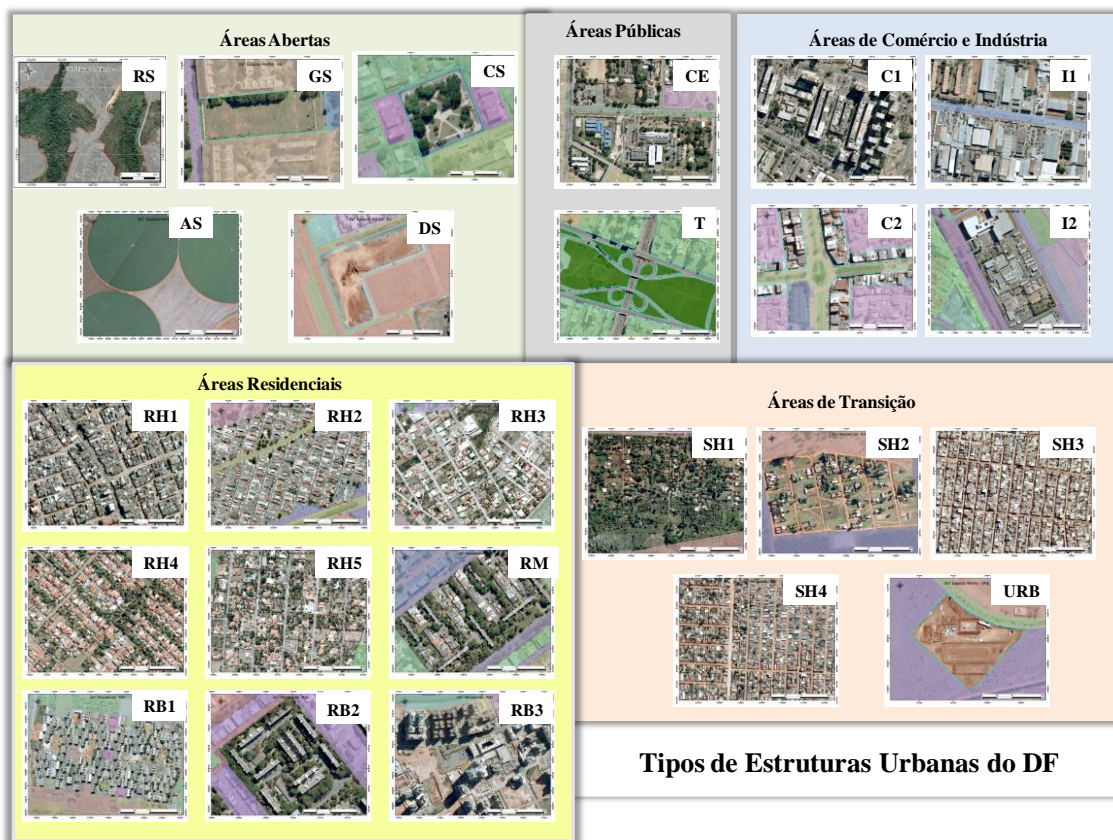


Figura 3.3: Níveis hierárquicos da classificação da UST do DF (legenda das siglas no mapa da figura 3.1).

De acordo com Syrbe *et al.* (2017) os SE podem ser mapeados e quantificados de diferentes maneiras, dependendo dos objetivos. Eles podem identificar o potencial, a demanda e o fluxo dos SE. Nesse trabalho, optou-se por avaliar o potencial de prestação dos SEUrb.

Foram selecionados oito SEUrb considerando sua relevância para os recursos hídricos, assim como para o bem-estar humano (Burkhard *et al.*, 2012; Miller, *et al.*, 2016; Burkhard, 2017), a partir de indicadores estabelecidos na literatura ou extraídos do conhecimento dos pesquisadores/especialista nas áreas de solo, hidrologia entre outros.

A partir deste trabalho chegou-se ao quadro 3.1. Foram selecionados serviços que possuem função de provisão, regulação e cultural. Optou-se por não elaborar indicadores com a função de suporte, devido a sobreposição destes com os demais serviços, conforme discutido por Dobbs *et al.* (2014).

Quadro 3.1: Lista dos SEUrb, considerando função ecossistêmica, o serviço analisado, o indicador proposto para a quantificação, unidade de medida e literatura de referência.

Função	Serviço	Descrição	Indicador	Métrica	Fonte/Referência
Provisão	Potencial de Recarga de Aquíferos	Taxa máxima de água disponível para a recarga do aquífero subterrâneo	Taxa de recarga	%	Gonçaves <i>et al.</i> , 2009; Grêt-Regamey <i>et al.</i> , 2016
	Disponibilidade Hídrica Subterrânea	Volume total de armazenamento hídrico subterrâneo	Média da Vazão Total	m <sup>3</sup> /s	Gonçaves <i>et al.</i> , 2009; Jia <i>et al.</i> , 2015; Grêt-Regamey <i>et al.</i> , 2016;
	Qualidade da água Subterrânea	Indicador de qualidade da água bruta	Classes de Enquadramento de Aquíferos	0 a 1	Castenheira, 2016
	Qualidade da água Superficial		IQA	0 a 1	CAESB, 2011; Boyko <i>et al.</i> , 2012; Koschke <i>et al.</i> , 2014;
Regulação	Potencial de Erosão	Estimativa da perda de solo por erosão hídrica	Estimativa da taxa de erosão	Ton/ha/ano	Wischmeier e Smith, 1978; Haase <i>et al.</i> , 2014; Koschke <i>et al.</i> , 2014;
	Potencial de Risco ao Alagamento	Suscetibilidade de ocorrência de alagamentos	Suscetibilidade ao alagamento	-	Eigenbrod <i>et al.</i> , 2011; Rodriguez <i>et al.</i> , 2015; Neto <i>et al.</i> , 2017

	Escoamento Superficial	Taxa de escoamento superficial	Taxa de escoamento superficial	%	SCS, 1972; Dobbs <i>et al.</i> , 2014; Koschke <i>et al.</i> , 2014; Derkzen <i>et al.</i> , 2015; Jia <i>et al.</i> , 2015;
<b>Cultural</b>	Área Verde Recreação	Taxa de área verde	Relação entre a área verde e a área total	%	Haase <i>et al.</i> , 2012; Larondelle e Haase 2013; Dobbs <i>et al.</i> , 2014; Haase <i>et al.</i> , 2014; Derkzen <i>et al.</i> , 2015; Rodriguez <i>et al.</i> , 2015; Grêt-Regamey <i>et al.</i> , 2016; Kain <i>et al.</i> , 2016

Para possibilitar a geração dos indicadores foram então utilizados um conjunto de indicadores (Muller *et al.*, 2016) desenvolvidos de acordo com diferentes níveis de quantificação (Grêt-Regamey *et al.*, 2017), apresentados no quadro 3.2. A quantificação dos SE pode ser realizada por diferentes métodos e de maneira direta ou indireta. Essa quantificação pode ocorrer em níveis. Sendo primeiro pela associação de valores e conhecimentos empíricos, o segundo pela relação causal entre dados. E o terceiro por meio de extrapolação ou modelagem. Cada método tem sua adequação associado aos objetivos a serem alcançados e da escala de trabalho (Grêt-Regamey *et al.*, 2017).

Quadro 3.2: Principais dados e níveis de quantificação utilizados para a realização dos indicadores de PSEU.

Função	Serviço	Nível de Quantificação	Dados	Fonte dos Dados
<b>Provisão</b>	Potencial de Recarga de Aquíferos	Extrapolação/ Modelagem	Mapa de solos; Mapeamento UST*; MDE; Declividade*; Precipitação	Reatto <i>et al.</i> , 2004 (modificado); TERRACAP, 2010; ANA, 2017; ADASA, 2017
	Disponibilidade Hídrica Subterrânea	Associação de valores/conhecimentos empíricos	Vazão média de poços	-
	Qualidade da água Subterrânea		Mapeamento de enquadramento dos aquíferos	Castanheira, 2016
	Qualidade da água Superficial		IQA	ANA, 2016
<b>Regulação</b>	Potencial de Erosão	Extrapolação/ Modelagem	Mapa de solos; Mapeamento UST*; MDE; Declividade*; Fator Topográfico*; Precipitação	Reatto <i>et al.</i> , 2004 (modificado); TERRACAP, 2010; ANA, 2017; ADASA, 2017

	Potencial de Risco ao Alagamento		Mapa de solos; Mapeamento UST*; MDE; Declividade*; Fluxo Acumulado*	
	Escoamento Superficial		Mapa de solos; Mapeamento UST*; Precipitação	Reatto et al., 2004 (modificado); ANA, 2017; ADASA, 2017
<b>Cultural</b>	<b>Área Verde</b>	Relação causal	Imagem Pleiades; NDVI*	

Legenda: MDE - Modelo Digital de Elevação; IQA - Índice de Qualidade da Água; UST - Tipos de Estruturas Urbanas; NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (\*Dados gerados nesta pesquisa).

Todos os indicadores foram normalizados para valores numa escala de 0 a 1 para que se pudesse compará-los posteriormente. A integração dos SEUrb, para a obtenção do índice de potencial de serviços ecossistêmicos urbanos (IPSEU), foi realizada por meio do somatório igualmente ponderado dos indicadores de PSEU (Dobbs *et al.*, 2014).

Cabe destacar que para Dobbs *et al.* (2014), o objetivo de gerenciar vários serviços ecossistêmicos simultaneamente é prevenir uma maior degradação, buscando minimizar os impactos nas áreas de baixo provisionamento de serviços ecossistêmicos, dessa forma, quando não há informação disponível sobre a importância dos diferentes serviços, é preferível ponderá-los igualmente na análise, como realizado aqui.

Por fim a análise de agrupamento dos IPSEU, foi realizada por meio do índice *Global Moran's I*, e o indicador local *Getis-Ord Gi*. O Índice *Global Moran's I* trata-se de uma técnica utilizada para determinar se existe uma dependência espacial na ocorrência de certo fenômeno. Essa técnica calcula a autocorrelação espacial considerando a localização da feição e o valor do atributo que se pretende analisar. A autocorrelação espacial indica a correlação de uma mesma variável medida em diferentes locais no espaço (Chun & Griffith, 2013).

O indicador local *Getis-Ord Gi* calcula a estatística “*Getis-Ord Gi*” para cada feição em um conjunto de dados. O parâmetro “G-estatístico” informa se feições com valores altos ou feições com baixos valores tendem a agrupar-se na área de estudo. Esta ferramenta trabalha olhando para cada feição dentro do contexto das feições vizinhas. Se o valor de uma feição é alto, e os valores para todas as feições vizinhas também são altos essa região caracteriza-se por uma parte de um *Hot Spot* (Chun & Griffith, 2013).



### 3.3 RESULTADOS

Esta seção aborda os resultados obtidos para os indicadores de Potencial de Prestação dos Serviços Ecosistêmicos Urbanos, que possuem relação com os recursos hídricos, bem como o resultado obtido para o índice (IPSEU) gerado a partir da agregação dos primeiros.

#### 3.3.1 POTENCIAL DE PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS URBANOS

Foram mapeados oito serviços ecosistêmicos (Figura 3.4), dos quais, quatro serviços têm a função de provisão, três têm a função de regulação e um é do tipo cultural, todos relacionados ao ciclo das águas. Os serviços foram identificados e mapeados tendo como unidade espacial os Tipos de Estruturas Urbanas (Figuras 3.5 e 3.6), pois um dos objetivos é determinar os impactos na prestação dos SEUrb pelas UST.

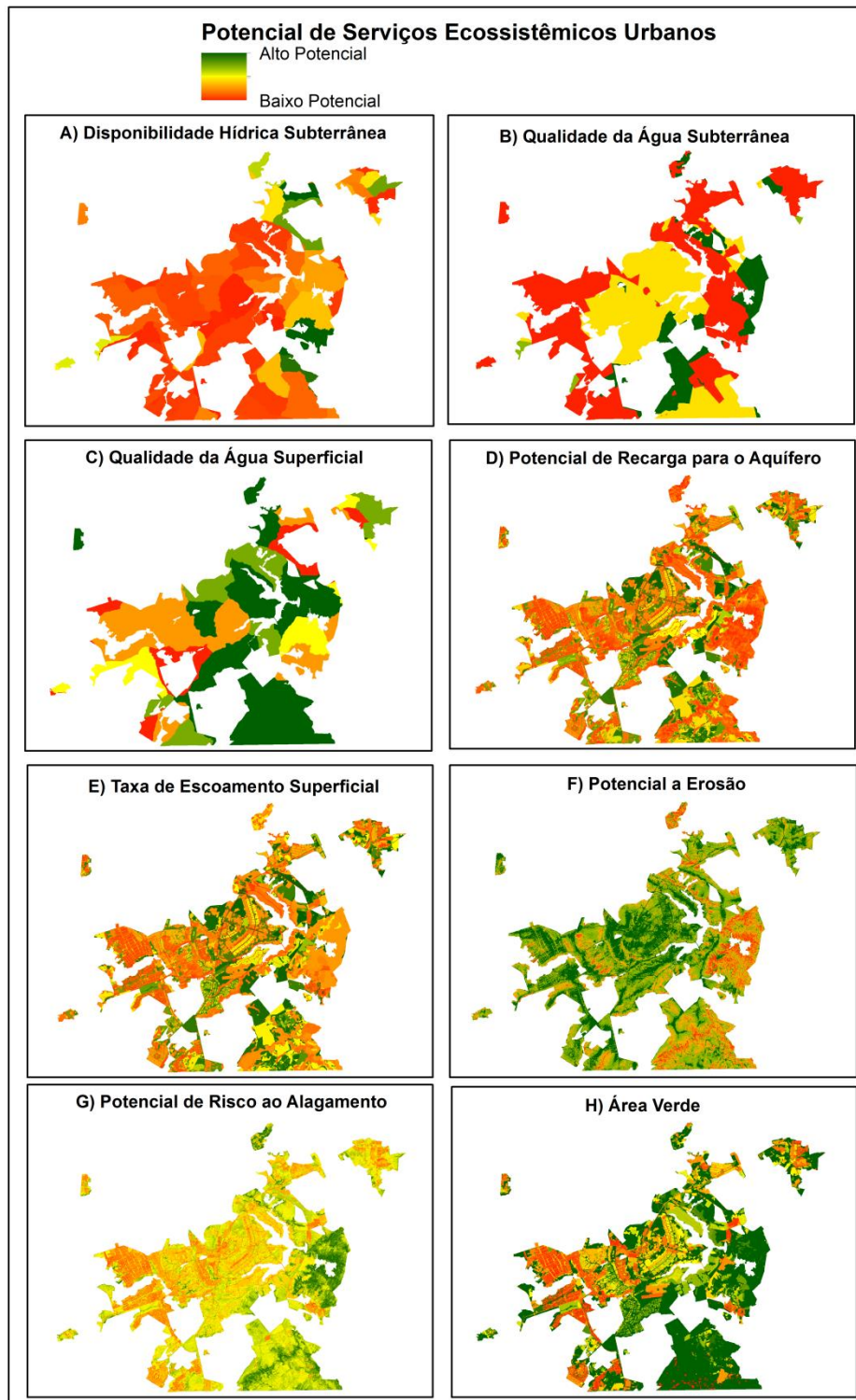
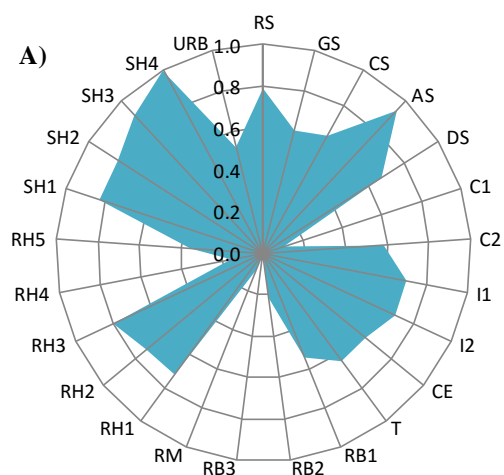
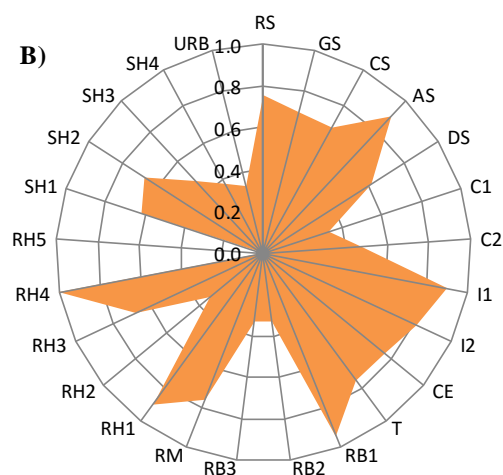


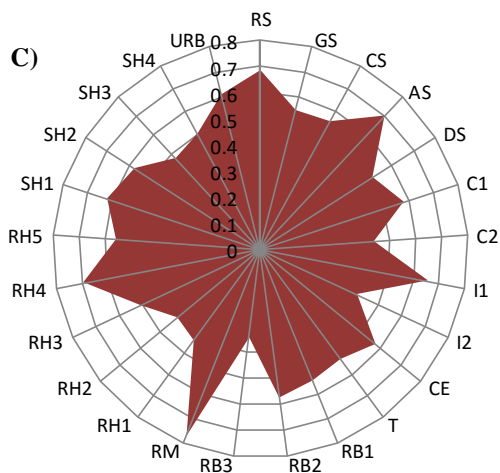
Figura 3.4: Indicadores do potencial de prestação de serviços ecossistêmicos urbanos. A) Disponibilidade hídrica subterrânea; B) Qualidade da água subterrânea; C) Qualidade da água superficial; D) Potencial de recarga para o aquífero; E) Taxa de escoamento superficial; F) Potencial de erosão; G) Potencial risco ao alagamento e; H) Área Verde.



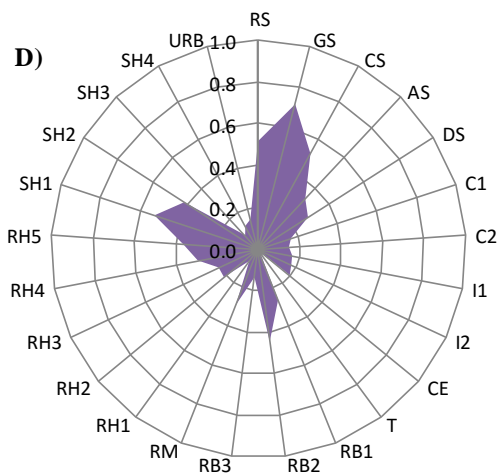
Disponibilidade Hídrica Subterrânea



Qualidade da Água Subterrânea



Qualidade da Água Superficial



Potencial de Recarga para o Aquífero

Figura 3.5: Potencial de prestação de SEUrb de função de provisão por UST. A) SEUrb de disponibilidade hídrica subterrânea; B) SEUrb de qualidade da água subterrânea; C) SEUrb de qualidade da água superficial e; D) SEUrb de potencial de recarga para o aquífero.

O PSEU de disponibilidade hídrica subterrânea apresentou o valor mais alto identificado na classe SH4 (1,0), seguido das classes SH3 e Espaços Agropecuários (AS) ambas com valor 0,9. Em contrapartida os menores valores foram verificados nas estruturas RB3 (0,0), RM (0,1), Comércios (C1 - 0,1) e RH4 (0,2), respectivamente.

Para o PSEU de qualidade da água subterrânea o valor mais baixo (0) foi encontrado para a classe RH5 e o valor mais alto (1) na classe RH4. As classes Espaços Agropecuários (AS), RB1, Indústria (I1) e RH1, também apresentaram valores altos deste serviço (0,9).

Para o PSEU de qualidade da água superficial o valor mais baixo (0,3) foi encontrado na classe RB3. As classes Comércio, Residência e Indústria (I2), RH2, RH1 e Comércio e Residência (C2) também apresentaram, na média, baixos valores, inferiores a 0,5. A classe RM apresentou o maior valor médio (0,8), seguida das classes Espaços Agropecuários (AS), RH4, Espaços Remanescentes (RS) e Indústria (I1), todas com valores superiores a 0,7.

Para o PSEU de potencial de recarga para o aquífero os valores médios por classe variaram entre 0 e 0,7, sendo o menor valor atribuído a classe Sistema Viário (T), as classes RH1, SH3, SH4, RB3 e Urbanização (URB), também apresentaram valores baixos, todas com 0,1. O maior valor identificado foi para a classe Espaços Verdes (GS), em seguida o maior valor foi de 0,5, verificado nas classes RB2, Espaços Remanescentes (RS), Espaços Comunitários (CS) e SH1.

Para os PSEU que tem a função de regulação (Figuras 3 a - c) os valores médios identificados por UST para o PSEU de Escoamento Superficial variaram entre 0 e 0,8. A melhor situação verificada foi observada na UST Espaços Verdes (GS), as classes, Espaços Remanescentes (RS), RH1 e Espaços Comunitários (CS) apresentaram valores médios de 0,6. As piores situações estão na classe Sistema Viário (T - 0) e para as classes RH1 e SH3, ambas com valor médio de 0,1.

De todos os PSEU analisados, o serviço de potencial de erosão foi o que se mostrou mais homogêneo, com valores médios superiores a 0,5 por classe. Tal fato se deve a probabilidade de perda de solo ser extremamente baixa em áreas impermeabilizadas (área urbana consolidada). Os valores mais altos (1) constam nas classes RM, RB1, RB2, T e Comércio C1. Já os menores valores foram observados nas classes SH4, Espaços Remanescentes (RS), Espaços Degradados (DS) e Urbanização (URB).

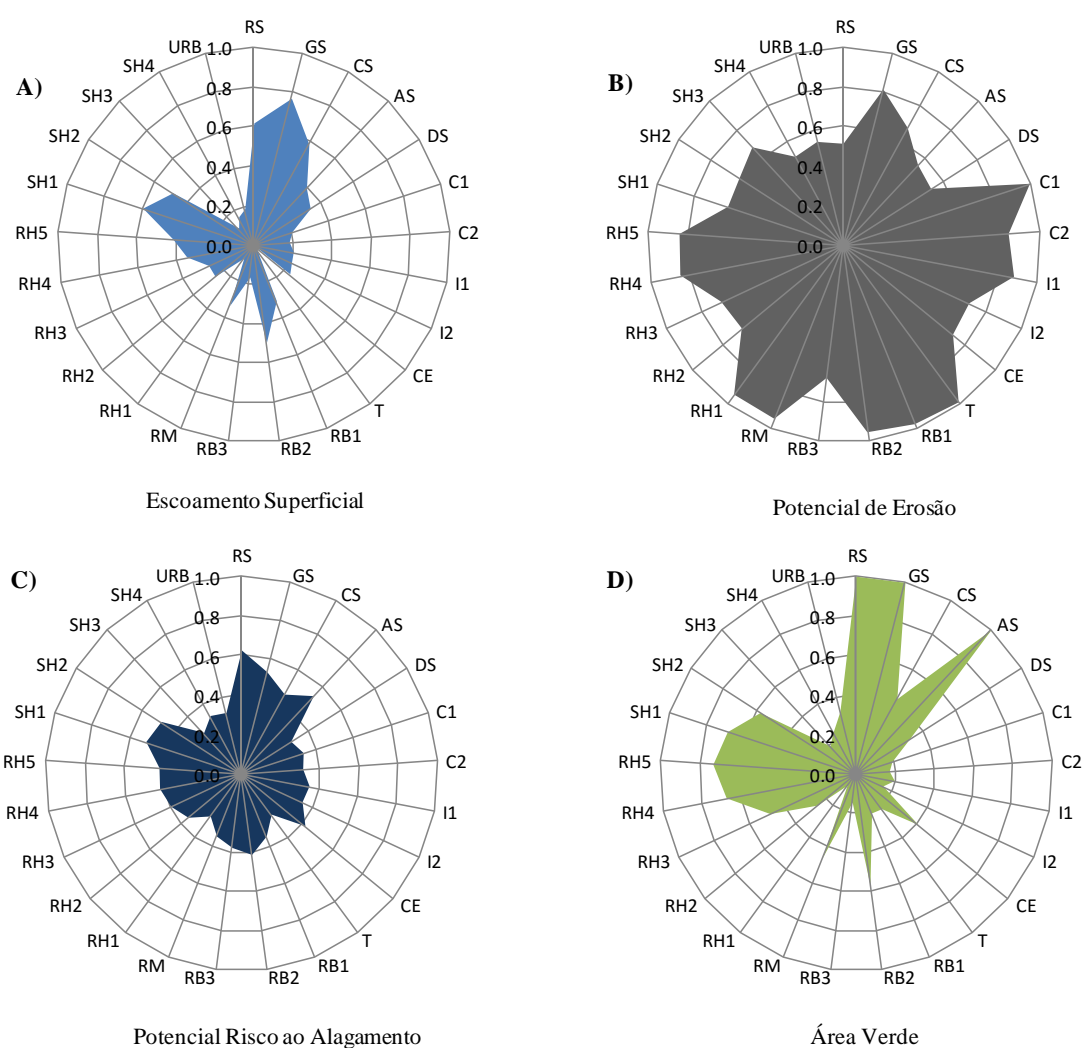


Figura 3.6: Potencial de SEUrb de função de Regulação. A) SEUrb de Escoamento Superficial B) SEUrb de Potencial de Erosão; C) SEUrb de Potencial de risco ao alagamento e; D) Potencial de SEUrb de função Cultural: SEUrb de Disponibilidade hídrica subterrânea.

Para o PSEU de Potencial ao risco de alagamento os valores médios variaram de 0,3 a 0,6. Onde os valores mais baixos foram verificados para as classes T, RH1 e SH3, SH4, RB1, RM, Comércio (C1), Comércio e Residência (C2), Indústria, comércio e Residência (I2), Espaços Degradados (DS), Urbanização (URB). E os valores médios mais elevados foram identificados nas classes Espaços Remanescentes (RS - 0,6), Espaços Agropecuários (AS - 0,53), Espaços Verdes (GS - 0,53) e SH1 (0,51).

O PSEU de área verde (Figura 3.6d) associado a função ecossistêmica cultural. Os valores médios variaram entre 0,1 e 1. Os maiores valores foram encontrados nas estruturas pertencentes à classe Áreas Abertas (AS, RS e GS). Para o restante da área

urbana as classes com maior presença em área verde foram SH1, RH4 e RH5. E os menores valores foram identificados nas classes RH1 e RB3.

### 3.3.2 ÍNDICE DO POTENCIAL DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS URBANOS (IPSEU)

Os PSEU foram ponderados igualmente (Dobbs *et al.*, 2014) objetivando gerar um índice que aponta o grau de prestação dos serviços ecossistêmicos urbanos (Figura 3.7). Os valores dos PSEU integrados foram normalizados de 0 a 1, de modo que quanto mais próximo de 0 menor a prestação de PSEU e quanto mais próximo de 1, maior é a prestação.

Na área urbana do DF os valores do IPSEU variaram de 0,08 a 0,9. As áreas que apresentam maior IPSEU coincidem com os espaços urbanos não impermeabilizados, onde há mais fortemente a presença de vegetação rasteira ou arbórea, como por exemplo, nas porções de vegetação remanescente de cerrado nas regiões de Brasília, Lago Sul e Jardim Botânico. Por outro lado, os menores valores se concentram na porção oeste do DF. A tabela 7.2 do Apêndice A apresenta as análises estatísticas básicas para o IPSEU por tipo de estruturas urbanas.

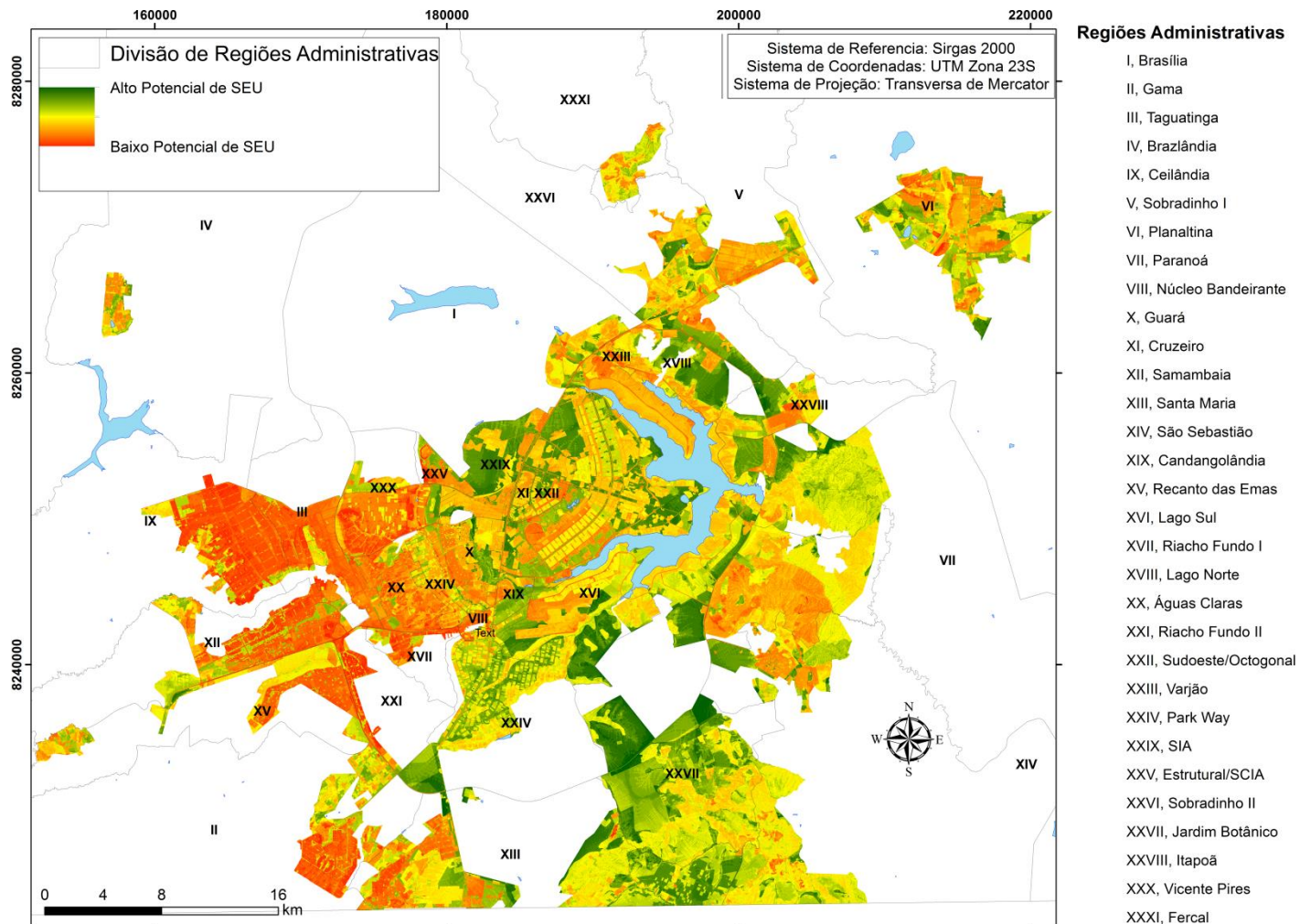


Figura 3.7: Distribuição espacial do Índice do Potencial de Prestação de Serviços Ecosistêmicos Urbanos do DF.

O gráfico da figura 3.8 mostra os valores médios do IPSEU por tipo de estrutura urbana. O valor médio do IPSEU por UST variou de 0,28, nos padrões SH4, SH3 e RH1 até 0,61 no tipo de estrutura Espaços Verdes (GS). Como pode ser observado no gráfico (Figura 3.8) os valores mais altos ocorrem nas classes (GS - Espaços Verdes e RS - Espaços Remanescentes) que tem como característica a presença de vegetação, seja ela remanescente do bioma cerrado ou cultivada.

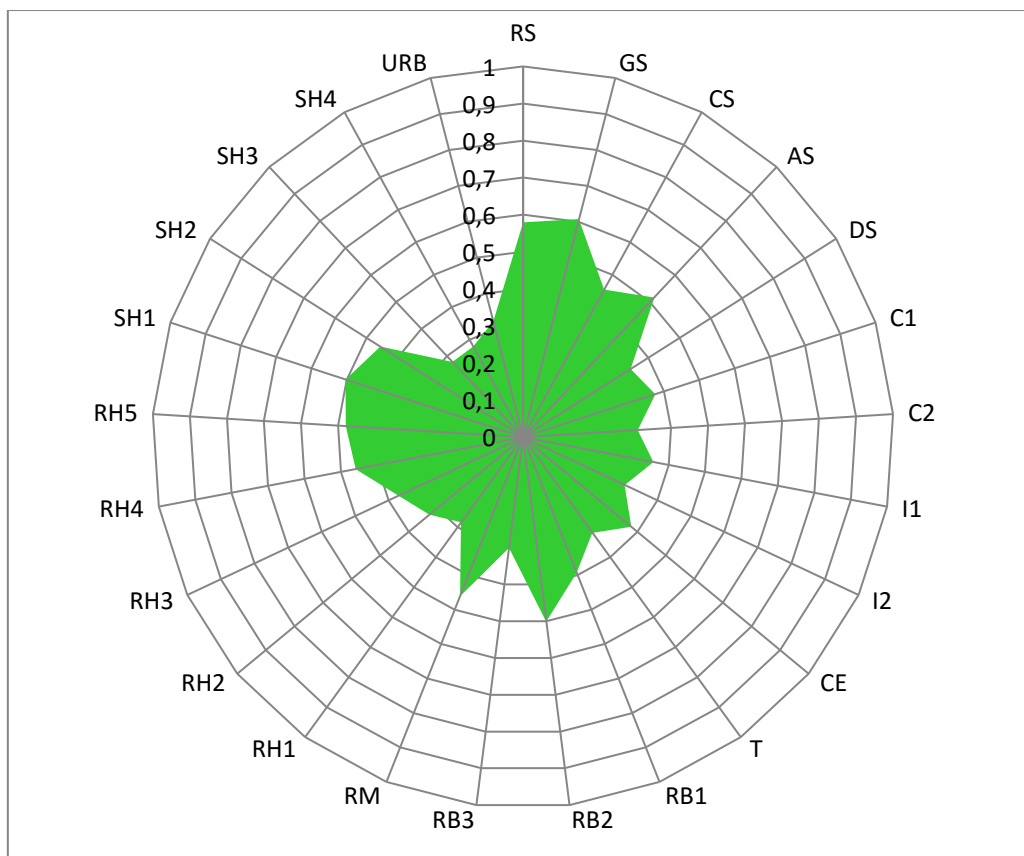


Figura 3.8: Gráfico com os valores médios do IPSEU por UST para o DF.

Os valores mais baixos de IPSEU (inferiores a 0,3) ocorreram nas classes pertencentes a Áreas de Transição, áreas urbanas em expansão, onde a área urbana ainda não está totalmente consolidada (SH4 e SH3) e na classe pertencente a área Residencial (RH1), já consolidada. As classes SH4 e SH3 possuem baixas taxas de área verde, em torno de 20% a 25%. Cabe ressaltar que a classe RH1 é também a classe com a menor taxa de área verde presente no DF, algo entorno de 8%.

É interessante destacar que das áreas com função residencial, sejam elas já consolidadas ou não, as classes com maior IPSEU foram respectivamente SH1, RB2, RH5, RM, RH4 e RH2. Com exceção das classes RB2 e RM as demais classes



identificadas possuem como característica possuir lotes com tamanho superior a 1000 m<sup>2</sup> e densidade relativamente baixa entre os elementos construtivos. Já a classe RB2 e RM são compostas por condomínios verticais, e no caso da RM de residências, cercados por uma faixa de área verde. Todas essas classes possuem como característica a presença de área vegetada, em diferentes porcentagens dependendo da classe. Comparando esse resultado com a taxa de área verde das UST, percebe-se que essas classes possuem também altas taxas de área verde, superiores a 46%.

Apontam-se ainda as classes Espaços Agropecuários (AS), que apresentou um IPSEU de 0,52 e a classe Espaços comunitários (CS) com IPSEU de 0,45, sendo que a classe AS possui taxa de área verde de 100% e a classe CS em torno de 40%. Também convém salientar a classe Sistema Viário (T), que mesmo representando as principais vias pavimentadas, não apresentou o menor valor de IPSEU, mesmo tendo sido baixo. Muitas das principais vias do DF possuem canteiro central gramado ou arborizado, o qual está incluído na classe, assim essa classe possui cerca de 20% de área verde, taxa superior a de outras estruturas.

Na tabela 7.3 do apêndice A são apresentados os valores médios de IPSEU para a área urbana de todas as RA do DF. A média dos valores de IPSEU por RA variou entre 0,30 e 0,54. As RA que apresentaram os valores médios de IPSEU mais baixos (até 0,39) foram respectivamente Ceilândia, Riacho Fundo II, Taguatinga, Riacho Fundo I, Núcleo Bandeirante, Águas Claras, Vicente Pires, Samambaia, Varjão e Gama. A maior parte dessas regiões possuem sua área já consolidada, sendo a maior parte impermeabilizada.

As RA com os índices médios mais altos (acima de 0,53) foram SIA, Candangolândia, Park Way e Paranoá respectivamente. As RA SIA, Candangolândia e Paranoá apresentam respectivamente, cerca de 53%, 63% e 78% de sua área urbana composta pelas classes Espaços Verdes (GS) e Espaços Remanescentes (RS). Já na região do Park Way mais de 60% da área urbana já está instituída, porém aproximadamente 30% desse montante possui residências que tem como característica grandes lotes com áreas verdes como jardins e pomares, além de apresentar condomínios com lotes ainda não ocupados, mantendo algum tipo de vegetação e os condomínios e quadras são cercados por uma faixa verde.

A análise da distribuição espacial do IPSEU baseada no índice *Global Moran's I* demonstraram que existe um agrupamento dos serviços, preferencialmente dos altos valores prestados, com menos de 1% de probabilidade de o resultado ser randômico. Posteriormente foi aplicado o indicador local *Getis-Ord Gi*, que aponta os agrupamentos

de altos e baixos valores. A parte central e a extremidade leste da área urbana apresentam agrupamentos com valores mais altos de IPSEU, já a parte oeste e uma porção da norte apresentam agrupamentos de valores mais baixos (Figura 3.9).

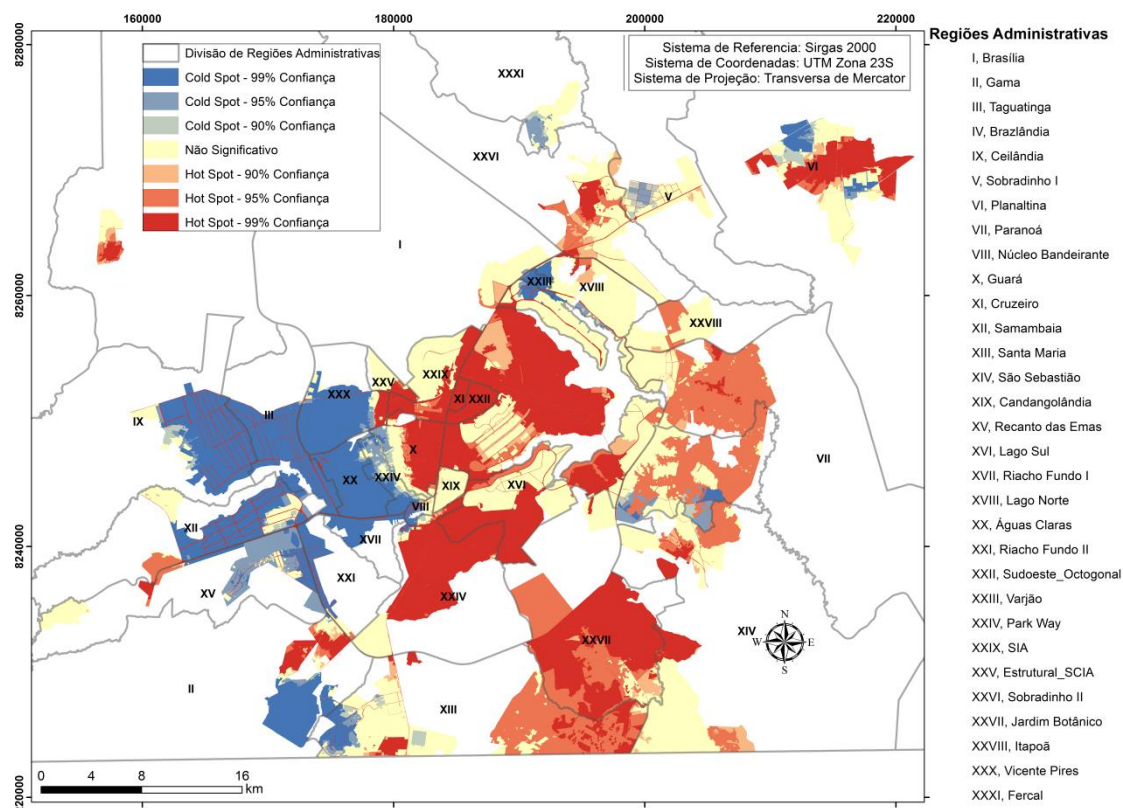


Figura 3.9: Mapeamento dos tipos de agrupamentos baseado na análise de autocorrelação local dos valores do IPSEU.

Apresentam presença significativa nas porções com agrupamentos de muito baixos valores as regiões administrativas, a saber: Ceilândia, Taguatinga, Samambaia, Recanto das Emas, Águas Claras, Vicente Pires, Varjão, Riacho Fundo I e II, Núcleo Bandeirante e Fercal. Já as RA Planaltina, Santa Maria, Park Way e Gama apresentam tanto agrupamento de altos valores como de baixos valores.

As áreas com agrupamentos de altos valores estão contidas com maior expressão nas RA Sudoeste/ Octogonal, Jardim Botânico, Brasília, São Sebastião, Brazlândia, Cruzeiro, Guará, Estrutural, SIA e Paranoá. As regiões do Lago Norte, Lago Sul, Itapoã e Sobradinho I não apresentam dos valores de SEUrb, o que demonstra que estas áreas tem uma grande variabilidade na prestação destes serviços. Foi calculado o percentual de área de cada UST com pertinência nas classes de ocorrência da análise de agrupamento de altos e baixos valores do IPSEU (Figura 3.10).

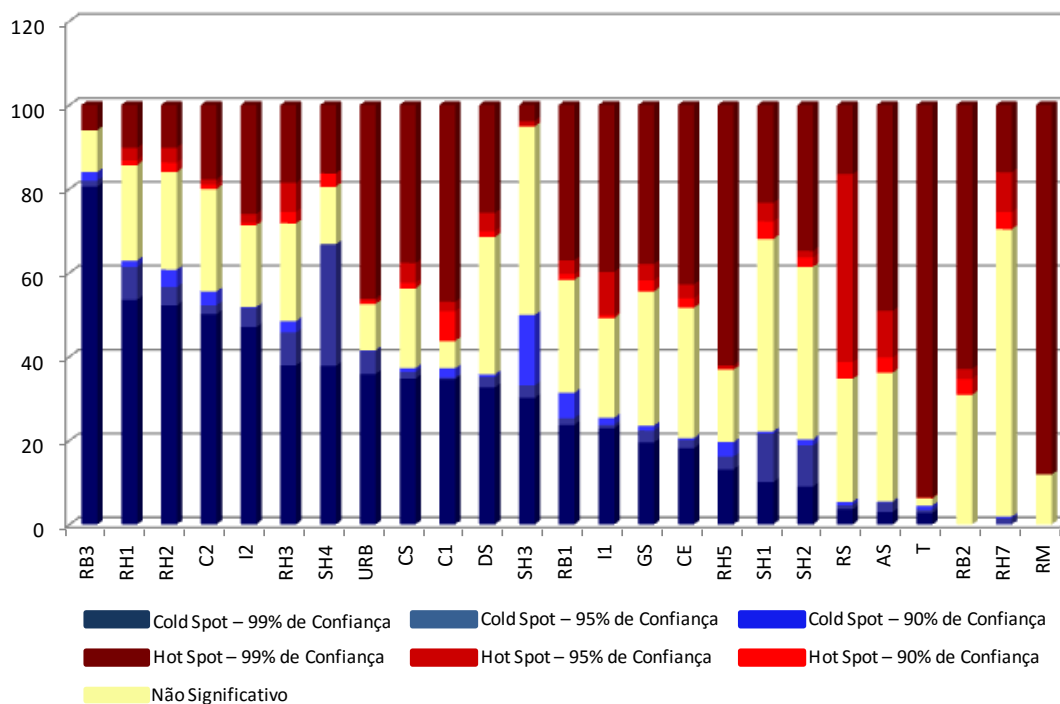


Figura 3.10: Distribuição da ocorrência em área, para os agrupamentos de autocorrelação espacial por UST.

De acordo com o gráfico da figura 3.10, é possível identificar os padrões urbanos com maior ocorrência para os agrupamentos de baixos e altos valores do IPSEU. Para as classes com maior ocorrência nas áreas de baixos valores a classe RB3 se destaca atingindo mais de 80%, seguida da classe SH4, com aproximadamente 67%. As classes RH1 e RH2, também possuem alto percentual nesse agrupamento, superior a 60%. E variando de 30 a 60% de ocorrência estão ainda às classes Comércio e Residência (C2), SH3, Comércio, Residência e Indústria (I2) e RH3.

Para os agrupamentos de muito altos valores as classes que possuem os maiores percentuais em área são Sistema Viário (T) e RM, com áreas superiores a 85% nesse agrupamento. As classes RB2 com 69%, Espaços remanescentes (RS), com 65%, Espaços Agropecuários (AS), com 64% e RH5, com quase 63%. As classes Comércio (C1), Indústria (I1), Equipamentos Comunitários (CE), Urbanização (URB), Espaços Verdes (GS), Espaços Comunitários (CS), RB1, SH2 e SH1 também possuem um percentual elevado de ocorrência nesse agrupamento, em torno de 30% a 60%. A classe RH4 possui área expressiva em que não existe agrupamento, estatisticamente seu comportamento é aleatório ou disperso. As classes SH2, SH1 e SH3 também possuem grande parte de suas áreas nesse agrupamento, entre 41% e 46%.

### 3.4 DISCUSSÕES

Esta seção aborda as principais discussões acerca dos resultados obtidos. Abrange os pontos mais relevantes em relação aos indicadores gerados e sua relação com o espaço urbano analisado. Trata também das principais relações entre os resultados alcançados para o índice e a área analisada.

#### 3.4.1 POTENCIAL DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS URBANOS

Cerca de 5% da população do Distrito Federal é abastecida por meio de captações subterrâneas, a grande maioria dessas captações reforça o sistema de abastecimento da rede geral, excetuando-se a região de São Sebastião que é totalmente atendida por meio de poços tubulares profundos (CAESB, 2014). Em relação aos indicadores de disponibilidade hídrica subterrânea, qualidade da água subterrânea e potencial de recarga de aquífero essas áreas merecem atenção especial.

Como pode ser observado nas figuras 3.4a e 3.11, no que se referem à disponibilidade hídrica as captações presentes nas regiões de Sobradinho I, Jardim Botânico e São Sebastião estão em áreas com alto potencial de prestação desse serviço. Planaltina possui captação em uma área onde ocorrem valores muito baixos do indicador, assim como captações no Gama, Brasília e Santa Maria também estão em porções com baixa disponibilidade hídrica subterrânea.

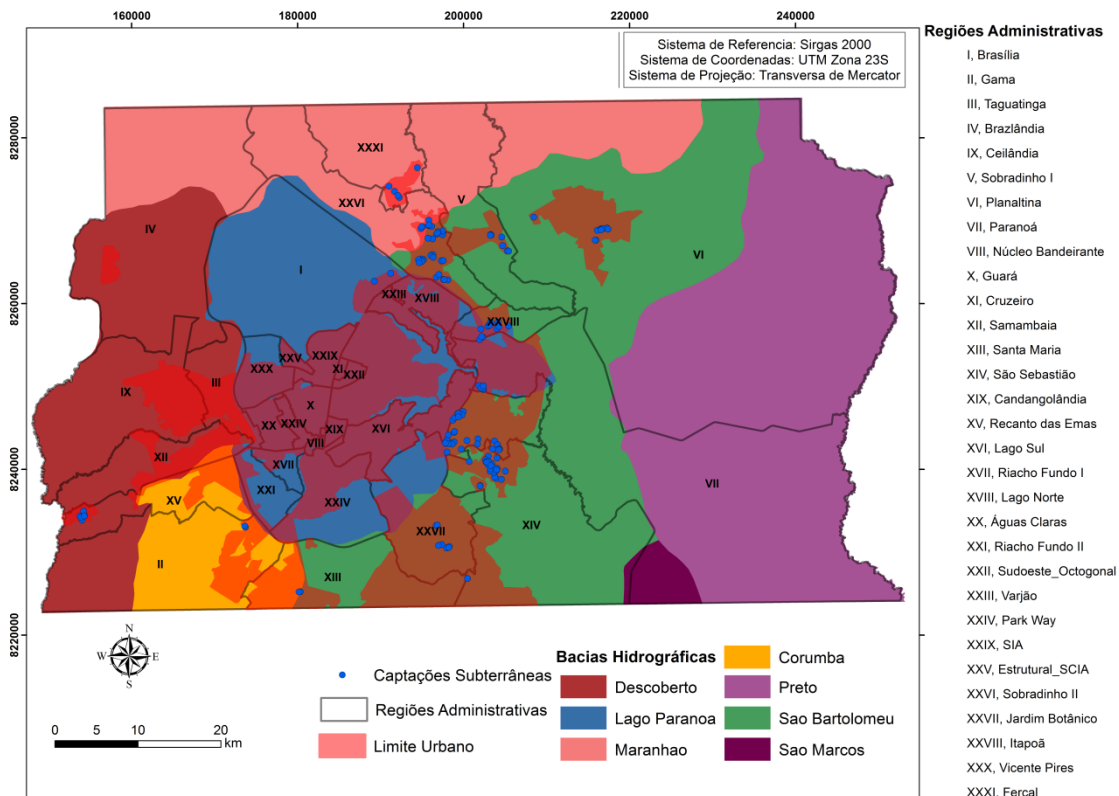


Figura 3.12: Bacias hidrográficas, regiões administrativas e captações subterrâneas do DF.

O potencial de recarga de aquífero é um indicador essencial para as áreas com esse tipo de captação, pois o seu funcionamento irá afetar diretamente a quantidade de água disponível para o abastecimento da população. De uma maneira geral, a maioria das captações presentes na área de estudo está em áreas com baixo potencial de prestação desse serviço, ressaltando-se principalmente as captações das RA Fercal, Jardim Botânico e São Sebastião.

O Zoneamento Ecológico Econômico do DF (ZEE, 2017) realizou uma série de estudos ambientais, dentre eles uma análise do risco de perda de áreas de recarga de aquífero. Para as localidades onde a área urbana já está consolidada esse estudo corrobora o que foi desenvolvido pelo ZEE, onde as áreas presentes na classe de alto risco a perda de área de aquífero coincidem com as áreas de baixo potencial de prestação desse serviço, exceto para as regiões do Lago Norte, Sobradinho e Brazlândia. Em contrapartida, algumas porções mais a leste (São Sebastião, Jardim Botânico e Paranoá), norte (Fercal) e sul (Santa Maria e São Sebastião) da área de estudo apresentam baixo potencial de recarga e de acordo com o ZEE se encontram em áreas de muito baixo e baixo risco a perda de área de recarga. Algumas áreas que apresentaram os maiores valores para potencial de prestação desse serviço foram enquadradas como de Alto risco a perda de

recarga de aquífero como, por exemplo, porções específicas no Park Way, Jardim Botânico, Paranoá e Itapoã. Essas áreas merecem atenção, pois mesmo tendo os maiores valores de potencial de recarga na área analisada, encontra-se em áreas críticas para a manutenção de seu funcionamento.

Para o indicador de qualidade da água subterrânea quase que a totalidade das extrações subterrâneas, com sobreposição com a área de estudo, se encontra nas partes com os menores valores de potencial de prestação deste serviço, porém deve-se considerar que um dos critérios para classificar essas áreas como de alto risco a contaminação (Castanheira, 2016) está condicionado à alta densidade urbana. De todo modo, tal fato merece ser analisado com cautela e maior atenção, não só para a questão do abastecimento, tendo em vista que a água passa por um processo de tratamento para poder ser distribuída à população, mas principalmente para os impactos ambientais que isso implica.

De acordo com Tonello (2005), a água é um excelente indicador ambiental da qualidade do manejo do solo pelo homem. Para ele, as águas que drenam uma região apresentam características físico-químicas intrínsecas, que refletem as atividades de uso e ocupação da terra. Assim sendo, o indicador de qualidade superficial da água espacializado pode indicar quais áreas e conseqüentemente, quais usos têm um maior impacto sobre os recursos hídricos.

De acordo com as figuras 3.5c e 3.11, nota-se que as regiões com os valores mais baixos de IQA superficiais estão concentrados na porção oeste do DF, correspondente as áreas de contribuição das bacias do Descoberto, Paranoá e Corumbá, principais mananciais de abastecimento atual e futuro. São também as áreas com alta ocorrência dos tipos de estrutura SH3, RH1, RH2, RB1 e RB3, padrões com elevada taxa de impermeabilização do solo.

As RA Vicente Pires, Águas Claras, Núcleo Bandeirante, Candangolândia, Riacho Fundo I e II e parte do Park Way estão entre as áreas com menores valores, citadas anteriormente, essas áreas fazem parte da sub-bacia do Riacho Fundo e drenam para a bacia do lago Paranoá, desaguando no braço de mesmo nome, sendo este o mais impactado pelo assoreamento e sedimentos no lago (Menezes *et al.*, 2012).

Com exceção da sub-bacia do Riacho Fundo, as demais áreas da bacia do lago Paranoá apresenta valores altos de qualidade das águas superficiais. A região da Fercal e parte de Sobradinho II, se encontram em áreas com altos valores, localizadas na bacia do rio Maranhão e também área de proteção ambiental de Cafuringa. Parte das RA de Santa

Maria, Jardim Botânico e São Sebastião, situadas na bacia do rio São Bartolomeu, também apresentam altos valores para o índice. Nessas áreas com presença de altos valores verifica-se que as estruturas urbanas predominantes são Espaços Remanescentes (RS), Espaços Verdes (GS) e também Espaços Agropecuários (AS).

Os indicadores de Escoamento Superficial e Potencial de alagamento de uma maneira geral estão associados com a taxa de área impermeável. Para ambos os serviços os tipos de estruturas urbanas onde os valores médios de ocorrência foram menores correspondem às áreas com as maiores taxas de área impermeável, de acordo com o estudo de (Capítulo 2). São elas Sistema Viário (T), RH1 e SH3. A classe RH1 é o padrão residencial que mais ocorre no DF (6%), sendo predominante em 13 das 31 RA existentes e é também o padrão que apresenta a maior quantidade de habitantes, representando quase 50% da população urbana do DF (Apêndice B), além de ter a menor taxa de área verde, inferior a 10%.

O SEUrb de Potencial de Erosão não apresenta um comportamento tão nítido por estrutura, porém de uma maneira geral apresenta um comportamento oposto ao dos indicadores anteriores, onde as áreas urbanas consolidadas apresentam níveis mais altos desse serviço. O estudo realizado pelo ZEE (2017) também apresenta um mapeamento de risco a erosão, que coincide com os resultados aqui obtidos, onde as áreas urbanas consolidadas apresentam baixo risco e as áreas com mais alto risco são as que possuem as taxas mais altas de potencial à erosão.

Deve-se considerar que para os serviços com função de regulação às demais variáveis envolvidas como tipo hidrológico do solo e as características do relevo tem forte influência. Para ilustrar destaca-se o caso da estrutura RH4 que apesar de possuir uma taxa alta de área verde, possui um tipo de solo com uma taxa baixa de infiltração da água o que impacta em vários serviços e isso se refletiu no resultado para o agrupamento dos serviços, mesmo com valor médio de 0,46 de IPSEU, não apresentou agrupamento de valores estatisticamente significativos. Essa consideração é importante principalmente para o planejamento, pois dependendo das características biofísicas da área alguns tipos de estrutura urbana serão insustentáveis, em um curto período de tempo irão saturar diversos serviços ecossistêmicos.

Como demonstrado nos resultados e em outros trabalhos (Réquia Jr. *et al.*, 2016a e b) a quantidade de área verde reflete diretamente nos serviços ecossistêmicos e, por conseguinte no bem-estar da população. Excetuando as denominadas áreas abertas (RS, DS, GS, CS e AS) restam aproximadamente 48% de área urbana já consolidada e em

expansão, desse montante a média de área verde é de 35%. Para o agravamento dessa situação a área predominante RH1, com 6% em área apresenta apenas 8% de área verde. Somando a isso, à classe com segunda maior taxa em área, RH2, tem-se 11% da área efetivamente ocupada do DF com uma taxa média de área verde de 16,5%. Essas duas estruturas juntas abrigam aproximadamente 65% da população urbana (Apêndice B).

Já as classes com as maiores concentrações de área verde ocorrem em RA específicas. A classe com maior predominância em área verde (RH5) abrange menos de 1% em área, e possui população inferior a 1%, sendo presente apenas na RA Park Way. O padrão RH4 ocupa cerca de 4% da área urbana do DF, e só ocorre nas RA Lago Norte e Lago Sul e abrigam menos de 3% da população. Já o padrão RB2 ocorre em menos de 1% da área urbana, está presente apenas na RA Brasília e abriga cerca de 9% da população. E o padrão SH1 ocorre em áreas isoladas em todo o DF, e abrange menos de 1% da população. Desta maneira, com relação à quantidade de pessoas que usufruem diretamente dos benefícios causados por esse serviço (redução de ruídos, atenuação de ilhas de calor, purificação do ar, dentre outros), pode-se considerar que o padrão RB2 é o mais eficiente no DF.

#### 3.4.2 ÍNDICE DE POTENCIAL DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS URBANOS: PRINCIPAIS ANÁLISES

Para os tomadores de decisão, tendências globais ou padrões entre os serviços ecossistêmicos podem ser mais úteis do que a avaliação dos serviços de forma singular (Haase *et al.*, 2012). Assim, compreender a relação entre os serviços ecossistêmicos e o ambiente urbano e suas diferentes partes é de suma importância. Com a análise dos SE de acordo com os padrões urbanos tem-se uma visão mais adequada de como a dinâmica urbana impacta o meio em que está inserida, a partir de então é possível identificar os principais problemas e agir de maneira mais eficiente para mitigação destes e também para um planejamento e monitoramento desse espaço de modo mais eficiente.

Para Eigenbrod *et al.* (2011), em relação à evolução da dinâmica de crescimento urbano, o melhor padrão de estrutura a ser implementada irá depender do SEUrb considerado, destacando o desafio de prever e gerenciar de forma sustentável os serviços ecossistêmicos sob a mudança dos padrões de uso da terra. Todos os SEUrb analisados possuem uma relação direta ou indireta (ex. índice de área verde) com os recursos hídricos, esses serviços atuam na manutenção do ciclo hidrológico possibilitando a



continuidade da disponibilidade hídrica. Dessa forma, todas as modificações exercidas no ambiente tem influência sobre a manutenção dos SEUrb. De forma particular todas as alterações que ocorrem na área urbana tem um impacto para os mananciais (e toda a bacia que fazem parte), assim como as alterações nesses mananciais também trazem consequências para a área urbana.

Analisando as figuras 3.7, 3.8 e 3.11, podemos perceber que as estruturas com os valores mais baixos para o IPSEU (ex: SH3, SH4, RH1, RB3) situam-se em maior proporção na parte sul do DF. Esses dados apontam para uma deficiência na prestação de SEUrb, bem como para a manutenção do ciclo da água, causando dessa forma, um impacto direto para as bacias do rio Descoberto, Corumbá e Paranoá principais mancais de abastecimento humano do DF. A barragem do Descoberto é responsável pelo abastecimento de 61,5% da população do DF (CAESB, 2014). O reservatório de Corumbá irá abastecer quatro municípios do estado de Goiás e juntamente com captações do lago Paranoá irá reforçar o abastecimento da população do DF (CAESB, 2015).

As RA do Guará, Paranoá e Varjão e Itapoã também apresentam áreas com valores baixos de IPSEU (3.7), em que sua maior proporção em área corresponde ao padrão RH1, as RA do SIA e Estrutural também apresentam baixos valores, ocorrendo nessas áreas principalmente os padrões Indústria (I1) e SH3 respectivamente. Essas regiões também fazem parte da área de contribuição da bacia do Lago Paranoá (Figura 3.11).

Outras RA que também apresentam baixos valores são Planaltina e Sobradinho II (Figura 3.7), tendo ambas alta ocorrência da UST tipo RH1. As áreas urbanas dessas RA estão inseridas na bacia do rio São Bartolomeu (Figura 3.11), em que há forte implantação de atividades agrícolas e conflitos pelo uso da água (ANA, 2010b), é também uma região sensível para o abastecimento da população, pois as captações são realizadas direto dos mananciais (CAESB, 2014).

A maior parte dos altos valores de IPSEU está localizada dentro da área da bacia do lago Paranoá (Figuras 3.7 e 3.11), em sua maioria em áreas de parques ou de preservação. Também se identificou áreas com altos valores nas RA de Planaltina, Sobradinho II e Jardim botânico, que fazem parte da bacia do rio São Bartolomeu (Figuras 3.7 e 3.11), esses valores estão presentes em áreas com vegetação nativa preservada ou vegetação rasteira. Nas demais bacias altos valores de IPSEU foram identificadas em áreas pequenas e isoladas.

Dobbs *et al.* (2014), analisaram nove SEUrb e a integração destes, na cidade de Melbourne - Austrália. As áreas com maior provisão dos serviços também foram localizadas nos parques e as de mais baixa provisão em paisagens de rua (área com maior taxa de impermeabilização).

Kain *et al.* (2016) desenvolveram um estudo testando dois cenários distintos em relação ao uso urbano da cidade de Estocolmo - Suécia e a produção de SE. No primeiro cenário a cidade possui uma proporção de aproximadamente 70% de área construída e o restante da área urbana com diferentes estratégias de construções com infraestrutura verde (Cenário Vibrante).

O segundo cenário apresenta área construída com cerca de 20% e as demais classes com diferentes infraestruturas verdes (Cenário Capital Verde). A maior parte dos mapas e gráficos demonstrou que o segundo cenário, com maior acréscimo de infraestrutura verde e redução das áreas impermeáveis, proporcionou consideravelmente mais SE.

Os dados de correlação e regressão para densidade demográfica em relação ao IPSEU também demonstraram que há uma associação negativa entre eles, apesar dessa ser pequena. Existe associação negativa também em relação à quantidade de área verde e a densidade. Esses resultados podem ser indicativos do bem estar da população, uma vez que as localidades com maior contingente populacional apresentaram menor presença desses indicadores, o que demonstra que essas áreas são prioritárias para receberem investimentos em infraestrutura visando mitigar esses impactos. Assim como identificar as áreas mais eficientes, onde ocorre grande parte da população e também altos valores dos indicadores e do índice, no caso do DF o padrão onde se verificou essa assertiva foi o RB2.

Os resultados das análises estatísticas espaciais apontam que o índice de potencial de serviços ecossistêmicos é agrupado espacialmente, ou seja, existem locais na área de estudo onde tem uma maior concentração de altos valores do índice e outras onde ocorre o inverso, sendo as maiores concentrações de altos valores.

Com o cruzamento dessa informação com os padrões urbanos foi possível identificar quais áreas apresentam uma situação mais crítica em relação aos SEUrb. Considerando as que possuem maior proporção em área e maior quantidade de pessoas que habitam essas regiões (Capítulo 2 e Apêndice B), pode-se considerar que os padrões mais sensíveis em relação à produção de SE no DF são RH1, RH2, RH4 e Comércio e Residência (C2).

Os resultados obtidos aqui demonstram que existe uma associação entre indicadores e variáveis e a provisão de SEUrb. Essa provisão também possui um comportamento espacial que apresenta relação com determinados padrões urbanos. Novos trabalhos devem ser realizados com o intuito de se entender melhor essas associações e identificar variáveis e indicadores que sejam capazes de distinguir as diferentes UST e explicar a provisão de SEUrb.

### 3.5 CONCLUSÕES

O resultado deste trabalho aponta para o importante papel das áreas urbanas do DF no entendimento da prestação de SEUrb por meio da correlação com diferentes tipos de estruturas urbanas, permitindo uma visão mais detalhada da área urbana por meio de um viés ecossistêmico, identificando as áreas com deficiência destes serviços e as áreas com a prestação dos mesmo. Essa análise demonstrou que a área urbana também tem potencial de prover esses serviços e, além disso, identificar quais tipo de UST no espaço geográfico são mais ou menos eficientes.

Foram identificados, por meio dos indicadores de PSEU do tipo provisão, que existem áreas importantes para o abastecimento do DF, no que tange a utilização de água subterrânea, que necessitam de um melhor monitoramento e planejamento, por se tratarem de áreas sensíveis aos serviços analisados e dessa forma, áreas onde há um risco maior da redução de prestação desses serviços e conseqüentemente da capacidade de continuidade de suas funções hidrológicas.

Áreas urbanas com maior provisão de serviços coincidem com as áreas de maior cobertura vegetal, sendo as estruturas Espaços Remanescentes, Espaços Verdes e Espaços Agropecuários as que possuem maiores médias do índice. Em relação às estruturas que compõe a área urbana consolidada as classes com maior potencial de fornecimento de SEUrb são as classes RB2, SH1, RH5, SH2 e RH4, que são também as áreas com funcionalidade residencial que possuem as maiores taxas de área verde.

As estruturas com menor potencial de prestação dos SEUrb são de modo geral, classes com altas taxas de impermeabilização. O caso da classe residencial RH1 é o que merece maior destaque, pois possui valores muito baixos para a maior parte dos indicadores e também para o IPSEU, sendo que é a classe pertencente à área urbana consolidada com maior presença em área, é a estrutura com maior ocorrência nas RA, além de abrigar quase metade da população do DF.

Observou-se por meio de análises estatísticas que os dados do índice produzido (IPSEU) possuem dependência espacial, verificou-se a existência de agrupamentos espaciais com altos valores de prestação do IPSEU, concentrados principalmente na porção leste do DF, com destaque para a zonal central do DF e a região de Planaltina.

Considera-se que a utilização dos tipos de estruturas urbanas como unidade para mensurar os serviços demonstrou ser um método eficiente, já que proporcionou uma visão mais detalhista acerca do espaço e possibilitou a discriminação das áreas com maior ou menor potencial de SEUrb e sua análise. Assim, acredita-se que este trabalho possa ser utilizado como suporte para a tomada de decisão, no sentido de indicar ações necessárias e definir áreas prioritárias para mitigação de impactos, bem como para o planejamento do território, para a questão ambiental e dos recursos hídricos do DF.

## REFERÊNCIAS

- ANA, Agência Nacional de Águas. 2010a. Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: Resultados por estado. ANA/Engecorps/Cobrape - Brasília. v2. 90p. 2010.
- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). 2010b. Programa produtor de água: relatório de diagnóstico socioambiental da bacia do ribeirão Pípiripau. Disponível em: <file:///F:/Discuss%C3%A3o%20SE/Recursos%20H%C3%ADdricos/Relatorio\_Diagnostico\_Pipiripau\_PRODUTOR\_DE\_AGUA2.pdf>. Acesso em Julho de 2017.
- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). 2016. Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016 / Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2016. 95 p.
- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). 2017. HidroWeb sistema de informações hidrológicas: Séries Históricas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>. Acesso em Abril de 2017.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R.; FASIABEN, M. C. R. 2010. Valoração de serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (SP) e avaliação dos impactos da dinâmica de uso do solo. In: 48 Congresso da SOBER, 2010, Campo Grande-MS. Anais do 48 Congresso da SOBER. 20p.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. ; FASIABEN, M. C. R.; GARCIA, J. R. 2012. Dinâmica do uso do solo e valoração de serviços ecossistêmicos: notas de orientação para políticas ambientais. Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR).v. 25, p. 53-71.
- ARIMORO, O. A. S., LACERDA, A.C.R., TOMAS, W.M., ASTETE, S., ROIG, L.R.; MARINHO-FILHO, J. 2017. Artillery for Conservation: The Case of the Mammals Protected by the Formosa Military Training Area, Brazil. Tropical Conservation Science. v.10, p. 1-13.
- ATANAZIO, R. 2011. Geoprocessamento aplicado em projeto de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos (PSE) no município de Apucarana, PR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba-PR. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. P. 4720-4727.
- BALLERINI, A. P. ; GALHARDI, A. C. 2014. A Importância dos Serviços Ecossistêmicos e da Gestão Sustentável de um Patrimônio Natural. In: Antonio César Galhardi; João José Ferreira de Aguiar; Marlene Rodrigues da Silva Aguiar. (Org.). Contribuições para as Ciências Gerenciais. v.4. 1ed. Jundiaí, SP. Edições Brasil, 2014, v. 4, p. 66-82.
- BANZHAF, E.; NETZBAND, M. 2012. Monitoring urban land use changes with remote sensing techniques. In: Richter, M.; Weiland, U (eds). Applied urban ecology: a global framework. Blackwell Publishing Ltd. First edition. p. 18-32.

- BASTIAN, O.; SYRBE, R.; ROSENBERG, M.; RAHE, D.; GRUNEWALD, K. 2013. The five pillar EPPS framework for quantifying, mapping and managing ecosystem services. *Ecosystem services*. v. 4, p. 15-24.
- BEICHLER, S. A.; BASTIAN, O.; HAASE, D.; HEILAND, S.; KABISCH, N.; MÜLLER, F. 2017. Does the Ecosystem Service Concept Reach its Limits in Urban Environments?. *Landscape Online*. v. 51, p. 1-22.
- BONZI, R. S. 2013. Paisagem como infraestrutura de tratamento das águas urbanas. *Revista Labverde*. n. 6, p. 15-38.
- BOYKO C. T.; GATERELL, M. R.; BARBER, A. R. G.; BROWN, J.; BRYSON, R. J.; BUTLER, D.; CAPUTO, S.; CASERIO, M.; COLES, R.; COOPER, R.; DAVIES, G.; FARMANI, R.; HALE, J.; HALE, A. C.; HEWITT, C. N.; HUNT, D. V. L.; JANKOVIC, L.; JEFFERSON, I.; LEACH, J. M.; LOMBARDI, D. R.; MACKENZIE, A. R.; MEMON, F. A.; PUGH, T. A. M.; SADLER, J. P.; WEINGAERTNER, C.; WHYATT, J. D.; ROGERS, C. D. F. 2012. Benchmarking sustainability in cities: The role of indicators and future scenarios. *Global Environmental Change*. v. 22, p. 245-254.
- BREUSTE, J.; NIEMELA, J.; SNEP, R. P. H. 2008 Applying landscape ecological principles in urban environments. *Landscape Ecology*. v. 23, p. 1139-1142.
- BURKHARD, B.; KROLL, F.; NEDKOV, S.; MULLER, F. 2012. Mapping supply, demand and budgets of ecosystem services. *Ecological Indicators*. v. 21, p.17-29.
- BURKHARD, B. Ecosystem services matrix. In: Burkhard, B.; Maes, J. (Eds.). *Mapping Ecosystem Services*. Bulgaria: Pensoft Publishers, 2017. p. 227-232.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2011. Avaliação multicritério das bacias hidrográficas dos mananciais da CAESB: Produto 2- Qualificação. Diretoria de Engenharia e Meio Ambiente, Superintendência de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e Gerência de Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas. Governo do Distrito Federal, Brasília, DF. 81 p.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2014. Siagua: Sinopse do sistema de abastecimento de água do Distrito Federal. Diretoria de Operação e Manutenção, Assessoria de Planejamento, Programação e Controle e Coordenadoria de Planejamento e Controle Operacional de Sistemas. Governo do Distrito Federal, Brasília, DF. 147 p.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2015. Mapeamento de objetivo específico do programa temático/ PPA 2016-2019. Disponível em: [https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos\\_pdf/arquivos\\_Lai/Plano\\_Plurianual\\_2016-2019.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos_pdf/arquivos_Lai/Plano_Plurianual_2016-2019.pdf). Acesso em Novembro de 2016.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2016. Escassez hídrica e tarifa de contingência. Governo do Distrito Federal, Brasília, DF. Disponível em: [https://www.caesb.df.gov.br/images/seca\\_DF/apresentacaotarifa\\_de\\_contingencia2.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/seca_DF/apresentacaotarifa_de_contingencia2.pdf). Acesso em Novembro de 2016.
- CAMPOS, N.; SCHVASBERG, B.; MARTINS, A. M. 2010. Relatórios Municipais para Rede de Capacitação para Implementação dos Planos Diretores Participativos DF + RIDE. Relatório de pesquisa.
- CARRASQUILLA, G. 2001. An ecosystem approach to malaria control in a urban setting. *Cad. Saúde Pública*. v. 17 (suplemento), p. 171-179.
- CASTANHEIRA, D. 2016. Enquadramento dos corpos hídricos subterrâneos do Distrito Federal: parâmetros hidrogeológicos e ambientais. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília-DF. 94 p.
- CHILDERS, D. L.; PICKETT, S. T. A.; GROVE, J. M.; OGDEN, L.; WHITMER, A. 2014. Advancing urban sustainability theory and action: challenges and opportunities. *Landscape and Urban Planning*. v. 125, p. 320-328.
- CHUNG, Y., GRIFFITH, D. A. 2013. *Spatial Satatistic & Geostatistics*. SAGE, 181pp.
- COSTA, M. E. L. 2013. Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do lago Paranoá. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Brasília. Brasília, DF. 179p.

- COSTA, R. L. 2017. Cenários futuros de mudanças climáticas e impactos do conforto térmico humano em áreas urbanizadas. 2017. 158 p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- CPRM. 2003. Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno. Rio de Janeiro, RJ. CPRM/EMBRAPA/SCO-MI.CD-ROM.
- DERKZEN, M. L.; VAN TEEFFELN, A. J. A. ; VERBURG, P. H. 2015. Quantifying urban ecosystem services based on highresolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*. v. 52, n.4, p. 1020-1032.
- DOBBS, C.; KENDAL, D.; NITSCHKE, C. R. 2014. Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics. *Ecological Indicators*. v. 43, p. 44-55.
- EBERT, A.; NORMAN, K.; STEIN, A. 2009. Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air – and spaceborne imagery and GIS data. *Nat Hazards*. v. 48, p. 275-294.
- EGOH, B.; REYERS, B.; ROUGET, M.; RICHARDSON, D.M.; LE MAITRE, D.C.; VAN JAARSVELD, A.S. 2008. Mapping ecosystem services form planning and management. *Agric. Ecosyst. Environ*. v. 127, p. 135 - 140.
- EIGENBROD, F.; BELL, V. A.; DAVIES, H. N.; HEINEMEYER, A.; ARMSWORTH, P. R.; GASTON, K. J. 2011. The impact of projected increases in urbanization on ecosystem services. *Proceedings of the Royal Society B*. v. 278, p. 3201–3208.
- ELMQVIST, T.; ALFSEN, C.; COLDING, J. 2008. Urban systems. In: S.E. Jorgensen, and B.D. Fath(eds). *Encyclopedia of Ecology*. Oxford: Elsevier. p. 3665-3672.
- ELMQVIST, T.; SETÄLÄ, H.; HANDEL, S. N.; VAN DER PLOEG, S.; ARONSON, J.; BLIGNAUT, J. N.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; NOWAK, D. J.; KRONENBERG, J.; GROOT, R. de. 2015. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. v. 14, p.101-108.
- EU, European Union. 2016. Mapping urban ecosystems. In: *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services*. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem\\_assessment/pdf/102.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/pdf/102.pdf)>. Acesso em: Julho de 2017.
- FFERRIGO, S. ; MINOTI, R. ; ROIG, L. H. ; KOIDE, S. 2014. Assessment of the applicability of the SWAT model to simulate the streamflow in a rural catchment in the Federal District (Brazil). In: *International SWAT Conference, 2014, Recife*. Book Abstract. Texa: USDA Agricultural Research Service, 2014. v. 1. p. 47-46.
- FONTOURA, L. N. J. 2013. Planejamento urbano-ambiental: o uso e ocupação do solo no Distrito Federal. *Revista Especialize On-line IPOG*. Goiânia., GO. 5 ed. v. 01/2013,n. 005.p. 2179-5568.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. 1986. *Landscape ecology*. John Wiley & Sons, New York. 620p.
- FÜRST, C.; OPDAM, P.; INOSTROZA, L.; LUQUE, S. 2014. Evaluating the role of ecosystem services in participatory land use planning : proposing a balanced score card. *Landscape Ecology*. v. 29, n. 8, p. 1435-1446.
- GDF, Governo do Distrito Federal. 2005. Programa de saneamento ambiental e gestão territorial do Distrito Federal. Programa Brasília sustentável. 26p.
- GEIJZENDORFFER, I. R.; COHEN-SHACHAM, E.; CORD, A. F.; CRAMER, W.; GUERRA, C.; MARTÍN-LÓPEZ, B. 2017. Ecosystem services in global sustainability policies. *Environmental Science & Policy*. v. 74, p. 40-48.
- GONÇALVES, T. D.; ROIG, H. L.; CAMPOS, J. E. G. 2009. Sistema de informação geográfica como ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 39,n. 1, p. 169-180.
- GONÇALVES, T. D. 2012. Recursos Hídricos no Distrito Federal: Modelagem Hidrológica para subsidiar a gestão sustentável na bacia do Ribeirão Pípiripau. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, DF. 134p.

- GRÊT-REGAMEYA, A.; ALTWEGGB, J.; SIRÉNA, E. A.; VAN STRIENA, M.J.; WEIBELA, B. 2016. Integrating ecosystem services into spatial planning—A spatial decision support tool. *Landscape and Urban Planning*. v. 165, p. 206-219.
- GRÊT-REGAMEYA, A.; WEIBEL, B.; RABE, S.; BURKHARD, B. A tiered approach for ecosystem services mapping. In: Burkhard, B.; Maes, J. (Eds.). *Mapping Ecosystem Services*. Bulgaria: Pensoft Publishers, 2017. p. 213-217.
- HAASE, D.; SCHWARZ, N.; STROHBACH, M.; KROLL, F.; SEPELT, R. 2012. Synergies, trade-offs, and losses of ecosystem services in urban regions: an integrated multiscale framework applied to the Leipzig-Halle region, Germany. *Ecology and Society*. v. 17, n. 3, p. 22.
- HAASE, D.; LARONDELLE, N.; ANDERSSON, E.; ARTMANN, M.; BORGSTRÖM, S.; BREUSTE, J.; GOMEZ-BAGGETHUN, E.; GREN, A.; HAMSTEAD, Z.; HANSEN, R.; KABISCH, N.; KREMER, P.; LANGEMEYER, J.; L. RALL, E.; MCPHEARSON, T.; PAULEIT, S.; QURESHI, S.; SCHWARZ, N.; VOIGT, A.; WURSTER, D.; ELMQVIST, T. 2014. A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. *AMBIO*. v. 43, p. 413-433.
- HAASE, D.; RALL, E. L. 2014. Creative intervention in a dynamic city: A sustainability assessment of an interim use strategy for brownfields in Leipzig, Germany. *Landscape and Urban Planning*. v. 100, n. 3, p. 189-201.
- HARRISON, P. A.; BERRY, P. M.; SIMPSON, G.; HASLETT, J. R.; BLICHARSKA, M.; BUCUR, M.; DUNFORD, R.; EGOH, B.; GARCIA-LLORENTE, M.; GEMĂNĂ, N.; GEERTSEMA, W.; LOMMELEN, E.; MEIRESONNE, L.; TURKELBOOM, F. 2014. Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: a systematic review. *Ecosystem Services*. v. 9, p. 191-203.
- HEIDEN, U.; HELDENS, W.; ROESSNER, S.; SEGL, K.; ESCH, T.; MUELLER, A. 2012. Urban structure type characterization using hyperspectral remote sensing and height information. *Landscape and Urban Planning*. v. 105, p. 361-375.
- HEINEBERG, H. 2007. German geographical urban morphology in an international and interdisciplinary framework. *Urban Morphology*. v. 11, n. 1, p. 5-24.
- HELFENSTEIN, J.; KIENAST, F. 2014. Ecosystem service state and trends at the regional to national level: a rapid assessment. *Ecological Indicators*. v. 36, p. 11-18.
- HERRERA, D. J. M. 2013. Integração de modelos de quantidade e qualidade da água para avaliação de cargas contaminantes em afluentes de mananciais de abastecimento. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Brasília. Brasília, DF. 120p.
- HERZOG, C. P. ; ROSA, L. Z. 2010. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e Resiliência para a Paisagem Urbana. *Revista LABVERDE*. v. 1, p. 1-24.
- JIA, X.; LI, C.; CAI, Y.; WANG, X. SUN, L. 2015. An improved method for integrated water security assessment in the Yellow River basin, China. *Stoch Environ Res Risk Assess*. v. 29, p. 2213-2227.
- KAIN, J.H., LARONDELLE, N.; HAASE, D.; KACZOROWSKA, A. 2016. Exploring local consequences of two land-use alternatives for the supply of urban ecosystem services in Stockholm year 2050. *Ecological Indicators*. v. 70, p. 615-629.
- KOSCHKE, L.; LORZ, C.; FÜRST, C.; LEHMANN, T.; MAKESCHIN, F. 2014. Assessing hydrological and provisioning ecosystem services in a case study in Western Central Brazil. *Ecological Processes*. v. 3, n. 2, p.
- KRUGER, M. J. 1996. Definição de Morfologia Urbana. Curso Global de Morfologia Urbana. PROPUR, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- LARONDELLE, N.; HAASE, D. 2013. Urban ecosystem services assessment along a rural-urban gradient: a cross-analysis of European cities. *Ecological Indicators*. v. 29, p. 179-190.
- LIMA, G. T. N. P.; BERTOLO, L. S.; SANTOS, R. F. ; SILVA, J. S. V. 2012. A influência da composição dos elementos da paisagem na qualidade de água e nos serviços ecossistêmicos. Estudo de caso: bacia do rio Formoso, MS. In: 4o Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, 2012, Bonito. 4o Simpósio de Geotecnologias do Pantanal. p. 1217-1227.

- LIMA, J.E.F.W.; LOPES, W.T.A.; AQUINO, F.G.; OLIVEIRA-FILHO, E.D.; SANO, E.E.; SILVA, F.D.M. 2014. Assessing the use of erosion modeling to support payment for environmental services programs. *J. Soil Sediments*. v. 14, p. 1258 - 1265.
- LIMA, J. E. F. W.; DE GOIS AQUINO, F.; CHAVES, T. AV.; LORZ. 2017. Development of a spatially explicit approach for mapping ecosystem services in the Brazilian Savanna - MapES. *Ecological Indicators*, v. 82, p. 513-525.
- LORZ, C.; ABBT-BRAUN, G.; BAKKER, F.; BORGES, P.; BÖRNICK, H.; FORTES, L.; FRIMMEL, F. H.; GAFFRON, A.; HEBBEN, N.; HÖFER, R.; MAKESCHIN, F.; NEDER, K.; ROIG, H. L.; STEINIGER, B.; STRAUCH, M.; WALDE, D.; WEIß, H.; WORCH, E.; WUMMEL, J. 2011. Challenges of an integrated water resource management for the Distrito Federal, Western Central Brazil: climate, land-use and water resources. *Environmental Earth Sciences (Print)*. v. Online, p. 1866-6280.
- LORZ, C.; BAKKER, F.; FRIMMEL, F.; GÜNTHER, W.; KOIDE, S.; MAKESCHIN, F.; NEDER, K.; ROIG, H.; UHL, W.; WALDE, D.; WEISS, H.; WORCH, E. 2014. Chapter 1: Introduction and overview. In: C. LORZ; F. MAKESCHIN; H. WEISS (eds.). *Integrated water resources management in Brazil*. IWA Publishing, London, UK. 148 p.
- LOVELL, S. T.; TAYLOR J. R. 2013. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *Landscape Ecology*. v. 28, p. 1447-1463.
- MEA, Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Island Press, Washington, DC.
- MACHADO, F. H.; DUPAS, F. A. 2013. Valoração de recursos hídricos como subsídio na gestão do manancial urbano do ribeirão do Feijão, São Carlos-SP. *GEOUSP, Espaço e Tempo*. n. 33, p. 111-126.
- MASCARENHAS, A.; RAMOS, T. B.; HAASE, D.; SANTOS, R. 2015. Ecosystem services in spatial planning and strategic environmental assessment—A European and Portuguese profile. *Land Use Policy*. v. 48. p. 158-169.
- MCPHEARSON, T.; HAMSTEAD, Z. A.; KREMER, P. 2014. Urban ecosystem services for resilience planning and management in New York city. *AMBIO*.v. 43, p. 502-515.
- MENEZES, P. H. B. J.; ROIG, H. L.; ALMEIDA, T.; SOARES NETO, G. B.; BAKKER, F. 2012. Análise da Evolução do Padrão de Uso e Ocupação do Solo na Bacia de Contribuição do Lago Paranoá - DF. *Estudos Geográficos (UNESP)*, v. 8, p. 87-105.
- METSON, G. S.; IWANIEC, D. M.; BAKER, L. A.; BENNET, E. M.; CHILDERS, D. L.; CORDELL, D.; GRIMM, N. B.; GROOVE, J. M.; NIDZGORSKI, D. A.; WHITE, S. 2015. Urban phosphorus sustainability: Systemically incorporating social, ecological, and technological factors into phosphorus flow analysis. *Environment Science and Policy*. v. 47, p. 1-11.
- MOMM-SCHULT, S. I.; FREITAS, S. R.; PASSARELLI, S. 2014. Uso urbano e serviços ecossistêmicos em áreas protegidas: o caso do Parque Guaraciaba em Santo André (SP). In: III Seminário Nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento do solo urbano, 2014, Belém. 15p.
- MÜLLER, F.; BURKHARD, B.; HOU, Y.; KRUSE, M.; MA, L.; WANGAI, P. 2016. Indicators for ecosystem services. In: POTSCHIN, M., HAINES-YOUNG, R., FISH, R.U., TURNER, R.K. (Eds.), *Handbook of Ecosystem Services*. Routledge, London u. New York.
- NETO, G. B. S.; BAYMA, A. P.; NETO, S. B.; ROIG, H. L. 2017. Análise de susceptibilidade a alagamento na bacia hidrográfica do Riacho Fundo – Distrito Federal por meio de sistemas de informação geográfica – SIG. *Territorium*. v. 24, p. 75-84.
- NUNES, JULIANA FARIA ; ROIG, H. L. 2016. Modelagem dos Conflitos de Uso e Ocupação do Solo como Ferramenta para o Planejamento Territorial: o caso da Bacia do Alto Curso do Rio Descoberto DF/GO. *RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online)*, v. 68, p. 1285-1301.
- OPDAM, P. 2016. Bridging the gap between ecosystem services and landscape planning. In: POTSCHIN, M., HAINES-YOUNG, R., FISH, R.U., TURNER, R.K. (Eds.), *Handbook of Ecosystem Services*. Routledge, London and New York.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2014. *World urbanization prospects*. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/FinalReport/WUP2014-Report.pdf>>. Acesso em Julho de 2015.



- O'REILLY, E. de M.; MAGALHÃES, V. M.; ROSSI, A. M. G. 2013. O impacto da infraestrutura verde na qualidade de vida e no meio ambiente. In: IV Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana, I Encontro Nacional de Tecnologia Urbana. Rio de Janeiro, RJ.
- REATTO, A.; MARTINS, E. S.; FARIAS, M. F. R.; CARVALHO JR., O. A. 2004. Mapa pedológico digital - SIG atualizado do Distrito Federal escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina: Embrapa Cerrados. 63p.
- RÉQUIA JÚNIOR, W. J. ; ROIG, H. L. ; KOUTRAKIS, PETROS ; ADAMS, M. D. ; SANTOS, C. M. 2016a. Association between vehicular emissions and cardiorespiratory disease risk in Brazil and its variation by spatial clustering of socio-economic factors. *Environmental Research*. v. 150, p. 452-460.
- REQUIA JUNIOR, W. J. ; ROIG, H. L. ; ADAMS, M. D. ; ZANOBETTI, A. ; KOUTRAKIS, P. 2016b. Mapping distance-decay of cardiorespiratory disease risk related to neighborhood environments. *Environmental Research*. v. 151, p. 203-215.
- RIBEIRO, R. J. da C.; TENORIO, G. de S.; HOLANDA; F. de (orgs). 2015 Brasília: transformações na ordem urbana. Coordenação QUEIROZ, L. C. de R. Recurso Eletrônico. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital. 346p.
- RODRÍGUEZ, N.; ARMENTERAS, D.; RENATA, J. 2015. National ecosystem services priorities for planning carbon and water resource management in Colombia. *Land use Policy*. v. 42, p. 609-618.
- RODRÍGUEZ-LOINAZ, G.; ALDAY, J. G.; ONAINDIA, M. 2015. Multiple ecosystem services landscape index: a tool for multifunctional landscapes conservation. *Journal of Environmental Management*. v. 147, p. 152-163.
- SANO, E. E; ROSA, R; BRITO, J. L. S; FERREIRA, L. G. 2010. Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal bioma Cerrado ano base 2002. MMA, SBF. Serie Biodiversidade, 36. 96p.
- SCS, Soil Conservation Service. 1972. Hydrology. *National Engineering Handbook: Section 4*.
- SIEBER, J.; PONS, M. 2015. Assessment of Urban Ecosystem Services using Ecosystem Services Reviews and GIS-based Tools. *Procedia Engineering*. v. 115, p. 53 - 60.
- SYRBE, R.; SCHROTER, M.; GRUNEWALD, K.; WALZ, U.; BURKHARD, B. What to map?. In: Burkhard, B.; Maes, J. (Eds.). *Mapping Ecosystem Services*. Bulgaria: Pensoft Publishers, 2017. p. 151-158.
- TERRACAP, 2010. Mapeamento cartográfico do Distrito Federal. Disponível em: <http://www.sedhab.df.gov.br/desenvolvimento-urbano/gestao-da-informacao-urbanas/mapas.html>. Acessado em setembro de 2010.
- TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. de M. 2015. A supressão de vegetação e redução da área de sequestro florestal de carbono na Área Metropolitana de Brasília. In: RIBEIRO, R. J. da C.; TENORIO, G. de S.; HOLANDA; F. de (orgs). 2015 Brasília: transformações na ordem urbana. Coordenação QUEIROZ, L. C. de R. Recurso Eletrônico. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital.
- TÔSTO, S. G.; PEREIRA, L. C.; ROMEIRO, A. R. ; MANGABEIRA, J. A. C. ; PAIVA SOBRINHO, R. 2011a. Avaliação do escoamento superficial de água como subsídio ao pagamento por serviços ecossistêmicos, São Paulo, Brasil.
- TÔSTO, S. G.; PEREIRA, L. C.; ROMEIRO, A. R.; MANGABEIRA, J. A. C.; PAIVA SOBRINHO, R. 2011b. Espacialização de serviços ecossistêmicos. São Paulo, Brasil.
- WEBER, N.; HAASE, D.; FRANCK, U. 2014. Assessing modelled outdoor traffic-induced noise and air pollution around urban structures using the concept of landscape metrics. *Landscape and Urban Planning*. v. 125, p. 105-116.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosions losses a guide to conservation planning. Washington: Agriculture Handbook. US, Departament of Agriculture.
- WU, J. 2013. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*. v. 28, n. 6, p. 999-1023.
- ZEE, Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal. 2017. Mapas de Risco. Governo de Brasília. Disponível em: <<http://www.zee.df.gov.br/mapas-de-risco/mapas-de-risco.html>>. Acesso em Junho de 2017.

- ZULIAN, G.; LIEKENS, I.; BROEKX, S.; KABISCH, N.; KOPPEROINEN, L.; GENELETTI, D. 2017. Mapping urban ecosystem services. In: Burkhard, B.; Maes, J. (Eds.). Mapping Ecosystem Services. Bulgaria: Pensoft Publishers, 2017. p. 312-317.
- ZURLINI, G.; PETROSILLO, I.; ARETANO, R.; CASTIRINI, I.; D'ARPA, S.; DE MARCO, A.; PASIMENI, M. R.; SEMERARO, T. ZACCARELLI, N. 2014. Key fundamental aspects for mapping and assessing ecosystem services: predictability of ecosystem service providers at scales from local to global. *Annali di Botanica*. v. 4, p. 53-63.

## 4. AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA NAS ÁREAS URBANAS DO DF

### 4.1 INTRODUÇÃO

Em 2016 a crise hídrica foi designada como o risco global de maior preocupação para as pessoas e economias pela próxima década (WEF, 2016). Pesquisas recentes demonstram que cerca de dois terços da população mundial atualmente vive em áreas que sofrem com a escassez de água pelo menos durante um mês ao ano (ONU, 2017). Aproximadamente 500 milhões de pessoas vivem em áreas em que o consumo de água excede os recursos hídricos renováveis locais, em pelo menos duas vezes (Mekonnen & Hoekstra, 2016; ONU, 2017). Estima-se que 663 milhões de pessoas não tem acesso à fontes melhoradas de água potável, enquanto o número de pessoas sem acesso confiável à água de qualidade boa o suficiente para assegurar consumo humano é de pelo menos 1,8 bilhão (UNICEF & WHO, 2015; ONU, 2016).

Projeções realizadas pela OECD (2012) apontam um aumento sobre as tensões de disponibilidade hídrica potável até 2050, com um aumento de aproximadamente 40% da população (cerca de 2.3 bilhões de pessoas) vivendo em áreas com severo estresse hídrico. É previsto um aumento de 55% na demanda global por água, outros estudos prevêm um déficit de 40% nos recursos hídricos globais até 2030 (2030 WRG, 2009; OECD, 2012; ONU, 2016).

Dessa maneira, inúmeros fatores exercem pressão sobre a água, além dos fatores antrópicos como crescimento populacional, mudança do padrão de ocupação do uso e fatores socioeconômicos (UNESCO, 2009; Wang *et al.*, 2016), destaca-se também a questão das mudanças climáticas (IPCC, 2014; ONU, 2016). Pesquisas apontam que para cada grau de aquecimento global, aproximadamente 7% da população mundial estará exposta a uma diminuição dos recursos hídricos renováveis de pelo menos 20% (Döll *et al.*, 2014; Schewe *et al.*, 2014).

No caso do Brasil, apesar da abundância de água doce, cerca de 18% do total mundial (UNESCO, 2012), sua distribuição ocorre de maneira desigual em todo o território (ANA, 2013), onde apenas cerca de 28% das grandes cidades possuem uma disponibilidade de água satisfatória (ABES, 2013; Targa & Batista, 2015).

Historicamente, a região nordeste do país é uma das mais afetadas pela escassez de água, principalmente em função dos grandes períodos de seca (Targa & Batista, 2015;

ANA, 2016). Desde o ano de 2012 os eventos de falta d'água também foram evidenciados com maior intensidade na região sudeste, atingindo principalmente as regiões de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte (Targa & Batista, 2015; ANA, 2016; Santos, 2016), as três principais capitais do país. Em 2015, destacaram-se os eventos de estiagem severa que afetaram os sistemas hídricos do Cantareira, Paraíba do Sul e São Francisco (ANA, 2016), afetando cerca de 43% da população da região sudeste, sendo considerada a pior seca dos últimos 80 anos.

Já o Distrito Federal, mais recentemente, também tem enfrentado problemas com a escassez de água, vivenciando desde o ano de 2016 uma crise hídrica sem precedentes em sua história, a qual atinge diretamente aproximadamente 85% da população (CAESB, 2016; SEMA, 2017).

Esse cenário, em grande parte provocada pela crescente demanda, está atrelada a diminuição da sua disponibilidade, privatização, mercantilização, uso intenso além dos entraves no trato dos resíduos. Esses fatores dentre outros, deixa as questões a cerca da gestão dos recursos hídricos em evidência, principalmente em virtude das conseqüências ambientais, políticas, econômicas e sociais que nele estão imbricadas (Brito, 2013). De acordo com a ONU (2016):

*"A gestão sustentável da água, a infra-estrutura hídrica e o acesso a um abastecimento de água seguro e confiável e a um serviço de saneamento adequado melhoram os padrões de vida, expandem as economias locais e levam à criação de empregos mais dignos e maior inclusão social. O gerenciamento sustentável da água também é um motor essencial do crescimento verde e do desenvolvimento sustentável. A gestão insustentável da água e de outros recursos naturais pode causar danos severos às economias e à sociedade, o que inverte a redução da pobreza, criação de emprego e ganhos de desenvolvimento duramente conquistados."*

Dessa forma, a necessidade de se entender e quantificar o impacto sobre os recursos hídricos é essencial para a sua manutenção, sustentabilidade e prosperidade futura. Assim como a compreensão desses fatores é fundamental para se tomar decisões sustentáveis apropriadas (Veolia Water, 2011). Portanto, pensar o uso da água significa identificar a oferta deste recurso, e então delimitar as prioridades e formas do seu uso e aplicação, garantindo a quantidade e qualidade deste bem no retorno para a natureza, possibilitando assim a manutenção do seu ciclo e, conseqüentemente, a conservação da sua oferta (Santos Júnior *et al.*, 2013).

Diante desse cenário, para Júnior *et al.* (2015), é de importância indubitável e de extrema urgência a implementação de visões inovadoras, sistêmicas e integradas, com relação à conceituação e à gestão dos recursos hídricos, que levem em conta sua utilização de acordo com os ciclos hidrogeológicos e que privilegiem sua distribuição e uso de forma socialmente justa. Isso, no entanto, é uma tarefa extremamente complexa, considerando que a água possui usos múltiplos e com diferentes dinâmicas, contextos espaciais diversos e uma hierarquia política que deve ser observada.

Levando em consideração essas características, dentre os diversos usos da água, o abastecimento da população se configura um dos mais importantes. Sendo assim, estratégias eficientes para suprir essa demanda são essenciais no processo de gerenciamento das águas. O abastecimento das cidades ganha destaque por concentrar a maior parte da população, cerca de 55% da população mundial reside em áreas urbanas (ONU, 2016b), no caso brasileiro esse número atinge 85% da população (IBGE, 2010). O abastecimento urbano compete, conforme as potencialidades econômicas e as dinâmicas sociais de cada centro urbano, com outros importantes usos da água em uma região, sendo o uso crucial para a manutenção da vida das cidades, em todos os seus aspectos, e por isso, priorizado em lei (Melo, 2016).

Mesmo o uso da água para abastecimento da população sendo prioritário, atualmente, as referências a respeito dos recursos hídricos como instrumento ou ferramentas para a gestão e planejamento em áreas urbanas são raros (Ulian *et al.*, 2017). Nas últimas décadas cada vez mais trabalhos buscam avaliar a situação dos recursos hídricos que abastecem a área urbana (Cornelis *et al.*, 2012; Polprasert *et al.*, 2015; Lawrence & Lopes, 2016; Ortega *et al.*, 2016), tais estudos são essenciais para fornecer o conhecimento apropriado para a adoção de ações e políticas voltadas para o adequado gerenciamento dos recursos hídricos dentro das cidades.

Grande parte desses estudos propõe o uso de índices ou indicadores como ferramentas para avaliar a situação dos recursos hídricos (Vollmer *et al.*, 2016). O monitoramento utilizando indicadores fornece uma avaliação da atual situação e permite a projeção de tendências futuras, oferecendo respostas permanentes para os governos e cidadãos. Rodriguez *et al.* (2015), complementam dizendo que o desenvolvimento de indicadores sobre a integração das questões hídricas e o planejamento urbano auxilia na quantificação dessa interação, gerando um aumento significativo na aplicação do conceito de sensibilidade urbana em relação a água, podendo mitigar conseqüências do planejamento inapropriado (Ulian *et al.*, 2017).

Várias pesquisas tem aliado o uso desses indicadores à modelos de análise multicritério (Shao *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2014). As decisões de gerenciamento de recursos hídricos geralmente são orientadas por múltiplos objetivos, medidos em diferentes unidades. A análise multicritério (MCA) representa um conjunto de técnicas potencialmente capazes de melhorar a transparência, auditabilidade e rigor analítico dessas decisões. A análise multicritério classifica ou pontua o desempenho de opções alternativas de decisão em vários critérios que normalmente são medidos em diferentes unidades (Romero & Rehman, 1987; Dunning *et al.*, 2000; Hajkowicz & Collins, 2007).

Assim, o objetivo desse estudo é gerar um índice que possibilite avaliar a situação do abastecimento urbano do Distrito Federal, aliando indicadores que forneçam informações relevantes a um método de análise de decisão multicritério.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção traz uma caracterização da área de estudo em relação aos recursos hídricos, principalmente voltada para o sistema de abastecimento do DF, também aborda aspectos da política nacional e Distrital de água. Além dessa caracterização inicial, demonstra como foi realizado o processo de produção dos indicadores de abastecimento e do índice da situação do abastecimento de água do DF (ISAAU).

### 4.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E A POLÍTICA NACIONAL E DISTRITAL DE RECURSOS HÍDRICOS

As áreas de interesse desse estudo estão localizadas primordialmente no Distrito Federal e entorno devido ao posicionamento dos mananciais em uso Descoberto e Pipiripau e futuros, Corumbá (Figura 4.1).

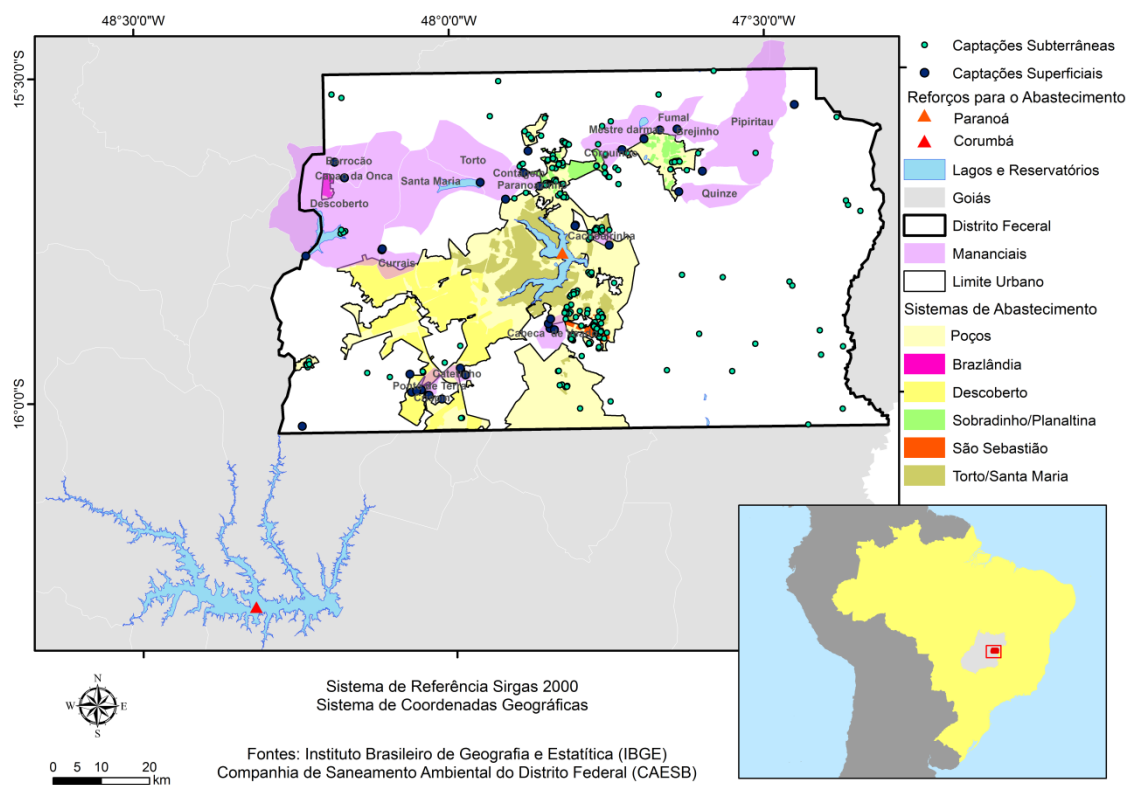


Figura 4.1: Localização da área urbana do DF, principais mananciais utilizados para abastecimento público e sistema de abastecimento da área urbana com as captações superficiais e subterrâneas.

O marco regulatório da Política Nacional de Recursos Hídricos foi a chamada lei das águas (Brasil, 1997). Esta lei instituiu os Planos de Recursos Hídricos como um de seus instrumentos, estes documentos são balizadores que definem as ações estratégicas dos recursos hídricos de uma determinada região.

No DF, a Lei nº 2.725/01 (Distrito Federal, 2001) é que dispõe sobre a Política de Recursos Hídricos, institui o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos e dá outras providências. A lei das águas bem como as leis estaduais que deliberam sobre os recursos hídricos prevêm a criação dos comitês de bacias hidrográficas (CBH), uma vez que a bacia hidrográfica é a base territorial de planejamento e gestão da água de acordo com a lei (ANA, 2011).

Os Comitês de Bacia Hidrográfica são organismos colegiados que fazem parte do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, possuem composição diversificada e democrática, contribuem para que todos os setores da sociedade com interesse sobre a água na bacia tenham representação e poder de decisão sobre sua gestão. Suas principais competências são: aprovar o Plano de Recursos Hídricos da Bacia; arbitrar conflitos pelo uso da água, em primeira instância administrativa; estabelecer

mecanismos e sugerir os valores da cobrança pelo uso da água; entre outros (ANA, 2011). No DF existem três comitês, são eles CBH do Lago Paranoá, CBH dos afluentes do rio Preto e CBH dos afluentes do rio Maranhão (ANA, 2011).

Em 2004 foi criada a agência reguladora do DF pela lei nº 3.365/04 (Distrito Federal, 2004), que posteriormente foi reestruturada pela lei nº 4.285/08 (Distrito Federal, 2008), passando a se chamar Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), vinculada à Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (SEDUMA), da estrutura organizacional do Governo do Distrito Federal (Distrito Federal, 2008).

A finalidade básica da ADASA é a regulação dos usos das águas e dos serviços públicos de competência originária do Distrito Federal ou que venham a ser a ela delegados (Distrito Federal, 2008). A regulação compreende especialmente as atividades de outorga, no caso de usos de recursos hídricos, regulamentação, fiscalização, ouvidoria, dirimção de conflitos e sanção administrativa, nos demais casos, a serem empreendidas pela ADASA perante os prestadores de serviços e os usuários ou consumidores (Distrito Federal, 2008).

A Companhia de Água e Esgotos de Brasília (CAESB) foi criada pelo Decreto-Lei nº 524/1969 (Brasil, 1969) para realizar o abastecimento de água e o controle da poluição. Após algumas alterações a lei nº 3.559/2005 (Distrito Federal, 2005) modificou a denominação da empresa para Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, ampliando a área de atuação da empresa para outros países, bem como incluindo, em suas competências, a possibilidade de prestar serviços na área de resíduos sólidos.

A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) é a responsável por desenvolver atividades nos diferentes campos de saneamento, em quaisquer de seus processos, com vistas à exploração econômica, planejando, projetando, executando, operando, comercializando e mantendo os sistemas de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e de coleta, tratamento e destinação final de resíduos sólidos.

Em relação ao abastecimento urbano, o DF conta com um sistema produtor de água composto por cinco sistemas, são eles Descoberto, Torto/Santa Maria, Sobradinho/Planaltina, São Sebastião e Brazlândia (Figura 4.1). O sistema é composto de captações, elevatórias, tratamento e reservação, constituído por 468 unidades operacionais (CAESB, 2014). Aproximadamente 95% do abastecimento da rede geral é



realizado por meio de captações superficiais, os outros 5% correspondem as captações de água subterrânea (CAESB, 2014).

O sistema de abastecimento do Descoberto é o maior do DF, sendo responsável pela produção de cerca de 60% da água, o sistema Torto/Santa Maria conta com um volume produzido de 28%. Esses dois sistemas são responsáveis pelo abastecimento de mais de 70% da população do DF. Nos últimos anos o DF tem enfrentado problemas de escassez hídrica, tendo como auge dessa crise o ano de 2017, marcado por condições hidrológicas adversas.

O sistema Sobradinho/Planaltina possui um volume produzido de água de aproximadamente 9%, sendo responsável pelo atendimento de 13% da população. De acordo com a CAESB (2014 e 2015), a região possui baixa disponibilidade hídrica e está em processo de expansão populacional, especialmente devido ao crescente número de condomínios habitacionais urbanos.

Assim, tem se investido recursos para aumentar a capacidade de produção de água, visando à flexibilização de operação dos sistemas existentes (CAESB, 2014). Além das questões inerentes ao abastecimento urbano, também existem nessa região conflitos pelo uso da água, principalmente para o atendimento da demanda rural para produção agrícola (ANA, 2010a).

O sistema de Brazlândia é responsável pela demanda da região administrativa de mesmo nome, que corresponde a 2,2% da população, sua produção é de 1,5% do total de água. É também o mais sensível ao desabastecimento, devido a interrupções no fornecimento de energia (CAESB, 2014). O sistema de abastecimento de São Sebastião produz 3% de água e abastece 3% da população. Sua captação é realizada totalmente pela exploração de água subterrânea (CAESB, 2014). O quadro 4.1 apresenta uma síntese dos sistemas de abastecimento e das regiões administrativas atendidas por cada um.

Para complementar os sistema de abastecimento (Figura 4.1) estão previstos investimentos em novos empreendimentos para a manutenção e melhoria da qualidade dos serviços de água e esgotamento (CAESB, 2015). Três grandes novos sistemas produtores de água, Sistema Produtor de Corumbá, Sistema Produtor Bananal e Sistema Produtor Paranoá, ampliarão a capacidade de produção de água em torno de 50% da capacidade atual (CAESB, 2016), além destes a captação emergencial de água do lago Paranoá.

De acordo com a CAESB (2016), o Sistema Corumbá deverá suplementar o abastecimento da região Sul do Distrito Federal, atendendo preferencialmente as cidades

de Santa Maria, Gama e Recanto das Emas. Além, de aumentar a água disponível também para abastecimento nas cidades de Taguatinga, Ceilândia, Águas Claras e Vicente Pires.

A água do Subsistema Bananal será bombeada para o Sistema Santa Maria/Torto. O Sistema Paranoá deverá completar o abastecimento das cidades na face Leste do Distrito Federal, atendendo aos novos núcleos habitacionais em processo de consolidação em São Sebastião, Paranoá e Sobradinho I e II, e permitirá, ainda, a geração de excedentes para aumentar a disponibilidade hídrica em Planaltina, Brasília e Lago Norte (CAESB, 2016).

Quadro 4.1: Síntese do sistema de abastecimento urbano do Distrito Federal.

Sistema	ETA	RA	Rio
Descoberto	Descoberto	Águas Claras	Descoberto
		Vicente Pires	
		Racho Fundo I	
		Racho Fundo II	
		Samambaia	
		Recanto das Emas	
		Ceilândia	
		Taguatinga	
		Santa Maria	
		Guará	
		Candangolândia	
		Park Way	
		Gama	Descoberto, Ponte da Terra e Crispin
Torto/Santa Maria	Brasília	Brasília	Torto, Santa Maria
		Lago Norte	
		Varjão	
		Octogonal/Sudoeste e	
		S I A	
		Estrutural	
		Cruzeiro	
		Núcleo Bandeirante	
	Paranoá	Paranoá	Torto, Santa Maria e Cachoeirinha
		Itapoã	
	Lago Sul	Lago Sul	Torto, Santa Maria e Cabeça do Veado
		Jardim Botânico	
	Planaltina/Sobradinho	Sobradinho e Planaltina	Sobradinho I
Sobradinho II			
Pipiripau		Planaltina	Fumal, Brejinho e Pipiripau
Planaltina	Planaltina	Mestre D'armas e Corguinho	

	Vale do Amanhecer	Planaltina (vale do Amanhecer)	Quinze
Brazlândia	Brazlândia	Brazlândia	Capão da Onça e Barrocão
São Sebastião		São Sebastião	Poços
Não possui	Não possui	Fercal	Poços

Fonte: CAESB (2011a) e CAESB (2014).

#### 4.2.2 ETAPAS E PROCEDIMENTOS

A figura 4.2 apresenta a metodologia empregada para o desenvolvimento do Índice da Situação do Abastecimento de Água Urbano do DF (ISAAU). Para a realização desse índice foi necessário trabalhar com uma divisão da área de estudo, inicialmente tratando das bacias dos mananciais utilizados para abastecimento urbano e posteriormente da área urbana do DF.

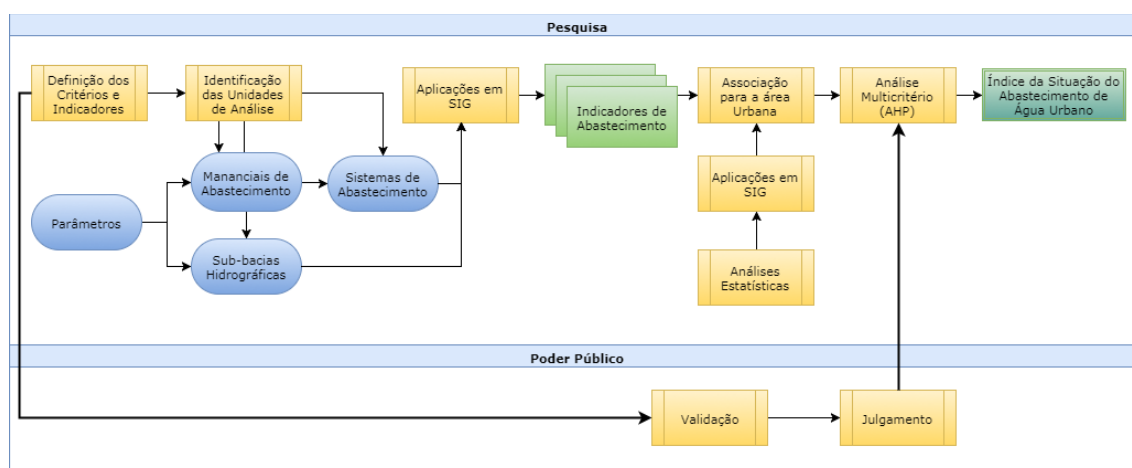


Figura 4.2: Fluxograma metodológico para a geração do Índice da Situação do Abastecimento de água das Áreas Urbanas do DF.

O objetivo do trabalho é retratar qual a situação das áreas urbanas em função do abastecimento de água, dessa forma, o primeiro passo foi identificar quais mananciais serviam de fontes de abastecimento para determinadas partes da área urbana (Quadro 4.1). Essa informação foi levantada a partir de documentos institucionais (CAESB, 2014 e CAESB 2011a). A partir desse dado foi possível identificar os mananciais de interesse e as áreas urbanas que não são abastecidas pela rede geral.

Para realizar as análises foram utilizados dados secundários. A principal fonte de informação foi um estudo diagnóstico a respeito dos mananciais de abastecimento (CAESB, 2011b). Considerando que as áreas abastecidas por outras fontes também

deveriam ser abordadas, e para essas não havia informação no diagnóstico realizado pela CAESB, os principais parâmetros a serem analisados foram elencados de acordo com os dados disponíveis para toda a área de estudo.

Os dados de entrada utilizados foram: uso e ocupação do solos, solos (adaptado de Reatto *et al.*, 2004), dados pluviométricos (ANA e ADASA), limites dos mananciais (CAESB), vazão (CAESB, 2011b), consumo de água (CAESB), população (IBGE, 2010), qualidade da água (CAESB, 2011b; ANA, 2016) e o modelo digital de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e produtos derivados (comprimento da rampa e declividade).

A abordagem foi baseada em três níveis hierárquicos de análise, onde o primeiro nível é a maior agregação, ou seja, o índice propriamente dito. O segundo nível traz as dimensões do índice, ou seja, os critérios utilizados. E o último nível são os indicadores que irão apontar as características, e para esse caso específico, a situação da área urbana em relação ao abastecimento.

Para essa abordagem os critérios foram divididos em quatro categorias: ambiental, viabilidade, recursos brutos e fornecimento. O critério ambiental diz respeito aos serviços ecossistêmicos hídricos essenciais à manutenção do ciclo hidrológico e que impactam na disponibilidade e qualidade da água. O critério viabilidade está associado a possibilidade da continuidade do abastecimento de água. Os recursos brutos tratam da disponibilidade natural dos recursos fonte utilizados, nesse caso água e chuva. E por fim, o critério de fornecimento que abrange a quantidade de água disponível e as pressões e condições dos recursos.

Para a seleção dos indicadores buscou-se seguir os seguintes critérios: ser teoricamente bem fundamentado; relativamente estável e independente; ter clareza no conteúdo; ser mensurável e comparável; fácil de quantificar; e baseado em dados disponíveis (Shao *et al.*, 2012). Dessa forma, o quadro 4.2 mostra os indicadores elencados e suas principais fontes e referências.

O processamento dos dados para a quantificação dos indicadores foi realizado por diferentes abordagens. Para o indicador de qualidade ambiental foi proposto um índice (adaptado de CAESB, 2011b) contendo escoamento superficial, realizado pelo método Curva Número (SCS, 1972), potencial a erosão, calculado pela Equação Universal de Perda do Solo (Wischmeier & Smith, 1978) e potencial de recarga para o aquífero (Gonçalves, 2009). Os valores dos indicadores foram padronizados de 0 a 1 (0

pior situação e 1 melhor situação) e o índice final foi resultado da equação 4.1 (CAESB, 2011b):

$$IQAM = \frac{(4 \times ES) + (2,5 \times PR) + (3,5 \times PE)}{10} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Onde:

IQAM: índice de qualidade ambiental;

ES: escoamento superficial;

PR: potencial de recarga para o aquífero e;

PE: potencial a erosão.

Quadro 4.2: Lista dos indicadores de fragilidade do abastecimento urbano com o critério de análise, descrição sucinta e literatura de referência.

<b>Critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fonte/Referência</b>
<b>Ambiental</b>	Qualidade Ambiental	Índice composto pelos serviços ecossistêmicos hídricos de potencial à erosão, escoamento superficial e potencial de recarga do aquífero	SCS, 1972, Wischmeier & Smith, 1978; Gonçalves <i>et al.</i> , 2009; CAESB, 2011b
<b>Viabilidade</b>	Alternativas para o abastecimento	Possibilidade de interligação do sistema em que a captação se insere a outros, permitindo, assim, que haja outras possibilidades de captação e tratamento, no caso de interrupção da captação em análise	CAESB, 2011b
<b>Fornecimento</b>	Demanda de água	Relação entre o recursos total disponível para o consumo urbano e o total efetivamente consumido. Razão entre o consumo e a vazão média captada	Haase <i>et al.</i> , 2014; Liu <i>et al.</i> , 2014; Xiao-Jun <i>et al.</i> , 2014; Green <i>et al.</i> , 2015; Jia <i>et al.</i> , 2015; Rodriguez <i>et al.</i> , 2015; Grêt-Regamey <i>et al.</i> , 2016.
	Capacidade de abastecimento das fontes	Disponibilidade de água existente considerando a totalidade do recurso disponível e o uso para a área urbana	CAESB, 2011b; Liu <i>et al.</i> , 2014; Xiao-Jun <i>et al.</i> , 2014
	Disponibilidade de água	Quantidade de água disponível por pessoa. Relação entre a vazão média captada e a população	Falkenmark, 1989; Voromasty <i>et al.</i> , 2010; Shao <i>et al.</i> , 2012; Liu <i>et al.</i> , 2014; Xiao-Jun <i>et al.</i> , 2014; Jia <i>et al.</i> , 2015.
	Qualidade da água	Qualidade da água bruta visando o seu uso para o abastecimento público	CAESB, 2011b; Boyko <i>et al.</i> , 2012; Shao <i>et al.</i> , 2012; Koschke <i>et al.</i> , 2014.
<b>Recursos Brutos</b>	Índice de produção de água	Quantidade de água disponível por área. Relação entre a vazão média captada e a área	Shao <i>et al.</i> , 2012; Liu <i>et al.</i> , 2014; Jia <i>et al.</i> , 2015
	Coefficiente de precipitação	Taxa de precipitação. Relação entre o volume de chuvas dos cinco anos anteriores e o volume precipitado no ano analisado	Shao <i>et al.</i> , 2012; Jia <i>et al.</i> , 2015

Para os indicadores que estão dentro do critério fornecimento foram utilizados os dados de vazão média captada, disponibilidade hídrica (vazão mínima registrada por um período de 7 dias considerando-se 10 anos de tempo de recorrência) e qualidade da água (utilizando o IQA), referentes ao estudo da CAESB (2011b), estes foram calculados de acordo com o quadro 4.2. Para o indicador de demanda de água foi calculada a razão entre a vazão média capitada e o consumo de água, considerando os dados de consumo anual de água por registro (CAESB).

Para o indicador de disponibilidade de água, foi utilizado o índice de Falkenmark, foi feita a razão entre a vazão média capitada e o dado populacional, utilizando-se o dado computado pelo último censo (IBGE, 2010). O dado censitário foi reamostrado para a área urbana, com o objetivo de excluir as áreas não habitadas e realocar a informação de acordo com as reais características demográficas da área de estudo, por meio do método de desagregação zonal dasimétrico (Apêndice B).

Para o Índice de produção de água foram calculadas as áreas dos mananciais e realizada a razão entre a vazão captada e a área. Para o Coeficiente de precipitação levantou-se a série histórica de vinte e oito estações e a partir dessas foi calculado o volume acumulado de precipitação dos cinco anos anteriores ao ano analisado (2009), em seguida foi feita uma razão entre o ano de 2009 e o somatório do volume precipitado.

Optou-se por essa abordagem, pois de acordo com análises realizadas pela ADASA o comportamento histórico das chuvas do DF possui uma característica de variação entre anos de baixa e alta pluviosidade, porém quando ocorrem anos de baixa pluviosidade seguidos os mananciais não conseguem recuperar seus níveis volumétricos no ano posterior. Esses dados foram espacializados por meio da técnica de polígonos de Thiessen (Tucci, 1998).

Todos os indicadores foram calculados para os mananciais e também para a área urbana que não é abastecida pela rede geral, uma vez que considerou-se que essas áreas possuem sua demanda por água supridas pela captação local de água. De acordo com o IBGE (2010), no ano analisado apenas 5% da população não era atendida pela rede geral de abastecimento, desse valor 3% eram abastecidos por poços, nascentes ou cisterna, ou seja, a captação era realizada próxima ao local de moradia.

Além disso, toda a população da região de São Sebastião e parte das populações de Itapoã, Paranoá, Jardim Botânico, Recanto das Emas, Riacho Fundo II, Samambaia, Planaltina, Sobradinho I e II, Fercal e Brazlândia também são atendidas pela captação de poços tubulares profundos, realizadas pela própria CAESB (CAESB, 2014).

Portanto, decorrente da dependência de dados disponíveis considerou-se para as análises, dessas regiões que não são abastecidas via rede geral, o valor máximo da vazão outorgada dos poços, para vazão média captada. Para o valor da disponibilidade hídrica utilizou-se a vazão total medida nessas localidades. Para o indicador de qualidade da água foi utilizado o mapeamento de enquadramento dos aquíferos (Castanheira, 2016).

Para o indicador de alternativas para o abastecimento, considerou-se que não havia alternativa, já que o sistema de abastecimento por meio dos mananciais não chega nessas localidades. Para os demais indicadores foram realizados os mesmos procedimentos que para as áreas supridas pela rede geral. Todos os indicadores foram padronizados de 0 a 1 para facilitar as análises, onde 0 representa a pior situação e 1 a melhor.

Como o objetivo é obter essa informação para a área urbana foram então realizadas diferentes abordagens (Quadro 4.3), dependendo do dado e do objetivo, para obter os valores de cada agrupamento de mananciais (de acordo com o quadro 4.1), que correspondem ao abastecimento de determinada área no espaço urbano. Posteriormente, foi possível associar esses valores à área a qual cada um dos mananciais corresponde no espaço urbano por meio de técnicas de geoprocessamento.

Quadro 4.3: Análises realizadas para definir os valores dos indicadores referentes às áreas urbanas

<b>Indicador</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Abordagem</b>
Qualidade Ambiental	Escoamento superficial	Média
	Recarga para o aquífero	Média
	Potencial a Erosão Linear	Média
Alternativas para o abastecimento	-	Análise qualitativa
Demanda de água	Consumo de água	Somatório
	Vazão média captada	Somatório Ponderado
Capacidade de abastecimento das fontes	Disponibilidade hídrica	Somatório Ponderado
	Vazão média captada	Somatório Ponderado
Disponibilidade de água	População	Somatório
	Vazão média captada	Somatório Ponderado
Qualidade da água	IQA	Média
Índice de produção de água	Área	Somatório
	Vazão média captada	Somatório
Coefficiente de precipitação	Precipitação	Média

Com base nestes dados, foi então realizada uma validação dos critérios e indicadores, junto com os principais órgãos atuantes na gestão do território e recursos hídricos no DF. Foram eles: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico (ADASA), Companhia de Saneamento Ambiental (CAESB), Secretaria de Meio

Ambiente (SEMA), Companhia de Planejamento (CODEPLAN) e Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (SEGETH).

Essa análise foi realizada juntamente com a etapa de ponderação dos pesos e limiares para os indicadores e critérios. Foram convidados representantes dos órgãos mencionados e além dos representantes da esfera pública também foram convidados pesquisadores com expertise e com estudos em temáticas similares.

Para a validação, cada um dos participantes julgou a importância dos critérios e indicadores para o objetivo proposto, segundo seu conhecimento, podendo retirar ou incluir critérios ou indicadores. Posteriormente cada um pontuou os critérios e indicadores de acordo com seu grau de relevância. Para realizar essa ponderação foi utilizado o método de análise multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP - Saaty, 1980).

A análise multicritério é uma técnica para avaliar opções alternativas de acordo com uma variedade de critérios, atribui pesos e pontuações de opções para que critérios quantitativos e qualitativos possam ser analisados (OECD, 2006). Esse tipo de análise têm sido muito utilizada na solução de problemas de tomada de decisão (Wainger et al., 2010; Langemeyer et al., 2016; Grêt-Regamey et al., 2016), uma vez que procuram esclarecer ao decisor as possibilidades de escolhas (Campos, 2011).

O modelo AHP é uma técnica de análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios, na qual sua aplicação reduz o estudo de sistemas complexos a uma seqüência de comparações aos pares de componentes adequadamente identificados (Saaty, 1980). Associado ao método é possível avaliar o modelo de priorização construído, quanto a sua consistência (Babic, 1998). Essa técnica vem sendo largamente explorada (Mahase *et al.*, 2016; Réquia *et al.*, 2016; Paz Tenório *et al.*, 2017).

Para o processo de hierarquização e compatibilização das ponderações dos entrevistados por meio do método AHP foi utilizado o programa *online* BPMSG AHP-OS (*Business Performance Management Singapore - AHP Online System*) que combina ferramentas colaborativas e técnicas matemáticas comprovadas para permitir que se obtenha a melhor decisão em atingir um objetivo.

Para compatibilizar os resultados dos julgamentos de mais de um participante, o *software* calcula um indicador de consenso da análise AHP para quantificar o consenso do grupo, ou seja, ter uma estimativa da similaridade sobre as prioridades entre os participantes. Este indicador varia de 0% a 100%. O percentual zero ocorre quando não há um consenso e 100% para um consenso total. Esse indicador é derivado do conceito



de diversidade baseado na entropia alfa e beta de Shannon. É uma medida da homogeneidade das prioridades entre os participantes e também pode ser interpretada como uma medida de sobreposição entre as prioridades dos membros do grupo (Goepel, 2017).

Além dessa análise o modelo realiza uma ponderação dos valores dados nos julgamentos e sintetiza os valores de todos os participantes em um peso final para os critérios e indicadores. Após essa compatibilização chegou-se aos pesos finais dos critérios e indicadores e então foi realizado um processo de álgebra de mapas para realizar o cálculo e obter o valor do índice da situação do abastecimento de água urbano do DF.

#### 4.3 RESULTADOS

Para alcançar o índice de abastecimento a análise foi realizada em níveis, em que foram gerados os indicadores, da integração destes obteve-se os critérios e da agregação de todos os critérios chegou-se ao índice, de acordo com o quadro 4.2.

Para facilitar o entendimento a respeito dos resultados gerados, estes foram divididos em etapas. Inicialmente apresenta-se os resultados dos indicadores, primeiramente pelo agrupamento de mananciais, para se compreender a relação entre estes e posteriormente são apresentados os resultados de cada indicador para a área urbana.

Em seguida são expostos os resultados obtidos pelo julgamento dos participantes em relação aos indicadores e critérios. A partir de então, são apresentados os resultados para os critérios, que foram obtidos por meio dos julgamentos dos participantes. E por fim, o índice da situação do abastecimento de água urbano é abordado.

Para apoiar as análises dos resultados a figura 4.3 apresenta uma relação entre os mananciais e a área urbana, aponando qual agrupamento de mananciais são utilizados para as áreas urbanas.

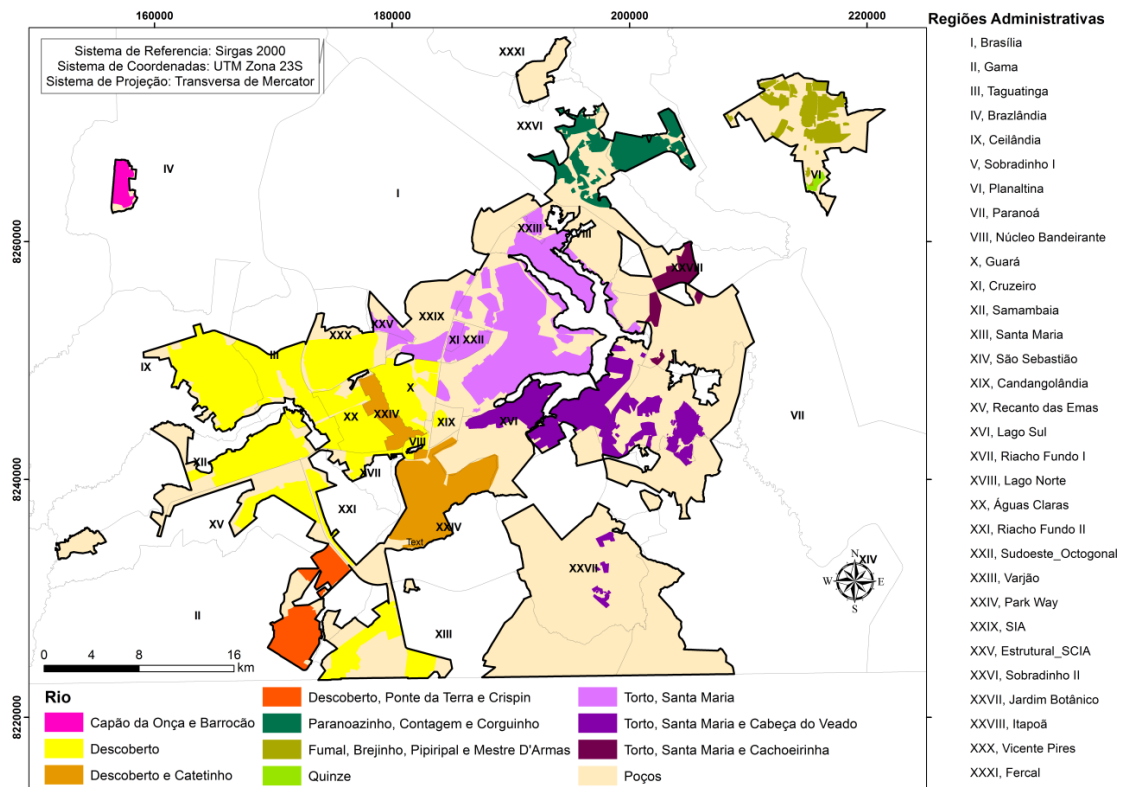


Figura 4.3: Mananciais e fontes de água que abastecem a área urbana do DF e suas respectivas regiões administrativas.

Os mapas que serão apresentados irão abordar todo o universo de dados analisados, porém os gráficos só terão as informações a respeito dos mananciais que abastecem a rede geral, em virtude da existência de um grande número de unidade de análise não abastecida pela rede geral, distribuídas por toda a região e desses dados serem muito heterogêneos (áreas na cor creme, figura 4.3).

#### 4.3.1 MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO

Os valores normalizados para os indicadores Qualidade da Água, Capacidade de abastecimento e Alternativas para o abastecimento, para os mananciais responsáveis pela distribuição via rede geral são apresentados na Figura 4.4. Em relação a Qualidade da Água os menores valores foram identificados nos mananciais Fumal, Brejinho, Pipiripau e Mestre D'Armas, todos responsáveis pelo fornecimento de água para Planaltina.

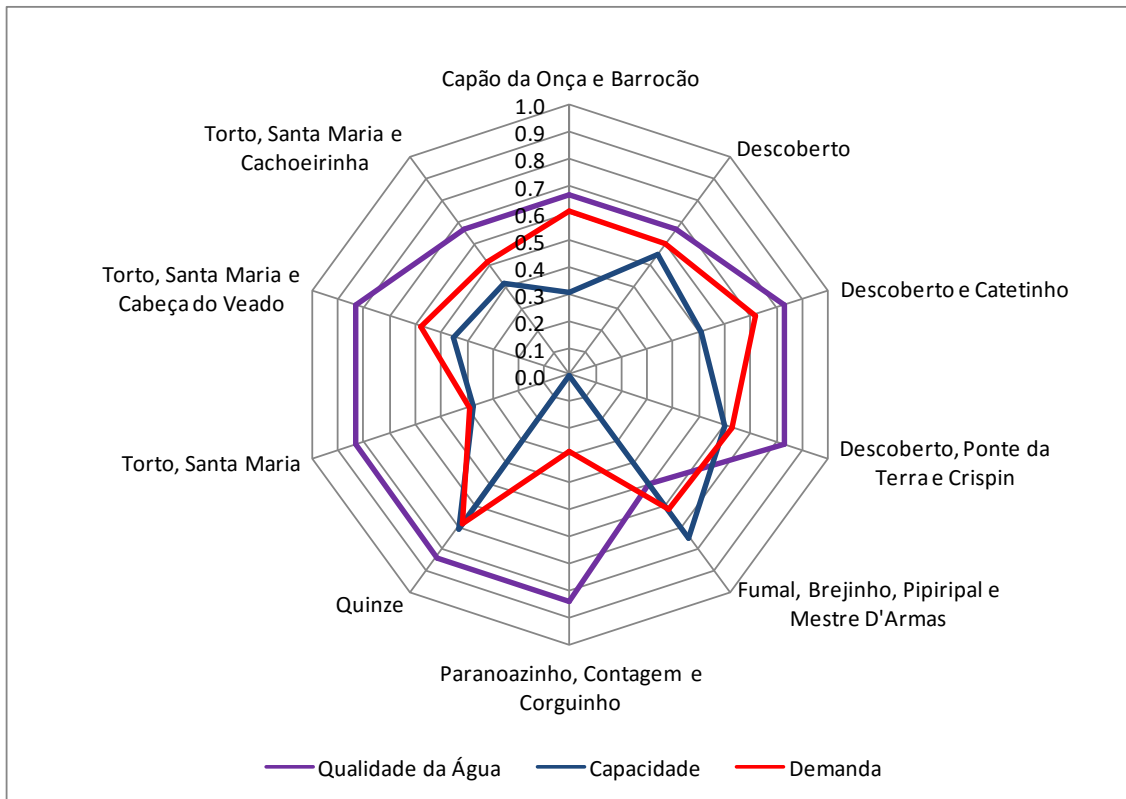


Figura 4.4: Gráfico com os valores padronizados para os indicadores pertencentes ao critério fornecimento, referentes aos mananciais de abastecimento de água do DF.

Para o indicador Demanda (razão entre consumo de água e a vazão média capitada para abastecimento) a pior situação se deu nos mananciais Paranoazinho, Contagem e Corguinho, que abastecem Sobradinho I e II, seguidos dos mananciais Torto e Santa Maria. Destaca-se que para o indicador de demanda, os valores mais altos são para os mananciais Descoberto e Catetinho e os mananciais destinados ao abastecimento da região de Planaltina (Fumal, Brejinho, Pipiripau, Mestre D'Armas e Quinze).

Para o indicador de Capacidade o valor mais baixo verifica-se para os mananciais Paranoazinho, Contagem e Corguinho, que abastecem Sobradinho I e II, além destes, os mananciais Capão da Onça e Barrocão, que abastecem Brazlândia e os mananciais Torto e Santa Maria que abastecem 8 RA (Quadro 4.1) também apresentaram valores baixos.

É importante destacar que a região de Sobradinho I recebe reforço de abastecimento dos mananciais que abastecem a região de Planaltina, já a região de Brazlândia conta apenas com poços para dar suporte ao abastecimento.

Dessa forma, como muitos sistemas são interligados, é importante considerar a capacidade dos sistemas como um todo. Para essa análise mais ampla a pior situação é do

sistema Brazlândia seguida do Sistema Torto/Santa Maria, sendo que este último também recebe reforço do sistema Descoberto (CAESB, 2014).

Os valores mais altos para o indicador capacidade também correspondem aos mananciais Fumal, Brejinho, Pípiripau e Mestre D'Armas e aos mananciais Descoberto, Ponte da Terra e Crispin (responsáveis pelo abastecimento do Gama). Já para o indicador de qualidade os valores foram mais homogêneos onde seis dos agrupamentos de mananciais elencados possuem altos valores desse indicador (Figura 4.4).

Em virtude das áreas abastecidas pelos poços possuírem um número baixo de habitantes, a situação da disponibilidade hídrica nessas áreas ficou muito superior do que das áreas abastecidas pela rede geral. Assim, o indicador Disponibilidade (vazão per capita) apresentou valor igual a zero para todos os mananciais, por esse motivo não será representado graficamente.

A situação dos mananciais em relação aos indicadores Qualidade Ambiental, Alternativas para o Abastecimento, Índice de Produção de água e Coeficiente de Precipitação são apresentados no gráfico da figura 4.5.

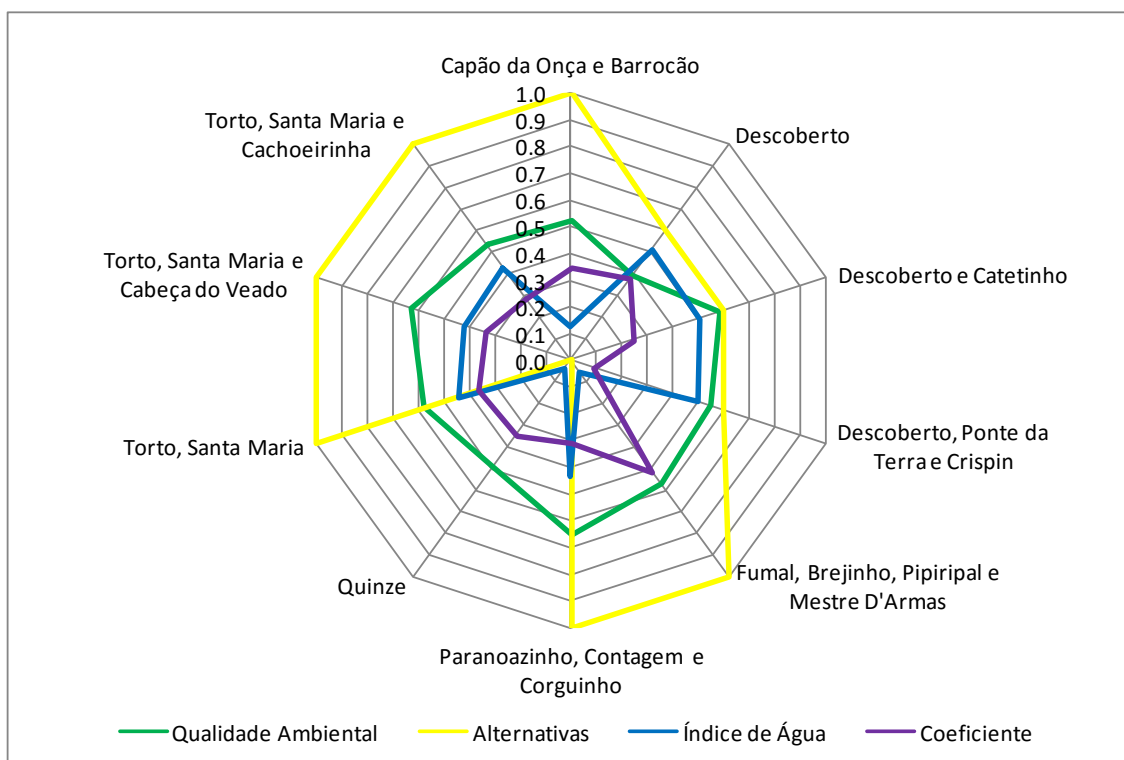


Figura 4.5: Gráfico com os valores padronizados para os indicadores pertencentes aos critérios viabilidade, ambiental e recursos brutos, referentes aos mananciais de abastecimento de água do DF.

Para o indicador Alternativas para o Abastecimento a pior situação é para o manancial Quinze (parte de Planaltina). Porém, é importante destacar que esse valor está padronizado e que nenhum dos conjuntos de mananciais possui capacidade total para suprir o abastecimento, apenas parcialmente, e nesse caso uns podem suprir uma parte maior que outros (CAESB, 2011b). Para o indicador de qualidade ambiental todos os mananciais apresentaram valores na mesma faixa, entorno de 0,5 e 0,6, apenas o Descoberto (Ceilândia, Taguatinga, Águas Claras, Vicente Pires, Samambaia, Recanto das Emas, Santa Maria, Riacho Fundo I e II, Guará e Candangolândia) ficou com um valor inferior 0,39.

Os indicadores do critério recursos hídricos apresentaram os valores mais baixos para os mananciais, comparados aos critérios de viabilidade e ambiental. Em relação ao índice de produção de água os valores mais baixos foram verificados nos mananciais Quinze (0,0) Fumal, Brejinho, Pípiripau e mestre Darmas (0,1), ambos abastecem Planaltina. E ainda os mananciais Capão da Onça e Barrocão (0,1), que abastecem Brazlândia. Já os valores mais altos encontram-se para os mananciais que correspondem ao sistema Descoberto.

Para o coeficiente de precipitação os mananciais mais sensíveis, com menores valores, são Descoberto, Ponte da Terra e Crispin (0,1 - Gama) e Descoberto e Catetinho (0,2 - Park Way). Os demais apresentam valores próximos, porém os valores mais elevados foram encontrados nos mananciais Fumal, Brejinho, Pípiripau e Mestre D'Armas (Planaltina).

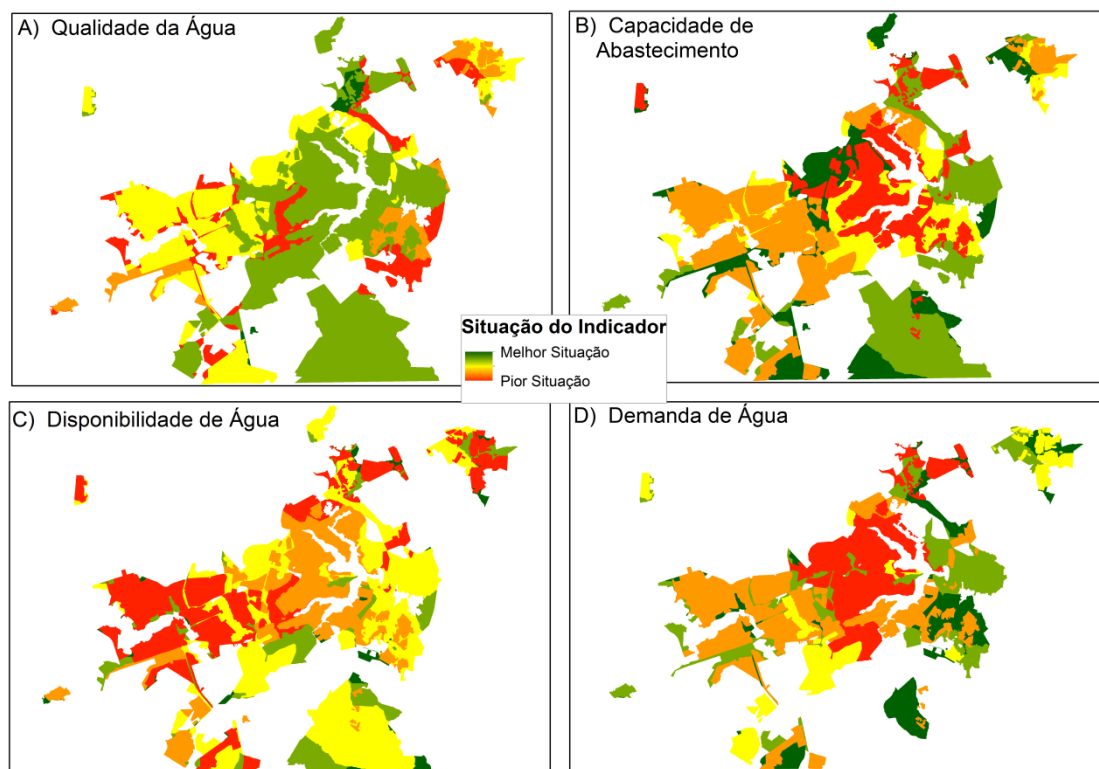
#### 4.3.2 ÁREA URBANA

Nesta seção serão abordados os resultados dos indicadores de abastecimento em relação a área urbana. Apontando quais regiões possuem as condições mais favoráveis e o oposto.

##### 4.3.2.1 Qualidade da água

Para o indicador de qualidade da água (Figura 4.6a) as piores situações ocorreram em áreas supridas por meio de poços, onde o valor da qualidade da água aqui utilizado foi determinado indiretamente por Castanheira (2016). Geralmente são áreas onde há presença de áreas urbanas adensadas, como por exemplo, São Sebastião. Também

apresentaram valores baixos porções das regiões de Brasília, Candangolândia, Lago Sul, Itapoã, Jardim Botânico, São Sebastião, Samambaia, Sobradinho II e Planaltina. As áreas onde se verificou as melhores situações para esse indicador foram as pertencentes a RA Sobradinho II, abastecidas pelos mananciais Paranoazinho, Contagem e Corguinho.



Obs:As áreas que aparecem em branco nas figuras C e D é porque não possuem dados de população e consumo, respectivamente.

Figura 4.6: Indicadores do critério Fornecimento: A) Qualidade da água; B) Capacidade de Abastecimento das fontes; C) Disponibilidade de Água e; D) Demanda de água.

#### 4.3.2.2 Capacidade de Abastecimento das Fontes

O indicador de Capacidade de Abastecimento das fontes (Figura 4.6b) avalia a relação entre a retirada de água para abastecimento e os recursos totais disponíveis para abastecimento no manancial/fonte (CAESB, 2011b). As piores situações foram verificadas nas áreas abastecidas pela rede geral, sendo os valores mais baixos identificados nas RA abastecidas pelo sistema Torto Santa Maria (Quadro 4.1), em Sobradinho I e II e Brazlândia.

Os valores mais altos para esse indicador ocorrem nas áreas abastecidas pelos poços, uma vez que geralmente a retirada nessas áreas é pontual e deve respeitar o limite outorgado e este é muito maior do que a demanda da região abastecida. Essas áreas não possuem adensamento urbano, são geralmente ocupadas por pastagem ou áreas agrícolas,

além de residências espalhadas, ainda com características de áreas rurais e em alguns casos condomínios em crescimento.

Uma exceção é a região da Fercal, que possui alto valor de capacidade de abastecimento. Em 2009 era abastecida por meio de poços, porém possui uma comunidade relativamente significativa, cerca de 8.400 habitantes. Deve-se considerar que a região da Fercal situa-se na Área de Preservação Ambiental de Cafuringa, e por tanto as atividades nessas áreas observam os princípios legais específicos de utilização.

#### *4.3.2.3 Disponibilidade de Água*

Para o indicador de disponibilidade de água (Figura 4.6c), água capitada por pessoa, a situação do DF como um todo é crítica, da área abastecida pela rede geral o maior valor encontrado foi de cerca de 310 m<sup>3</sup>/hab/ano (Lago Sul e Jardim Botânico), sendo que de acordo com Falkenmark (1989), áreas onde o abastecimento é inferior a 500 m<sup>3</sup>/hab/ano, são consideradas como de escassez crônica dos recursos hídricos. Todos os mananciais que abastecem a rede geral ficaram com valores muito baixos quando comparados as áreas abastecidas pelos poços. Isso se dá devido ao fato de que nessas áreas vivem uma pequena parcela da população, e dessa forma, a quantidade de recursos hídricos por pessoa se torna muito mais alta. Os valores mais baixos foram identificados nas RA Planaltina, Sobradinho I e II (Sistema Sobradinho/Planaltina), Santa Maria, Riacho Fundo I e II, Samambaia, Recanto das Emas, Ceilândia, Taguatinga, Guará, Águas Claras, Vicente Pires, Candangolândia e Brazlândia.

#### *4.3.2.4 Demanda de Água*

Para o dado de demanda de água (Figura 4.6d), algumas áreas não possuíam informação, assim foram excluídas da análise. A situação mais crítica é verificada para as regiões de Sobradinho I e II, Brasília, Sudoeste/Octogonal, Lago Norte, Varjão, Estrutural, SIA, Núcleo Bandeirante e Cruzeiro. A pior situação apresentada por esse indicador no entanto, ocorre em subbacias (área abastecida por poço) nas regiões de Brasília e Lago Sul. Já os valores mais altos encontram-se em regiões abastecidas por poços, principalmente em Itapoã, Paranoá, Jardim Botânico, São Sebastião, Santa Maria, Sobradinho II e Planaltina.

#### 4.3.2.5 Alternativas para o Abastecimento

A figura 4.7a apresenta o indicador de alternativas para o abastecimento, pertencente ao critério viabilidade. Esse indicador aponta uma fragilidade em relação a distribuição de água (CAESB, 2011b). Nesse caso, como já mencionado anteriormente, para as áreas com captação de água subterrânea, considerou-se que não há alternativas, conseqüentemente essas áreas são as que apresentam os resultados mais baixos. Os melhores resultados são para as áreas centrais das RA de Brasília, Lago Norte, Varjão, Estrutural, SIA, Sudoeste/Octogonal, Núcleo Bandeirante e Cruzeiro, Jardim Botânico, Lago Sul, Itapoã, Planaltina, Sobradinho I e II e Paranoá.

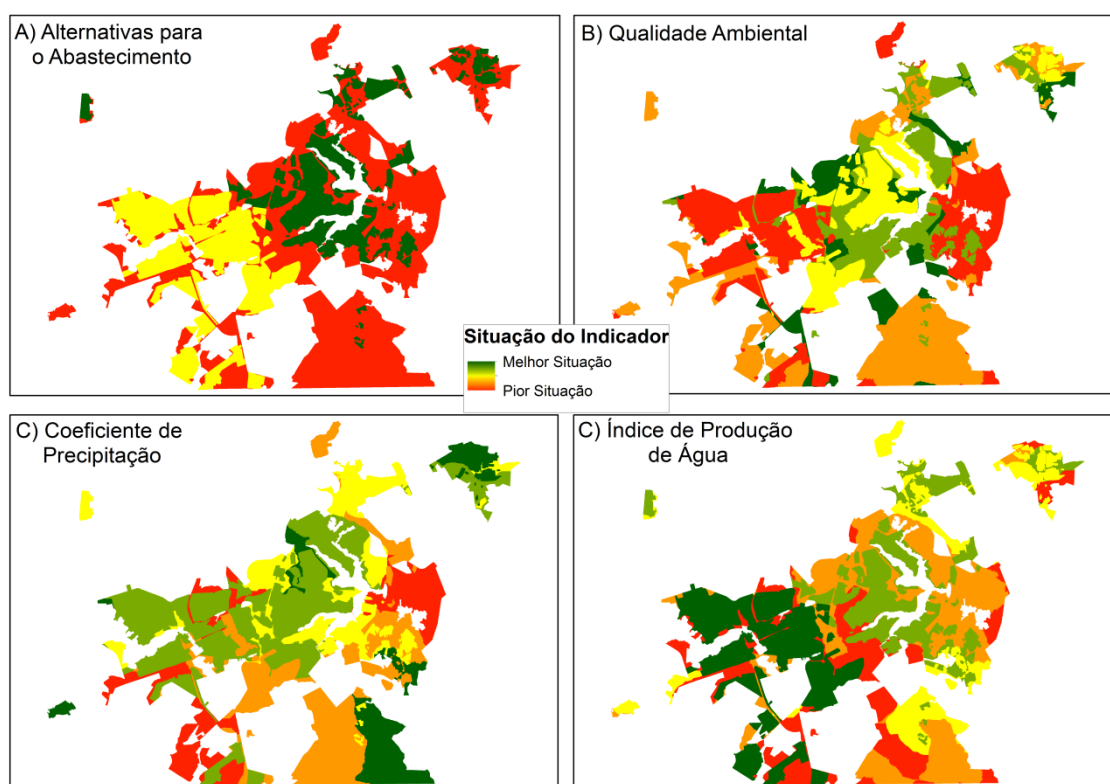


Figura 4.7: Indicadores do critério Viabilidade: A) Alternativas para o abastecimento; Indicadores do critério Ambiental: B) Qualidade Ambiental; e Indicadores do critério Recursos Hídricos: C) Coeficiente de precipitação e; D) Índice de produção de água.

#### 4.3.2.6 Qualidade Ambiental

O indicador de qualidade ambiental (Figura 4.7b) avaliou as condições dos mananciais em relação ao escoamento superficial, potencial de recarga e potencial à erosão. Em relação a esse indicador os piores valores foram para as regiões abastecidas pelo Descoberto, Ceilândia, Taguatinga, Águas Claras, Vicente Pires, Samambaia,



Recanto das Emas, Santa Maria, Riacho Fundo I e II, Guará e Candangolândia. Além dessas, as áreas que usam abastecimento de fontes subterrâneas, Fercal, Jardim Botânico, Paranoá e São Sebastião também possuem valores baixos. Os melhores resultados obtidos foram para áreas abastecidas por poços, dentre elas áreas em Brasília, Planaltina, Sobradinho II, Itapoã, Candangolândia e Park Way.

#### *4.3.2.7 Índice de Produção de Água*

Para o índice de Produção de Água (Figura 4.7c - vazão pela área da subbacia) os resultados mais baixos foram verificados nas áreas onde o abastecimento não é realizado pela rede geral, dentre essas pode-se citar porções de área em Santa Maria, Brasília, Lago Sul, Jardim Botânico, Planaltina, Recanto das Emas e Samambaia. Já os valores mais altos estão presentes em, Ceilândia, Taguatinga, Águas Claras, Vicente Pires, Samambaia, Recanto das Emas, Santa Maria, Riacho Fundo I e II, Guará e Candangolândia, abastecidos pelo Descoberto e as RA do Gama e Park Way.

#### *4.3.2.8 Coeficiente de Precipitação*

Para o coeficiente de precipitação (Figura 4.7d) as melhores condições ocorrem tanto em áreas abastecidas por poços, São Sebastião, Jardim Botânico, Planaltina e Recanto das Emas, quanto em áreas abastecidas pela rede geral, caso de Planaltina (mananciais Fumal, Brejinho e Pípiripau). Para os valores mais baixos também acontece o mesmo, em áreas abastecidas por poços, exemplos do Paranoá, Recanto das Emas e Santa Maria e para as áreas supridas pela rede geral, RA Gama (Descoberto, Ponte da Terra e Crispin).

### 4.3.3 MAPEAMENTO DOS CRITÉRIOS

A figura 4.8 apresenta o resultado ponderado para os critérios Fornecimento (Figura 4.8a) e Recursos Brutos (Figura 4.8b), os demais critérios não serão apresentados, pois só possuem um indicador e já foram abordados nas seções anteriores.

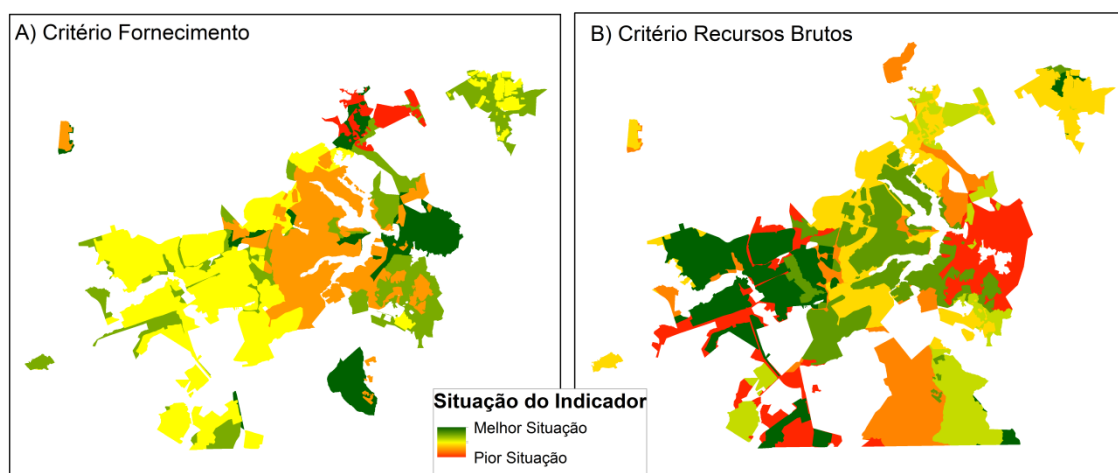


Figura 4.8: Índices compostos para os critérios de: A) Fornecimento e; B) Recursos Brutos.

Com relação ao critério Fornecimento os valores variaram entre 0,2 e 0,8. É possível perceber que a área onde ocorre a pior situação é referente às regiões de Sobradinho I e II. As regiões de Brazlândia e das RA da região central do DF (abastecidas pelo sistema Torto/Santa Maria, ver quadro 4.1) aparecem logo em seguida também com valores baixos para esse critério.

As regiões de Sobradinho I e II são abastecidas pelo sistema Sobradinho/Planaltina e para a área de Sobradinho I existe um reforço em relação ao fornecimento de água para a população, que não foi considerado para as análises (CAESB, 2011a; CAESB, 2014). O sistema Torto/Santa Maria, também recebe um reforço de abastecimento do reservatório Descoberto (CAESB, 2011a; CAESB, 2014).

Dessa forma, a região de Brazlândia entre todas merece um maior cuidado, pois possui um abastecimento isolado, onde não há um reforço de fornecimento de água para essa área. De acordo com CAESB (2014), essa é a região do DF mais sensível ao desabastecimento, sendo frequentemente afetada por interrupções do fornecimento de água.

As melhores situações apontadas para esse critério ocorrem para áreas abastecidas por poços, principalmente nas regiões de Sobradinho II, Paranoá e Jardim Botânico. Os altos valores, para o critério fornecimento, encontrados nessas áreas é explicado pelo fato das mesmas obterem valores altos em três dos quatro indicadores analisados.

Para o critério Recursos Brutos a melhor situação verificada corresponde as RA de Ceilândia, Taguatinga, Santa Maria, Recanto das Emas, Vicente Pires, Águas Claras, Guará, Riacho Fundo I e II, Samambaia e Candangolândia (abastecidas pelo sistema

Descoberto) e pequenas áreas abastecidas por poços em São Sebastião e Planaltina. Onde foram verificados altos valores para os dois indicadores analisados, sendo que o reservatório do Descoberto é o mais abundante em relação à vazão, dos mananciais do DF e que o valor de vazão medido para os mananciais é maior do que o dos poços, devido a suas características naturais.

As piores situações ocorrem para áreas abastecidas por meio de poços no Jardim Botânico, Paranoá, Santa Maria, Gama, Park Way, Vicente Pires, Samambaia e Recanto das Emas. Essas áreas possuem baixos valores para os dois indicadores analisados.

#### 4.3.3 ÍNDICE DA SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA URBANO (ISAAU)

Para geração do índice de abastecimento para a área urbana do DF foi realizada uma consolidação dos julgamentos dos participantes. A figura 4.8 apresenta a hierarquia decisória e os pesos finais para os critérios e indicadores. Esta análise foi dividida em três níveis, onde o nível 0 corresponde ao índice, o nível 1 aos critérios e o nível 2 refere-se aos indicadores.

Hierarquia da Decisão			
Nível 0	Nível 1	Nível 2	
Abastecimento	Ambiental 0.379	Qualidade Ambiental	
	Viabilidade 0.161	Alternativas	
	Fornecimento 0.280	Demanda de Água 0.291	
		Capacidade 0.327	
		Disponibilidade 0.182	
		Qualidade 0.200	
	Recursos Brutos 0.180	Índice de Produção 0.511	
		Coefficiente de Precipitação 0.489	

Figura 4.8: Hierarquia da decisão e pesos finais dos critérios e indicadores para o índice de abastecimento de água da área urbana do DF.

Para o critério de fornecimento o indicador de capacidade de abastecimento das fontes foi considerado o mais relevante (33%), seguido do indicador demanda de água (29%), e o indicador disponibilidade de água foi considerado o de menor importância (18%). Para o critério recursos brutos ambos indicadores obtiveram pesos próximos, sendo o indicador de índice de produção de água o mais significativo para a análise (51%).

Como pode ser observado na figura 4.8 de acordo com o julgamento dos participantes o critério que possui maior relevância para a análise é o Ambiental, representando aproximadamente 38% do valor do índice. Em segundo lugar aparece o critério Fornecimento, que contabiliza 28% do valor total. Para o critério Recursos Brutos considerou-se 18% e para o critério Viabilidade 16% do total, sendo este último o critério com a menor relevância.

O gráfico da figura 4.9 apresenta a relevância que cada indicador possui, em porcentagem, para o índice de abastecimento (ISSAU). Sendo assim, os mais importantes, considerados pelos participantes, foram qualidade ambiental (37,9%) e alternativas para o abastecimento (16,1%). Por outro lado, os indicadores qualidade (5,6%) e disponibilidade (5,1%) foram os que apresentaram a importância menos significativa.

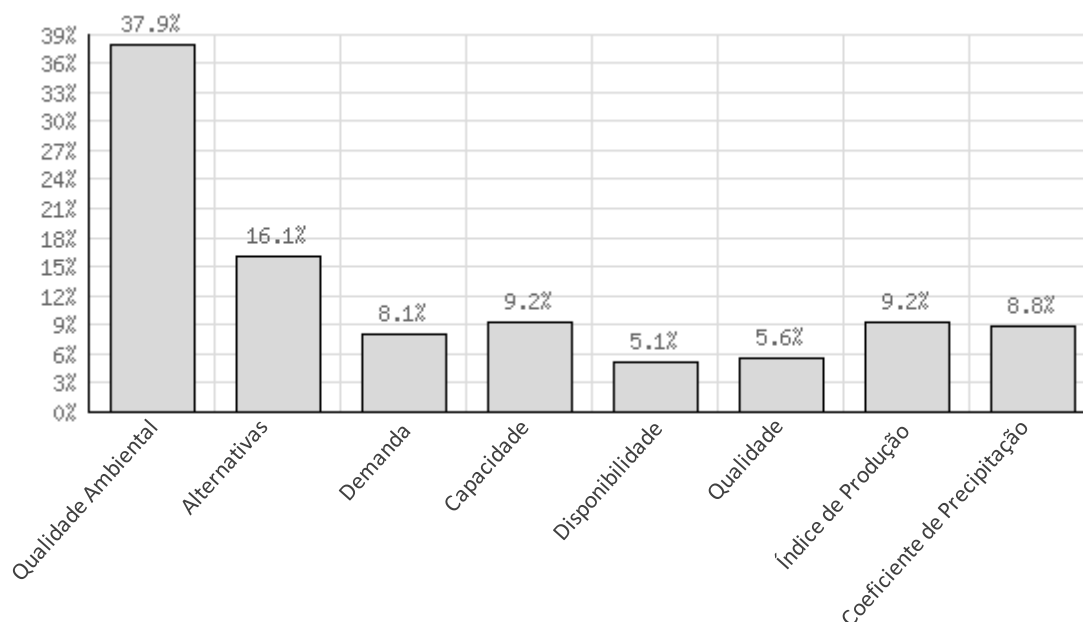


Figura 4.9: Valor da ponderação por pesos por indicador para índice (ISSAU).

Além de realizar a consolidação dos resultados obtidos por participante em pesos finais, o *software* BPMSG AHP-OS também desenvolve uma análise de consenso dos resultados por nível e geral. Dessa forma, o consenso para o julgamento variou entre 64

a 72%, considerado baixo a moderado pelo sistema, evidenciando uma divergência de opinião entre os atores.

#### 4.3.4 MAPA DO ÍNDICE DA SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA URBANO (ISAAU) DO DF

O índice final obtido não corresponde à totalidade da área urbana, pois as áreas que não possuíam informação para qualquer um dos indicadores analisados foram excluídas. Os resultados obtidos para o índice de abastecimento variaram entre os valores 0,26 e 0,60, ou seja, nenhuma das regiões possui uma situação “excelente” (considerando 1 como a melhor situação) em relação ao abastecimento e também não há nenhuma área com situação extremamente crítica (considerando 0 como a pior situação).

Dessa forma, de acordo com o ISAAU (Figura 4.11) as áreas que possuem a pior situação são as abastecidas por poços, dentre essas mais especificamente as áreas pertencentes as RA Riacho Fundo I (0,26), Jardim Botânico (0,31), São Sebastião (0,33), Brasília (0,35), Gama e Santa Maria (0,35). As áreas onde se identificaram os valores mais altos correspondem as RA Lago Sul (0,6), Jardim Botânico (0,6) e Planaltina (0,57), que são abastecidas respectivamente pelos sistemas Torto/Santa Maria e Sobradinho/Planaltina.

Analisando o resultado pelo sistema é possível notar que as áreas que são supridas pelo Torto/Santa Maria, porção central do DF (ver quadro 4.1) possuem os valores mais altos encontrados para o índice, variando de 0,55 a 0,6. Seguido do sistema Sobradinho/Planaltina que possui valores variando de (0,54 a 0,57). As regiões cobertas pelo sistema Brazlândia apresentou valor de 0,52.

Das áreas abastecidas pela rede geral a pior situação (0,46) é evidenciada para as RA Ceilândia, Taguatinga, Santa Maria, Recanto das Emas, Vicente Pires, Águas Claras, Guará, Riacho Fundo I e II, Samambaia e Candangolândia. Essas áreas são abastecidas pelo reservatório do Descoberto, que é o maior sistema produtor de água do DF e que abastece a maior parte da população (CAESB, 2014). As regiões do Gama (0,51) e Park Way (0,54) que também compõem esse sistema apresentaram valores maiores.

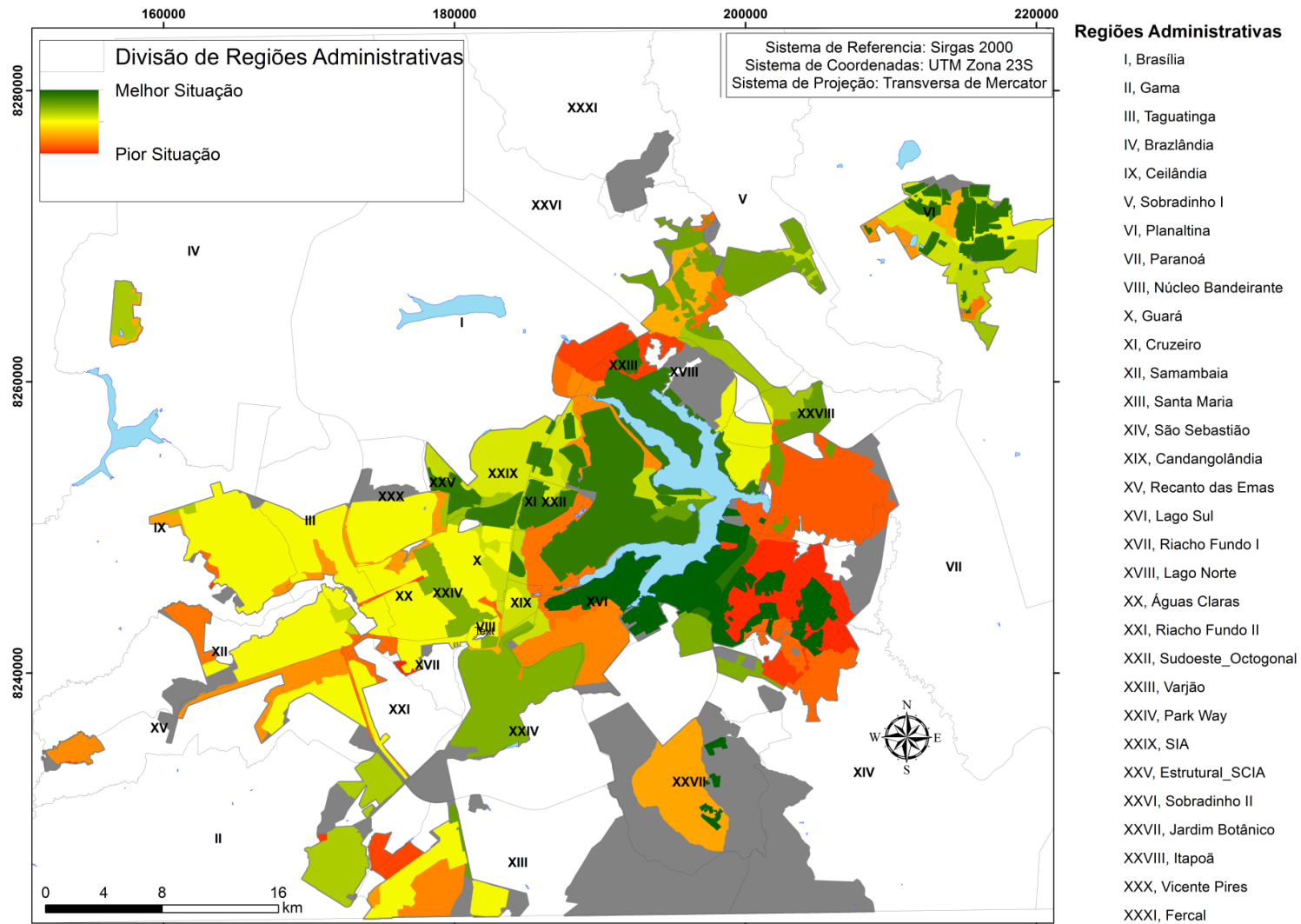


Figura 4.11: Índice de Situação do Abastecimento de Água das Áreas Urbanas do DF.

## 4.4 DISCUSSÕES

### 4.4.1 PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS INDICADORES

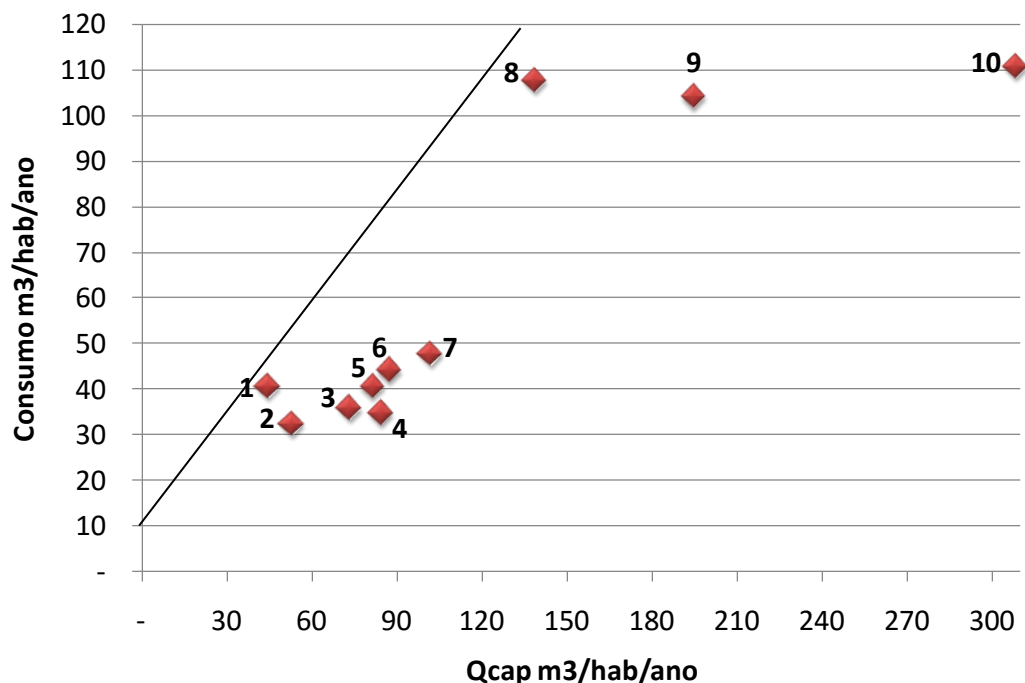
Atualmente o DF atravessa a pior crise hídrica de sua recente história, dentre os fatores elencados para tal situação estão: a baixa disponibilidade de recursos, devido a sua geografia, o intenso período de seca, com valores precipitados abaixo da média histórica; alto consumo de água por pessoa (Apêndice C); ocupação desordenada do solo e; falta de investimentos no sistema de abastecimento de água (ANA, 2013; CAESB, 2016).

O indicador de Disponibilidade de Água corrobora para tal situação (Figura 4.6c). Este foi desenvolvido por meio do índice de Falkenmark (1989), esse índice analisa a quantidade de recursos hídricos disponíveis per capita, geralmente é utilizado em escala regional. Esse índice estabelece quatro níveis em relação à escassez hídrica, onde até 500 m<sup>3</sup>/hab/ano é caracterizado como escassez crônica, de 500 até 1000m<sup>3</sup>/hab/ano escassez hídrica; 1000 até 1700m<sup>3</sup>/hab/ano estresse hídrico.

Para o caso do DF o indicador foi estimado tendo como referência apenas a vazão utilizada para o abastecimento de água, já que o objeto era estimar a quantidade disponível para satisfazer o abastecimento urbano. Ao considerar os níveis definidos por Falkenmark (1989), toda a região do DF abastecida pela rede geral, que abrange 95% da população (IBGE, 2010), está no limite referente à escassez crônica de água, porém deve-se atentar para as diferenças entre as duas metodologias (realizada por Falkenmark e a adotada nesse trabalho). Rocha *et al.* (2013), avaliaram o índice para todo o Brasil, considerando todos os recursos hídricos superficiais disponíveis, nessa análise a região do DF se enquadrava na classe onde há estresse hídrico (entre 1000 e 1700 m<sup>3</sup>/hab/ano).

Outro fator importante diz respeito ao consumo de água, onde o DF aparece como um dos maiores consumos per capita nacional (IPEA, 2013). O consumo de água no DF ocorre de maneira desigual (Paviani e Brandão, 2015). O artigo apresentado no apêndice C dessa pesquisa, traz um estudo do consumo de água residencial, onde analisa o tipo de estrutura residencial em relação ao consumo e aponta que 65% das estruturas urbanas consomem acima do valor recomendado pela OMS (110 litros/hab/dia), sendo que algumas estruturas chegam a consumir até aproximadamente 450 litros/hab/dia.

Os dados apresentados neste capítulo apontam que existem áreas que apresentam forte pressão em relação ao consumo e a vazão disponível para o abastecimento. A figura 4.12 apresenta um gráfico com o consumo e a vazão média capitada per capita.



- |                                                 |                                          |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1 - Paranoazinho, Contagem e Corguinho          | 6 - Descoberto                           |
| 2 - Torto, Santa Maria e Cachoeirinha           | 7 - Descoberto, Ponte da Terra e Crispin |
| 3 - Fumal, Brejinho, Pipiripal e Mestre D'Armas | 8 - Torto e Santa Maria                  |
| 4 - Quinze                                      | 9 - Torto, Santa Maria e Cabeça de Veado |
| 5 - Capão da Onça e Barroão                     | 10 - Descoberto e Catetinho              |

Figura 4.12: Relação entre o consumo per capita  $m^3/ano$  e vazão média capitada  $m^3/ano$  para os principais agrupamentos de mananciais responsáveis pelo abastecimento urbano de água do DF.

Os maiores consumos per capita evidenciados correspondem as regiões que são abastecidas pelos mananciais Descoberto e Catetinho (Park Way), pelos mananciais Torto e Santa Maria (RA Brasília, Lago Norte, Sudoeste/Octogonal e outras, ver quadro 1) e Torto, Santa Maria e Cabeça de Veado (Lago Sul e Jardim Botânico). Estas áreas consomem por volta de  $100 m^3/hab/ano$  de água. É possível perceber que o consumo nas regiões que são abastecidas por esses mananciais é aproximadamente o dobro do consumo verificado para as demais.

As situações mais sensíveis em relação a essas duas variáveis apresentadas na figura 4.12, correspondem aos mananciais Paranoazinho, Contagem e Corguinho (Sobradinho I e II) e Torto, Santa Maria e Cachoeirinha (Paranoá e Itapoã), onde o consumo é muito próximo à quantidade de água disponível, ou seja, qualquer acréscimo no consumo ocasiona a saturação da água capitada, obrigando a aumentar o volume



captado, o que impacta na capacidade do manancial e ou buscar reforço no abastecimento via outra fonte de água, o que implica em investimento de recursos.

Cabe considerar que os dados analisados correspondem ao ano de 2009, de acordo com o IBGE (2017) a população aumentou de 2.570.160 de habitantes em 2010 para 3.039.444 em 2017, além disso, a vazão captada nos principais afluentes dos principais sistemas aumentou enquanto que sua disponibilidade reduziu (CAESB, 2017). A situação só não é mais crítica atualmente, pois houve nos últimos anos uma redução no consumo de água (CAESB, 2015; CAESB, 2017), atribuída as campanhas de conscientização realizadas em virtude da escassez hídrica da região sudeste.

Diante disso, também foi constatado nessa pesquisa e evidenciado pela situação atual do DF, que nenhum dos sistemas de água possui alternativas para suprir totalmente o abastecimento de água do seu sistema. Devido a isso, a solução para o fornecimento de água é realizar as captações cada vez em locais mais distantes, como será realizado com a utilização do reservatório Corumbá.

#### 4.4.2 PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES SOBRE O ÍNDICE (ISSAU)

O ISSAU evidenciou que as regiões mais sensíveis à situação do abastecimento são aquelas que não são supridas pela rede geral. A maior parte dessas áreas possui padrão de ocupação que ainda preserva características rurais, sendo a maior parte das ocupações residenciais do tipo chácaras e grande parte das áreas com exploração agropecuária, possuindo baixa taxa de ocupação populacional (IBGE, 2010).

O caso mais delicado é para a RA São Sebastião, onde as áreas com pior situação para o abastecimento coincidem com a área do aglomerado urbano, onde residem cerca de 71.300 habitantes (IBGE, 2010). Para essa área não existe alternativas para o abastecimento e os valores para o coeficiente de precipitação e para o indicador de qualidade ambiental são baixos.

Considerando que é uma área abastecida unicamente por meio de poços esses resultados são ainda mais significativos, uma vez que essas áreas são extremamente dependentes das características físicas do ambiente. Principalmente para as variáveis escoamento superficial e potencial de recarga para o aquífero, que compõem o indicador qualidade ambiental (Figura 4.7b). Sendo que as alterações em relação a essas variáveis inviabilizam a disponibilidade de água.

Além da situação da região de São Sebastião, as áreas que são supridas pelo rio Descoberto (Quadro 4.1), também apresentam baixos valores. Esse caso é extremamente relevante, uma vez que esse manancial é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 62% da população do DF, além de fornecer água para o fortalecimento do sistema Torto/Santa Maria (CAESB, 2014). É perceptível que essa situação se atenuou nos últimos anos, sendo que atualmente se encontra com 6,5% de seu volume útil (ADASA, 2017a), menor nível já registrado na história.

Embora as regiões do Lago Sul, Jardim Botânico e Planaltina apresentarem as melhores situações, é importante frisar que esse máximo corresponde a 60% do potencial total do índice de abastecimento (ISAAU). Dessa forma, a presente situação de crise de água do DF, mostra que todas as regiões encontram-se com problemas em relação a esse recurso.

Especificamente para o caso do manancial Santa Maria, assim como o Descoberto, este apresenta o pior valor para o nível de volume útil já registrado, 23% (ADASA, 2017a). A região de Planaltina é reconhecida pelos problemas de conflitos pelo uso da água (ANA, 2010a). Sendo implantado nessa região programas, como o Produtor de Água que vem sendo realizado desde 2008 (ANA, 2010b). Esse projeto tem como objetivo o controle da poluição difusa rural em bacias de importância estratégica, com foco na redução da erosão, melhoria da quantidade e da qualidade da água e regulação do regime hidrológico dos rios, por meio de práticas vegetativas e mecânicas de conservação (ADASA, 2017b).

A CAESB (2011b) realizou um trabalho que avalia o desempenho dos mananciais para o abastecimento. Nesse trabalho foram avaliados individualmente 26 mananciais em operação e alguns desativados. Os resultados obtidos nessa pesquisa são similares aos valores apontados aqui, sendo que para o índice da CAESB os mananciais avaliados obtiveram valores entre 0,3 e 0,75. Essa avaliação classificou os mananciais em ruim, razoável, bom e muito bom, considerando para o índice oito critérios (CAESB, 2011b).

Todos os mananciais analisados foram classificados como razoável ou bom. Considerando apenas os mesmos mananciais verificados pelo ISAAU, a melhor situação foi verificada para o manancial Santa Maria. Em relação ao ISAAU a melhor situação foi apontada para as regiões do Lago Sul e Jardim Botânico que são abastecidas pelo manancial Santa Maria. Além deste, essas RA utilizam água dos mananciais Torto e

Cabeça de Veado, também obtiveram valores considerados bons, segundo o índice da CAESB.

A segunda melhor avaliação por meio do ISAAU foi para a região de Planaltina. Essa região é abastecida pelos mananciais Fumal, Brejinho, Pípiripau e Mestre D'Armas, estes dois últimos foram classificados pela CAESB como razoável e os outros dois como bons. O que atualmente não se verificou já que a região tem passado por crises de água devido a baixa de seus mananciais.

Os piores resultados corresponderam aos mananciais Cachoeirinha e Barroão. O manancial Cachoeirinha é responsável pelo reforço do abastecimento das regiões do Paranoá e Itapoã. Essas áreas não aparecem como as mais sensíveis no ISAAU, porque elas também recebem água dos mananciais Santa Maria e Torto. O manancial Barroão juntamente com o manancial Capão da Onça realizam o abastecimento da RA Brazlândia. Este último manancial, de acordo com o índice da CAESB obteve valor razoável.

A pior situação verificada, entre as áreas abastecidas pela rede geral, no ISAAU foi para a porção oeste do DF, atendidas pelo Descoberto. Este manancial foi apontado pela CAESB como bom, porém muito próximo do limiar entre o razoável. É importante salientar que o tipo de análise, os indicadores, critérios e pesos utilizados pelo índice da CAESB e deste trabalho foram diferentes.

Isaias (2008) desenvolveu um índice para avaliar a sustentabilidade de onze bacias hidrográficas do DF, dentre elas as bacias dos mananciais Capão da Onça, Brejinho, Fumal, Corguinho, Quinze, Mestre D'Armas, Cachoeirinha e Barroão. Esse índice reflete diretamente sobre as condições dos recursos hídricos, principalmente com relação à qualidade desse recurso e do ambiente.

Dessas bacias analisadas por Isaias a pior situação ocorreu para a bacia do manancial Cachoeirinha (inferior a 0,3) e em seguida as bacias dos mananciais Barroão e Mestre D'Armas (entre 0,3 e 0,4). Essas bacias correspondem respectivamente aos mananciais que abastecem as áreas de Paranoá e Itapoã, Brazlândia e Planaltina. As demais bacias apresentaram valores variando entre 0,6 e 0,7, sendo a bacia do manancial Capão da Onça a com o índice mais alto.

Esses dois índices (Isaias, 2008; CAESB, 2011) apesar de terem objetivos diferentes e analisarem dados diferentes possuem resultados similares que convergem para a mesma direção desta pesquisa. O ISAAU, corrobora com os outros autores, mesmo com as diferenças metodológicas e de abordagem. E mais que isso, seu resultado

evidencia a situação vivenciada nos dias atuais, onde a crise hídrica está instalada e coaduna com a situação representada pelo índice (Figura 4.11).

#### 4.5 CONCLUSÃO

O índice da situação do abastecimento de água (ISAAU) do DF demonstrou que as áreas com a situação mais sensível em relação ao abastecimento de água são justamente as que não são abastecidas pela rede geral. Tal fato tem como atenuante que essas regiões abrigam uma pequena parcela da população, 5%. Em relação às áreas abastecidas pela rede geral nenhuma delas apresentou a situação ideal, sendo que as áreas com melhor situação não ultrapassam 60% do total do índice, o que revela um cenário preocupante.

As melhores condições identificadas são para as RA Lago Sul e Jardim Botânico. As áreas que apresentaram os valores mais baixos (regiões com abastecimento realizado por poços) são porções de área pertencentes as RA Riacho Fundo I, Jardim Botânico, São Sebastião, Brasília, Gama e Santa Maria. Para as áreas com ligação da rede geral a pior situação é referente as RA Ceilândia, Taguatinga, Vicente Pires, Águas Claras, Guará, Candangolândia, Riacho Fundo I e II, Recanto das Emas, Samambaia e Santa Maria, abastecidas pelo reservatório Descoberto.

Considerando que o índice foi gerado para o ano de 2009, a realidade atual do DF (2017), corrobora para os resultados obtidos. Em que os principais mananciais de abastecimento de água estão com os volumes abaixo do nível crítico, além de serem empregadas medidas para redução do consumo de água em todo o DF, como racionamento de água e cobrança de sobretaxa de até 40% sobre o valor de água consumido.

Os resultados gerados pela abordagem AHP para o índice apontou um consenso geral de análise moderado, que não é a melhor situação possível, porém isso reflete as diferentes visões existentes, tanto dentro da gestão pública entre suas diferentes partes, quanto em relação ao desenvolvimento científico.

O exercício de gerar um índice é extremamente delicado e difícil, conseguir sintetizar todo um sistema ou fenômeno complexo para um conjunto de indicadores e posteriormente integrá-los é um grande desafio. Dessa forma, acredita-se que o índice gerado cumpre o objetivo de apresentar como as áreas urbanas estão em relação ao abastecimento de água.

Por fim, julga-se que tanto os indicadores quanto o índice (ISAAU) gerados tem potencial para servir como ferramenta de subsídio a tomada de decisão, podendo ser aliado à outros dados e informações complementares para a realização de ações preditivas, que visem priorizar áreas e recursos para as localidades com maior necessidade.

## REFERÊNCIAS

- ABES, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2013. Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate. São Paulo, 2013. 45p.
- ADASA, Agência Reguladora de Águas, energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. 2017a. Níveis dos reservatórios. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/monitoramento/niveis-dos-reservatorios>>. Acesso em Outubro de 2017.
- ADASA, Agência Reguladora de Águas, energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. 2017b. Produtor de água no Pípiripau é renovado por mais 5 anos. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/area-de-imprensa/noticias/681-produtor-de-agua-no-pipiripau-e-renovado-por-mais-5-anos>>. Acesso em Outubro de 2017.
- ANA, Agência Nacional de Águas. 2010a. Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: Resultados por estado. ANA/Engecorps/Cobrape - Brasília. v2. 90p. 2010.
- ANA, Agência Nacional de Águas. 2010b. Programa produtor de água: relatório diagnóstico socioambiental da bacia do ribeirão Pípiripau. Disponível em: <[http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Relatorio\\_Diagnostico\\_Pipiripau\\_PRODUTOR\\_DE\\_AGUA2.pdf](http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Relatorio_Diagnostico_Pipiripau_PRODUTOR_DE_AGUA2.pdf)>. Acesso em Outubro de 2017.
- ANA, Agência Nacional de Águas. 2011. O comitê da bacia hidrográfica: o que é e o que faz?. Cadernos de capacitação em recursos hídricos. SAG - Brasília. v. 1, 64p. 2011.
- ANA, Agência Nacional de Águas. 2013. Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos. Brasília: ANA, 2013.
- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). 2016. Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016 / Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2016. 95 p.
- BABIC, Z.; PLAZIBAT, N. 1998. Ranking of enterprises based on multi-criteria analysis. International Journal of Production Economics. 56–57 (1–3). p. 29–35.
- BOYKO C. T.; GATERELL, M. R.; BARBER, A. R. G.; BROWN, J.; BRYSON, R. J.; BUTLER, D.; CAPUTO, S.; CASERIO, M.; COLES, R.; COOPER, R.; DAVIES, G.; FARMANI, R.; HALE, J.; HALE, A. C.; HEWITT, C. N.; HUNT, D. V. L.; JANKOVIC, L.; JEFFERSON, I.; LEACH, J. M.; LOMBARDI, D. R.; MACKENZIE, A. R.; MEMON, F. A.; PUGH, T. A. M.; SADLER, J. P.; WEINGAERTNER, C.; WHYATT, J. D.; ROGERS, C. D. F. 2012. Benchmarking sustainability in cities: The role of indicators and future scenarios. Global Environmental Change. v. 22, p. 245-254.
- BRASIL. Decreto Lei nº 524 de 8 de abril de 1969. Autoriza o Prefeito do Distrito Federal a constituir a Companhia de Água e Esgotos de Brasília. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 8 Abr. 1969. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/1965-1988/De10524.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/De10524.htm)>. Acesso em Julho de 2017.
- BRASIL. Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 8 Jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em Julho de 2017.
- BRITO, F. B. 2013. Conflito pelo acesso e uso da água: integração do rio São Francisco com a Paraíba (Eixo Leste). Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 370 p.

- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2011a. Dados das estações de tratamento de água. Disponível em: <<https://www.caesb.df.gov.br/images/unidades/eta.pdf>>. Acesso em Março de 2017.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2011b. Avaliação multicritério das bacias hidrográficas dos mananciais da CAESB: Produto 2- Qualificação. Diretoria de Engenharia e Meio Ambiente, Superintendência de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e Gerência de Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas. Governo do Distrito Federal, Brasília, DF. 81 p.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2014. Siagua: Sinopse do sistema de abastecimento de água do Distrito Federal. Diretoria de Operação e Manutenção, Assessoria de Planejamento, Programação e Controle e Coordenadoria de Planejamento e Controle Operacional de Sistemas. Governo do Distrito Federal, Brasília, DF. 147 p.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2015. Relatório da Administração 2015. Disponível em: <[https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos\\_pdf/RelatoriodaAdministracao\\_2015.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos_pdf/RelatoriodaAdministracao_2015.pdf)>. Acesso em Novembro de 2016.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2016. Relatório anual da administração. Disponível em: <[https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos\\_pdf/RelatoriodaAdministracao\\_2016.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos_pdf/RelatoriodaAdministracao_2016.pdf)>. Acesso em Julho de 2017.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2017. Plano de rodízio do fornecimento de água e os resultados alcançados. Disponível em: <[http://www.mpdft.mp.br/portal/pdf/eventos/crisehidrica/Apresentacao\\_crise\\_hidrica\\_Caesb\\_14-3-2017\\_MPDFT.pdf](http://www.mpdft.mp.br/portal/pdf/eventos/crisehidrica/Apresentacao_crise_hidrica_Caesb_14-3-2017_MPDFT.pdf)>. Acesso em Outubro de 2017.
- CAMPOS, V. R. 2011. Modelo de apoio à decisão multicritério para a priorização de projetos em saneamento. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, SP. 175p.
- CASTANHEIRA, D. 2016. Enquadramento dos corpos hídricos subterrâneos do Distrito Federal: parâmetros hidrogeoquímicos e ambientais. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília-DF. 94 p.
- CORNELIS, J.; LEEWEN, V.; FRIJNS, J.; WEZEL, A. V.; VEN, F. H. M. V. 2012. City Blueprints: 24 Indicators to Assess the Sustainability of the Urban Water Cycle. *Water Resour Manage.* v. 26, p. 2177-2197.
- DISTRITO FEDERAL. Lei nº 2725 de 13 de junho de 2001. Institui a Política de Recursos Hídricos e cria o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 19 Jun. 2001. Disponível em: <[http://www.recursoshidricos.df.gov.br/cbh\\_paranoa/legislacao/Lei\\_DF\\_2725\\_2001.pdf](http://www.recursoshidricos.df.gov.br/cbh_paranoa/legislacao/Lei_DF_2725_2001.pdf)>. Acesso em Julho de 2017.
- DISTRITO FEDERAL. Lei nº 3365 de 16 de junho de 2004. Cria a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal - ADASA/DF e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 16 Jun. 2004. Disponível em: <[http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/concessionario/lei\\_n\\_3.365\\_2004.pdf](http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/concessionario/lei_n_3.365_2004.pdf)>. Acesso em Julho de 2017.
- DISTRITO FEDERAL. Lei nº 3559 de 18 de janeiro de 2005. Altera a Lei nº 2.416, de 6 de julho de 1999, que dispõe sobre a mudança de denominação da Companhia de Água e Esgoto de Brasília – CAESB. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 18 Jan. 2005. Disponível em: <[http://www.tc.df.gov.br/SINJ/Norma/51492/Lei\\_3559\\_18\\_01\\_2005.html](http://www.tc.df.gov.br/SINJ/Norma/51492/Lei_3559_18_01_2005.html)>. Acesso em Julho de 2017.
- DISTRITO FEDERAL. Lei nº 4285 de 26 de dezembro de 2008. Reestrutura a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – ADASA/DF, dispõe sobre recursos hídricos e serviços públicos no Distrito Federal e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 29 Dez. 2008. Disponível em:

- <[http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/Legislacao/LeiDF\\_n\\_4285-2008.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/Legislacao/LeiDF_n_4285-2008.pdf)>. Acesso em Julho de 2017.
- DÖLL, P., JIMÉNEZ-CISNEROS, B. E., OKI, T., ARNELL, N. W., BENITO, G., COGLEY, J. G., JIANG, T., KUNDZEWICZ, Z. W., MWAKALILA S.; NISHIJIMA, A. 2014. Integrating Risks of Climate Change into Water Management. *Hydrological Sciences Journal*. v. 60, p. 4-13.
- DUNNING, D. J.; ROSS, Q. E.; MERKHOFFER, M. W. 2000. Multiattribute utility analysis; best technology available; adverse environmental impact; Clean Water Act; Section 316(b). *Environ Sci Policy*. v. 3, p. 7-14.
- FALKENMARK, M. 1989. The massive water scarcity now threatening Africa - Why isn't it being addressed? *Ambio*, Estocolmo, v.18, n.2, p.112-118.
- GOEPEL, K. D. 2017. BPMSG's AHP Online System: Rational Decision Making Made Easy. Disponível em: < <https://bpmsg.com/academic/documents/BPMSG-AHP-OS-2017-05-25.pdf>>. Acesso em outubro de 2017.
- GONÇALVES, T. D.; ROIG, H. L.; CAMPOS, J. E. G. 2009. Sistema de informação geográfica como ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 39, n. 1, p. 169-180.
- GREEN, P. A.; VÖRÖSMARTY, C. J.; HARRISON, I.; FARRELL, T.; SÁENZ, L.; FEKETE, B. M. 2015. Freshwater ecosystem services supporting humans: pivoting from water crises to water solutions. *Global Environmental Change*. v. 34, p. 108-118.
- GRÊT-REGAMEYA, A.; ALTWEGGB, J.; SIRÉNA, E. A.; VAN STRIENA, M.J.; WEIBELA, B. 2016. Integrating ecosystem services into spatial planning—A spatial decision support tool. *Landscape and Urban Planning*. v. 165, p. 206-219.
- HAASE, D.; LARONDELLE, N.; ANDERSSON, E.; ARTMANN, M.; BORGSTRÖM, S.; BREUSTE, J.; GOMEZ-BAGGETHUN, E.; GREN, A.; HAMSTEAD, Z.; HANSEN, R.; KABISCH, N.; KREMER, P.; LANGEMEYER, J.; L. RALL, E.; MCPHEARSON, T.; PAULEIT, S.; QURESHI, S.; SCHWARZ, N.; VOIGT, A.; WURSTER, D.; ELMQVIST, T. 2014. A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. *AMBIO*. v. 43, p. 413-433.
- HAIKOWICZ, S.; COLLINS, K. 2007. A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. *Water Resour Manage*. v. 21, p. 1553-1566.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Censo Demográfico 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/pt/>>. Acesso em Setembro de 2014.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. IBGE Cidades: Distrito Federal. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/panorama>>. Acesso em Outubro de 2017.
- IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2013. Atlas do desenvolvimento humano no Brasil 2013. PNUD, IPEA, FJP, Brasília. 96 p.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Field. C. B., V. R. BARROS, D. J. DOKKEN, K. J. MACH, M. D. MASTRANDREA, T. E. BILIR, M. CHATTERJEE, K.L. EBI, Y. O. ESTRADA, R. C. GENOVA, B. GIRMA, E. S. KISSEL, A. N. LEVY, S. MACCRACKEN, P. R. MASTRANDREA, AND L. L. WHITE (eds). Cambridge/New York, UK/USA, Cambridge University Press, 1132 p.
- JIA, X.; LI, C.; CAI, Y.; WANG, X. SUN, L. 2015. An improved method for integrated water security assessment in the Yellow River basin, China. *Stoch Environ Res Risk Assess*. v. 29, p. 2213-2227.
- JUNIOR, P. dos S. P.; REYDON, B. P.; PORTUGAL, N. dos S. 2015. As águas minerais no Brasil: uma análise do mercado e da institucionalidade para uma gestão integrada e sustentável. *Rev. Ambient. Água [online]*. v.10, n.2, p.413-430.

- KOSCHKE, L.; LORZ, C.; FÜRST, C.; LEHMANN, T.; MAKESCHIN, F. 2014. Assessing hydrological and provisioning ecosystem services in a case study in Western Central Brazil. *Ecological Processes*. v. 3, n. 2, 15p.
- LANGEMEYER, J.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; HAASE, D.; SCHEUER, S.; ELMQVIST, T. 2016. Bridging the gap between ecosystem service assessments and land-use planning through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). *Environmental Science & Policy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.02.013>.
- LAWRENCE, D; LOPES, V. L. 2016. Reliability analysis of urban rainwater harvesting for three Texas cities. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v.10, n.1, p.124-134.
- LIU, K.K.; LI, C. H.; CAI, Y. P.; XU, M.; XIA, X. H. 2014. Comprehensive evaluation of water resources security in the Yellow River basin based on a fuzzy multi-attribute decision analysis approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* v. 18, p. 1605-1623.
- MAHASE, M.J.; MUSINGWINI, C.; NHLEKO, A.S. 2016. A survey of applications of multi-criteria decision analysis methods in mine planning and related case studies. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.* [online]. 2016, v.116, n.11, p.1051-1056.
- MEKONNEN, M. M., HOEKSTRA, A. Y. 2011. *National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption*. Delft, The Netherlands, UNESCO-IHE Institute for Water Education. 50 p.
- MELO, M. C. 2016. *Segurança hídrica para abastecimento urbano: proposta de modelo analítico e aplicação na bacia do rio das velhas, Minas Gerais*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 495p.
- OECD, Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. 2006. *Applying Strategic Environmental Assessment - good practice guidance for development cooperation*, OECD.
- OECD, Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. 2012. *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. Paris, OECD Publishing.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2016a. *The united nations world water development report 2016: water and jobs*. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002439/243938e.pdf>>. Acesso em Setembro 2017.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2016b. *The world's cities in 2016*. Disponível em: <[http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the\\_world\\_s\\_cities\\_in\\_2016\\_data\\_booklet.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_world_s_cities_in_2016_data_booklet.pdf)>. Acesso em Setembro 2017.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2017. *The united nations world water development report 2017: wastewater the untapped resource*. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002471/247153e.pdf>>. Acesso em Setembro 2017.
- ORTEGA, D. J. P.; PÉREZ, D. A.; AMÉRICO, J. H. P.; CARVALHO S. L.; SEGOVIA, J. A. 2016. Development of index of resilience for surfacewater in watersheds. *Journal of Urban and Environmental Engineering*. v.10, n.1, p.72-82.
- PAVIANI, A.; BRANDÃO, A. 2015. *Consumo de água em Brasília: crise e oportunidade*. Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, Texto para Discussão, n. 8, 28p., 2015.
- PAZ TENORIO, J. A.; GONZALEZ HERRERA, R.; GOMEZ RAMIREZ, M.; VELASCO HERRERA, J. A. 2017. Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Invest. Geog [online]*. 2017, n.92. ISSN 2448-7279.
- POLPRASERT, C.; PUSSAYANAVIN, T.; KOTTATEP, T. 2015. *Urban Development and Water Sustainability*. Disponível em: <[http://collections.unu.edu/eserv/UNU:2850/WUI\\_WP1.pdf](http://collections.unu.edu/eserv/UNU:2850/WUI_WP1.pdf)>. Acesso em Setembro 2017.
- REATTO, A.; MARTINS, E. S.; FARIAS, M. F. R.; CARVALHO JR., O. A. 2004. *Mapa pedológico digital - SIG atualizado do Distrito Federal escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo*. Planaltina: Embrapa Cerrados. 63p.
- RÉQUIA, W. J.; ROIG, H. L.; KOUTRAKIS, P.; ROSSI, M. S. 2016. Mapping alternatives for public policy decision making related to human exposures from air pollution sources in the Federal District, Brazil. *Land Use Policy*. v. 59, p. 375-385.



- ROCHA, G. C. da; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V.; LINO, J. S. 2013. Aspectos físicos e sociais da geografia da disponibilidade hídrica municipal no Brasil. *Irriga, Botucatu*, v. 18, n. 3, p. 402-414.
- RODRÍGUEZ, N.; ARMENTERAS, D.; RENATA, J. 2015. National ecosystem services priorities for planning carbon and water resource management in Colombia. *Land use Policy*. v. 42, p. 609-618.
- ROMERO, C.; REHMAN, T. 1987. Natural resource management and the use of multiple criteria decision making techniques: a review. *Eur Rev Agric Econ*. v. 14, n. 1, p. 61-89.
- SAATY, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process and Health Care Problems*. New York: McGraw-Hill.
- SANTOS, B. B. M. 2016. Segurança hídrica da região metropolitana do Rio de Janeiro: contribuições para o debate. *Ambiente & Sociedade*. v. 19, p. 103-120.
- SANTOS JÚNIOR, J. A.; BARROS JÚNIOR, G.; SANTOS, J. K. L.; BRITO, E. T. F. S. 2013. Uso racional da água: ações interdisciplinares em escola rural do semiárido brasileiro. *Ambi-Agua, Taubaté*, v. 8, n. 1, p. 263-271.
- SEMA, SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DO DISTRITO FEDERAL. 2017. Relatório Síntese das Plenárias do Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal sobre a Crise Hídrica no DF. Disponível em: <[http://www.mpdf.mp.br/portal/pdf/eventos/crisehidrica/Relatorio\\_Sintese\\_Crise\\_Hidrica\\_CRH.pdf](http://www.mpdf.mp.br/portal/pdf/eventos/crisehidrica/Relatorio_Sintese_Crise_Hidrica_CRH.pdf)>. Acesso em Setembro 2017.
- SCHEWE, J., HEINKE, J., GERTEN, D., HADDELAND, I., ARNELL, N. W., CLARKE, D. B., DANKERS, R., EISNER, S., FEKETE, B. M., COLÓN- GONZÁLEZ, F. J., GOSLING, S. N., KIM, H., LIU, X., MASAKI, Y., PORTMANN, F. T., SATOH, Y., STACKE, T., TANG, Q., WADA, Y., WISSER, D., ALBRECHT, T., FRIELER, K., PIONTEK, F., WARSZAWSKIA, L. AND KABATT, P. 2014. Multi-model Assessment of Water Scarcity under Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. v. 111, n. 9, p. 3245-3250.
- SCS, Soil Conservation Service. 1972. *Hydrology*. National Engineering Handbook: Section 4.
- SHAO, D.; YANG, F.; XIAO, C.; TAN, X. 2012. Evaluation of water security: an integrated approach applied in Wuhan urban agglomeration, China. *Water Science and Technology*. v. 66, n. 1, p. 79-87.
- TARGA, M. dos S.; BATISTA, G. T. 2015. Benefits and legacy of the water crisis in Brazil. *Rev. Ambient. Água*. v. 10, n. 2, p. 234-239.
- TUCCI, C.E.M. 1998. *Modelos Hidrológicos*. Porto alegre – RS. Ed. Universidade UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 652p.
- ULIAN, G.; CARTES, I.; LIMA, M. M. C. L. 2017. Water management assessment methodology for urban planning. *Rev. Ambient. Água*. v. 12, n. 1, p. 33-46.
- UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2009. *Integrated Water Resources Management in Action*. In: *The United Nations World Water Assessment Programme*. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001818/181891E.pdf>>. Acesso em Setembro 2017.
- UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2012. *Managing Water under Uncertainty and Risk*. UNESCO, Parte 2. wwdr4, 2012. p. 230-370.
- UNICEF, United Nations Children’s Fund; WHO, World Health Organization. 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water: 2015 Update and MDG Assessment*. New York/Geneva, UNICEF/WHO. Disponível em: <[http://www.wssinfo.org/fileadmin/user\\_upload/resources/JMP-Update-report-2015\\_English.pdf](http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMP-Update-report-2015_English.pdf)>. Acesso em Setembro de 2016.
- VEOLIA WATER. 2011. The water impact index in the first carbon-water analysis of a major metropolitan water cycle. Disponível em: <<http://www.veoliawatertechnologies.ca/vwst/ressources/files/1/2033,Water-Impact-Index-White-Paper.pdf>>. Acesso em Junho de 2017.
- VOLLMER, D.; REGAN, H. M.; ANDELMAN, S. J. 2016. Assessing the sustainability of freshwater systems: A critical review of composite indicators. *Ambio*. v. 45, p. 765-780.

- VOROSMARTY, C.J., MCINTYRE, P.B., GESSNER, M.O., DUDGEON, D., PRUSEVICH, A., GREEN, P., GLIDDEN, S., BUNN, S.E., SULLIVAN, C.A., LIERMANN, C.R., DAVIES, P.M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*. v. 467, p. 555-561.
- WANG, J.; HOU B.; JIANG, D.; XIAO, W.; WU, Y.; ZHAO, Y.; ZHOU, Y.; GUO, C.; WANG, G. 2016. Optimal Allocation of Water Resources Based on Water Supply Security. *Water*, v. 8, n. 237, p. 0-20.
- WEF, World Economic Forum. 2016. The Global Risks Report 2016. Disponível em: <[http://www3.weforum.org/docs/GRR/WEF\\_GRR16.pdf](http://www3.weforum.org/docs/GRR/WEF_GRR16.pdf)>. Acesso em Setembro 2017.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture handbook*. Washington, DC: USDA, n. 537, 59p.
- 2030 WRG, 2030 World Resources Group. 2009. Charting our Water Future: Economic Frameworks to Inform Decision making. 2030 WRG.

## **5. ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA CRIAÇÃO DE ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA URBANA BASEADO EM MORFOLOGIA URBANA, INDICADORES DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E DA SITUAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

### **5.1 INTRODUÇÃO**

O cenário mundial apresenta muitas incertezas em relação aos recursos hídricos. A escassez de água já é uma realidade em diversas partes do mundo, cerca de um quinto da população mundial vive em áreas com real escassez deste recurso, enquanto um quarto dessa população vivencia problemas com a falta d'água (OCHA, 2010; Xiao-Jun *et al.*, 2014). Projeções (OCHA, 2010) apontam que em 2025 aproximadamente dois terços da população mundial estará sobre condições de estresse hídrico, com absoluta falta deste recurso (Xiao-Jun *et al.*, 2014).

O Brasil apesar de esbanjar grande disponibilidade hídrica, possui um padrão de distribuição heterogêneo, onde as áreas com maior abundância em água possuem baixa concentração populacional e outras regiões vivenciam longos períodos de estiagem (ANA, 2013a). A região nordeste é reconhecida pelas intensas secas no sertão e nas últimas décadas a região sudeste têm vivenciado situações críticas em relação à disponibilidade hídrica. Atualmente o Distrito Federal sofre a pior crise hídrica de sua história, com a limitação de todos os seus recursos de água disponíveis para a população (Distrito Federal, 2017a).

O crescimento populacional atrelado às modificações demográficas e consequentemente as mudanças nos padrões de consumo dos recursos hídricos, assim como as mudanças climáticas motivaram a se pensar em maneiras mais eficientes e sustentáveis para resguardar a água. Nos últimos anos vem se destacando o termo “*water security*” como referência para os estudos de gestão dos recursos hídricos mundialmente.

Assim, vários trabalhos vêm sendo realizados com essa abordagem em diferentes disciplinas como ciências sociais, naturais e médicas, sendo que essas publicações passaram a ser mais expressivas nessa última década (Bakker, 2012). Por se tratar de um conceito ainda recente, diferentes definições têm sido dadas por diversas entidades (WaterAid, 2012; OCDE, 2013; ONU, 2013, UNESCO, 2013) e pesquisas (Dinar, 2002; Lundqvist *et al.*, 2003; Ratnaweera *et al.*, 2006; Allouche, 2011; Melo, 2016), no entanto, de uma forma geral estes são bastante similares e convergem para a

mesma ideia central. De acordo com a ONU (2013) em uma visão ampla, Segurança Hídrica é:

*"a capacidade de uma população para (de) salvaguardar o acesso sustentável à quantidades adequadas de água com qualidade aceitável para sustentar modos de vida, bem-estar, desenvolvimento socioeconômico, para (de modo a) garantir a proteção contra a poluição e os desastres relacionados a água, conservação e manutenção dos ecossistemas em um estado de estabilidade política".*

No Brasil, embora ainda não haja um plano de segurança hídrica consolidado, o tema é entendido como a condição que visa garantir quantidade e qualidade aceitável de água para abastecimento, alimentação, preservação de ecossistemas e demais usos, associados à um nível aceitável de riscos relacionados com a água para as pessoas, as economias e o meio ambiente (ANA, 2013b).

O conceito adotado pela gestão governamental brasileira é bastante similar ao proposto pela ONU, diferindo apenas no fato do Brasil adotar a designação de risco em seu conceito, diferentemente da ONU que não o faz.

A Segurança Hídrica é fundamental para assegurar o acesso a alimentação e energia, bem como para o desenvolvimento social e econômico (Axworth e Sandford, 2012; Melo, 2016). Assim, visa priorizar o uso da água em nível individual e comunitário para minimizar tensões e conflitos e aumentar o desenvolvimento econômico e social em um nível mais geral (Grey & Sadoff, 2007; ONU, 2013).

Dessa maneira, uma avaliação abrangente sobre Segurança Hídrica incorpora uma gama (intervalo) de conceitos relacionados à água, desde questões de política hídrica relacionada a aspectos e técnicas específicas das condições hidrológicas e suas interações com as necessidades sociais ao funcionamento dos ecossistemas (Rodrigues *et al.*, 2014).

O desafio de atingir a segurança hídrica envolve uma escala de complexidade tal, que deve haver a integração da oferta e demanda, orientadas por medidas através de melhores governança e gestão, mudança cultural e reformas institucionais. Pois, segurança hídrica não significa apenas água em quantidade suficiente, mas também o real reconhecimento do valor da água, a defesa de sua manutenção e a gestão integrada deste bem (GWS, 2010; Grey & Sadoff, 2007; Norman *et al.*, 2010).

Para se alcançar uma gestão que incorpore todos os aspectos propostos por esse conceito é importante utilizar-se de definições propostas pela Gestão Integrada, além de associá-los aos aspectos inovadores propostos pela Segurança Hídrica, quais sejam, um enfoque conceitual sobre vulnerabilidade, risco e resiliência, ênfase nas ameaças, choques

e pontos de ruptura e uma ênfase relacionada à gestão adaptativa dada à previsibilidade limitada (WHO, 2005; Vörösmarty *et al.*, 2010; Hering & Ingold, 2012; Bakker, 2012). Dessa forma, entende-se que a Gestão Integrada possui maior ênfase no processo e a Segurança Hídrica nos resultados (Melo, 2016).

Dentre as técnicas, práticas e tecnologias que devem ser utilizadas com o objetivo de se atingir a segurança hídrica, estão o gerenciamento da quantidade e qualidade de água, o armazenamento de águas superficiais, uso sustentável de água subterrânea, melhor abastecimento e distribuição da água. Além disso, o desenvolvimento de tecnologias para utilização de novas fontes de água (como dessalinização e reuso de água) visando seu uso de forma eficiente. Ademais, somado a isso, a redução no consumo através da disponibilização de informações aos usuários e gestão integrada dos recursos hídricos, com comunicação entre as pesquisas acadêmicas, decisões políticas e a participação da comunidade (GWS, 2010; Norman *et al.*, 2010, NDWAC, 2005).

Há importantes incertezas sobre o estado dos recursos hídricos mundiais, bem como a dinâmica e interconexões de ciclos de água, nutrientes e materiais (Bogardi *et al.*, 2012). Para que possa ser colocado em prática um procedimento de gestão que vise à Segurança Hídrica é necessário conhecer a situação dos recursos hídricos e, sobretudo, identificar as regiões de maior prioridade e avaliar impactos dos padrões de uso e ocupação da Terra sobre estes recursos. Dessa forma, já existem trabalhos (Brown *et al.*, 2008; Ma *et al.*, 2010; Cook & Bakker, 2012; Lautze & Mathrithilake, 2012) que buscam criar índices ou mesmo identificar indicadores que representam a situação das águas.

Embora muitas pesquisas tenham sido elaboradas em nível continental, nacional e regional, poucos estudos retratam a situação específica de determinada região, seja ao nível da bacia hidrográfica ou da área urbana (Shao *et al.*, 2012; Xiao-Jun *et al.*, 2012; Dong & Liu 2014; Liu *et al.*, 2014; Jia *et al.*, 2015). De acordo com Melo (2016), a construção de um sistema de avaliação de Segurança Hídrica Urbana deve ser um reflexo das conotações e características da Segurança Hídrica em um nível mais amplo, com alta integração de informações, alta sensibilidade de reação e aquisição de dados simples e confiáveis.

De acordo com o apresentado acima, esse trabalho tem como objetivo elaborar um Índice de Segurança Hídrica Urbana (ISHUrb) especializado, baseado em serviços ecossistêmicos urbanos (entendidos como os serviços responsáveis por manter o ciclo hidrológico em funcionamento), na situação do abastecimento de água e nas

características de saneamento básico da área (entendidas aqui como características socioambientais) por meio de um método de análise de decisão multicritério.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O fluxograma da figura 5.1 apresenta o esquema de desenvolvimento do Índice de Segurança Hídrica Urbana (ISHUrb). Seguindo a lógica estrutural da tese (Figura 1.1 - Capítulo 1) para se chegar ao ISHUrb o trabalho se dividiu em três eixos principais: serviços ecossistêmicos; situação do abastecimento de água; e socioambiental (características relacionadas às questões de saneamento básico).

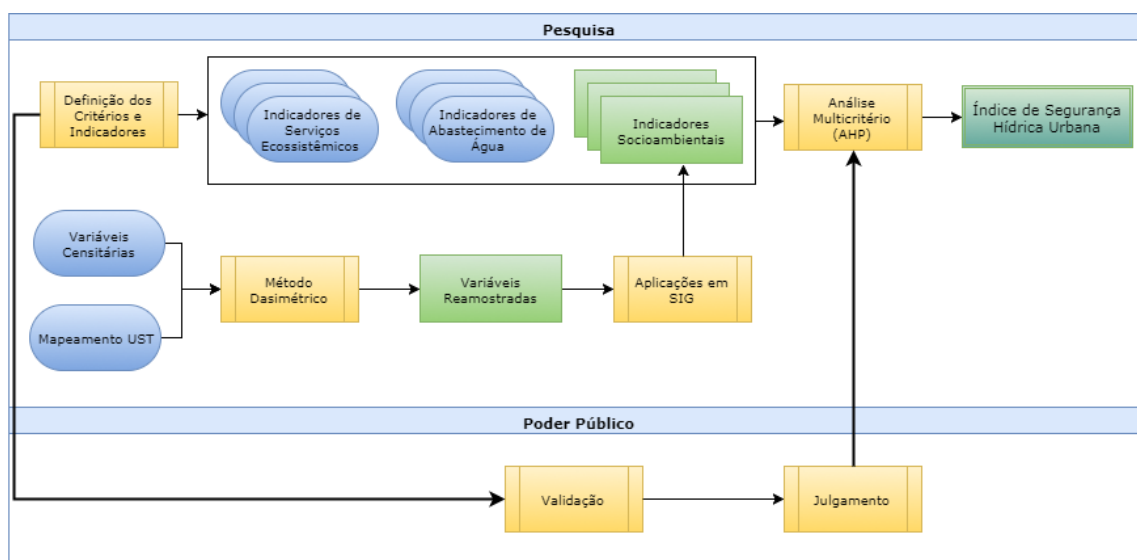


Figura 5.1: Fluxograma metodológico para a geração do Índice de Segurança Hídrica do DF.

Antes de se definir as premissas necessárias para o desenvolvimento desse índice um passo essencial foi à compreensão acerca do tema abordado, para tanto foi necessária uma extensa análise da literatura mundial e a visão dos gestores do DF. Essa análise foi crucial para a escolha do conceito utilizado e por tanto para todo o processo posterior. Dessa maneira, optou-se pela utilização do conceito utilizado pela ONU (2013).

A escolha desse conceito foi pautada na abrangência do tema, pelo fato da ONU ser referência mundial, pelo conceito possuir uma visão ampla que aborda tanto as questões sociais quanto ambientais e partindo da premissa que para uma análise mais eficiente deve-se partir de uma visão simples e clara. Como mencionado anteriormente a principal diferença entre o conceito utilizado aqui e os demais está na questão de associar

uma análise de risco ao conceito, o que o torna mais complexo e, por conseguinte mais difícil de ser implementado e avaliado.

Depois de uma análise do conceito percebeu-se claramente que este permitia uma análise por meio de três eixos principais, que são: abastecimento de água; os ecossistemas; e características socioambientais. A partir de então, foi possível propor uma forma de avaliar a questão da Segurança Hídrica. Partindo do conceito e desses eixos de análise definiu-se as esferas mais importantes para serem analisadas. Dessa forma, dividiu-se o índice dentro de seis níveis principais (Quadro 5.1). E posteriormente elencaram-se os indicadores dentro de cada um desses critérios (Quadro 5.1).

Quadro 5.1: Critério e indicadores para compor o índice de segurança hídrica urbana.

Critério		Indicadores	Descrição	Fonte
Viabilidade	Está associado à possibilidade do sistema continuar em operação, caso o sistema principal seja saturado	<b>Alternativas para o abastecimento</b>	Possibilidade de interligação do sistema em que a captação se insere a outros, permitindo, assim, que haja outras possibilidades de captação e tratamento, no caso de interrupção da captação em análise	CAESB, 2011
		Socioambiental	Está relacionado ao bem estar social e indiretamente ao crescimento econômico por meio de fatores correlacionados com o acesso aos serviços básicos oriundos da água	<b>Acesso ao abastecimento</b>
<b>Acesso ao esgotamento</b>	Percentual da população que possui acesso ao esgotamento. Relação entre a população com acesso ao esgotamento e a população total			IBGE, 2010; IPT, 2008; TEEB, 2008; Haase <i>et al.</i> , 2014;
<b>Acesso à coleta de lixo</b>	Percentual da população que possui acesso à coleta de lixo. Relação entre a população com acesso a coleta de lixo e a população total			IBGE, 2010; IPT, 2008
<b>Existe esgoto a céu aberto</b>	Percentual da população exposta ao esgoto a céu aberto. Relação entre os domicílios com esgoto à céu aberto e o total de domicílios			IBGE, 2010; IPT, 2008; TEEB, 2008; Haase <i>et al.</i> , 2014
<b>Existe lixo acumulado</b>	Percentual da população que possui exposta ao lixo acumulado. Relação entre os domicílios com lixo acumulado e o total de domicílios			IBGE, 2010; IPT, 2008
Ecossistemas	Diz respeito à prestação e impacto dos serviços ecossistêmicos hídricos e se o sistema possui capacidade de manutenção do ciclo hidrológico	<b>Qualidade ambiental das fontes (mananciais/fontes)</b>	Índice composto pelos serviços ecossistêmicos hídricos de potencial à erosão, escoamento superficial e potencial de recarga do aquífero	SCS, 1972, Wischmeier & Smith, 1978; Gonçalves <i>et al.</i> , 2009; CAESB, 2011
		<b>Potencial a erosão</b>	Estimativa da perda de solo por erosão hídrica	Haase <i>et al.</i> , 2014; Koschke <i>et al.</i> , 2014
		<b>Risco ao alagamento</b>	Identificação das áreas com maior potencial de risco à ocorrência de inundações	Eigenbrod <i>et al.</i> , 2011; Rodriguez <i>et al.</i> , 2015;
		<b>Escoamento Superficial</b>	Taxa de escoamento superficial	Dobs <i>et al.</i> , 2014; Koschke <i>et al.</i> , 2014; Derkzen <i>et al.</i> , 2015; Jia <i>et al.</i> , 2015;
		<b>Recarga do Aquífero</b>	Taxa de recarga de água para o aquífero subterrâneo	Gonçaves <i>et al.</i> , 2009; Grêt-Regamey <i>et al.</i> , 2016



		<b>Índice de Área verde</b>	Quantidade de área verde presente na área urbana. Relação entre a área verde e a área total	Haase <i>et al.</i> , 2012; Larondelle & Haase 2013; Dobs <i>et al.</i> , 2014; Haase <i>et al.</i> , 2014; Derkzen <i>et al.</i> , 2015; Rodriguez <i>et al.</i> , 2015; Grêt-Regamey <i>et al.</i> , 2016; Kain <i>et al.</i> , 2016
<b>Oferta</b>	Expõe uma relação de demanda, verifica a quantidade de água disponível para ser ofertada e os principais fontes de pressão	<b>Disponibilidade de água</b>	Quantidade de água disponível por pessoa. Relação entre a vazão média captada e a população	Falkenmark, 1989; Voromasty <i>et al.</i> , 2010; Shao <i>et al.</i> , 2012; Liu <i>et al.</i> , 2014; Xiao-Jun <i>et al.</i> , 2014; Jia <i>et al.</i> , 2015.
		<b>Demanda de água</b>	Relação entre o recursos total disponível para o consumo urbano e o total efetivamente consumido. Razão entre o consumo e a vazão média captada	Haase <i>et al.</i> , 2014; Liu <i>et al.</i> , 2014; Xiao-Jun <i>et al.</i> , 2014; Green <i>et al.</i> , 2015; Jia <i>et al.</i> , 2015; Rodriguez <i>et al.</i> , 2015; Grêt-Regamey <i>et al.</i> , 2016
		<b>Capacidade de abastecimento das fontes</b>	Disponibilidade de água existente considerando a totalidade do recurso disponível e o uso para a área urbana	CAESB, 2011; Liu <i>et al.</i> , 2014; Xiao-Jun <i>et al.</i> , 2014.
<b>Quantidade</b>	Aborda se possui água suficiente para garantir o acesso sustentável de modos de vida, bem estar, desenvolvimento econômico e para os ecossistemas	<b>Potencial de disponibilidade hídrica subterrânea</b>	Potencial de água disponível para o aquífero subterrâneo	Gonçaves <i>et al.</i> , 2009; Jia <i>et al.</i> , 2015; Grêt-Regamey <i>et al.</i> , 2016;
		<b>Índice de produção de água</b>	Quantidade de água disponível por área. Relação entre a vazão média captada e a área	Shao <i>et al.</i> , 2012; Liu <i>et al.</i> , 2014; Jia <i>et al.</i> , 2015
		<b>Coefficiente de precipitação</b>	Taxa de precipitação. Relação entre o volume de chuvas dos cinco anos anteriores e o volume precipitado no ano analisado	Shao <i>et al.</i> , 2012; Jia <i>et al.</i> , 2015
<b>Qualidade</b>	Refere-se ao acesso a água com qualidade para garantir o acesso sustentável de modos de vida, bem estar e desenvolvimento e para os ecossistemas	<b>Qualidade da água para o abastecimento (mananciais/fonte)</b>	Qualidade da água bruta visando o seu uso para o abastecimento público	CAESB, 2011; Boyko <i>et al.</i> , 2012; Shao <i>et al.</i> , 2012; Koschke <i>et al.</i> , 2014.
		<b>Qualidade da água subterrânea (área urbana)</b>	Qualidade da água bruta com foco para a qualidade, saúde e higiene ambiental e da população	
		<b>Qualidade da água superficial (área urbana)</b>		

Assim, para o desenvolvimento efetivo do índice, inicialmente definiu-se a área de aplicação do estudo, a área urbana. A partir de então foi definido a unidade de análise para avaliar o índice e indicadores, posteriormente. A abordagem escolhida para esta etapa do trabalho foi o mapeamento dos tipos de estruturas urbanas (UST), que subdivide a área urbana considerando sua funcionalidade, características físicas e tipo de cobertura, descrita no capítulo dois.

Posteriormente, considerando que os serviços ecossistêmicos hídricos desenvolvem um papel de manutenção do ciclo hidrológico, e dessa forma são essenciais para quantificar as questões relacionadas aos ecossistemas, selecionaram-se indicadores que apontam o potencial de prestação dos serviços ecossistêmicos hídricos urbanos, baseado na literatura mundial e na possibilidade de reprodução dos mesmos em face aos dados disponíveis (Capítulo 3).

Com as informações a cerca das variáveis que possibilitam a continuidade do ciclo da água, o próximo passo foi compreender e avaliar indicadores que demonstrem as condições do fornecimento e disponibilidade hídrica para a área urbana. Para tanto, elegeu-se indicadores capazes de expressar a situação do sistema de abastecimento urbano do DF (Capítulo 4).

Além dos indicadores gerados para essas duas temáticas, foram desenvolvidos também indicadores socioambientais, uma vez que estes indicadores impactam diretamente na quantidade e qualidade dos ecossistemas. Para gerar estes indicadores com relação direta ou indireta com as questões hídricas foram utilizados os dados do último censo (IBGE, 2010). O quadro 5.1 apresenta os indicadores selecionados, definições e referências.

Como a unidade de agregação do censo não possui nenhum critério claro de análise (Langford & Unwin, 1994; França *et al.*, 2014), além de englobar áreas que não são efetivamente ocupadas, optou-se por utilizar o método dessimétrico, que nada mais é que uma análise de desagregação zonal dos dados censitários, para obter uma melhor distribuição espacial das variáveis em análise (Apêndice B). A partir dos dados reamostrados foram então gerados os indicadores.

Para se chegar ao ISHURb foram então utilizados os indicadores para os três eixos (abastecimento, serviços ecossistêmicos e socioambiental), dispostos de acordo com critérios próprios para refletir o objetivo da segurança hídrica urbana. A figura 5.2 apresenta a hierarquia adotada para o índice de segurança hídrica urbana e os índices secundários (Índice da Situação do Abastecimento de Água Urbano e Índice do Potencial

de Prestação dos Serviços Ecosistêmicos Urbanos) que foram gerados a partir do rearranjo dos indicadores utilizados (Capítulos 3 e 4).

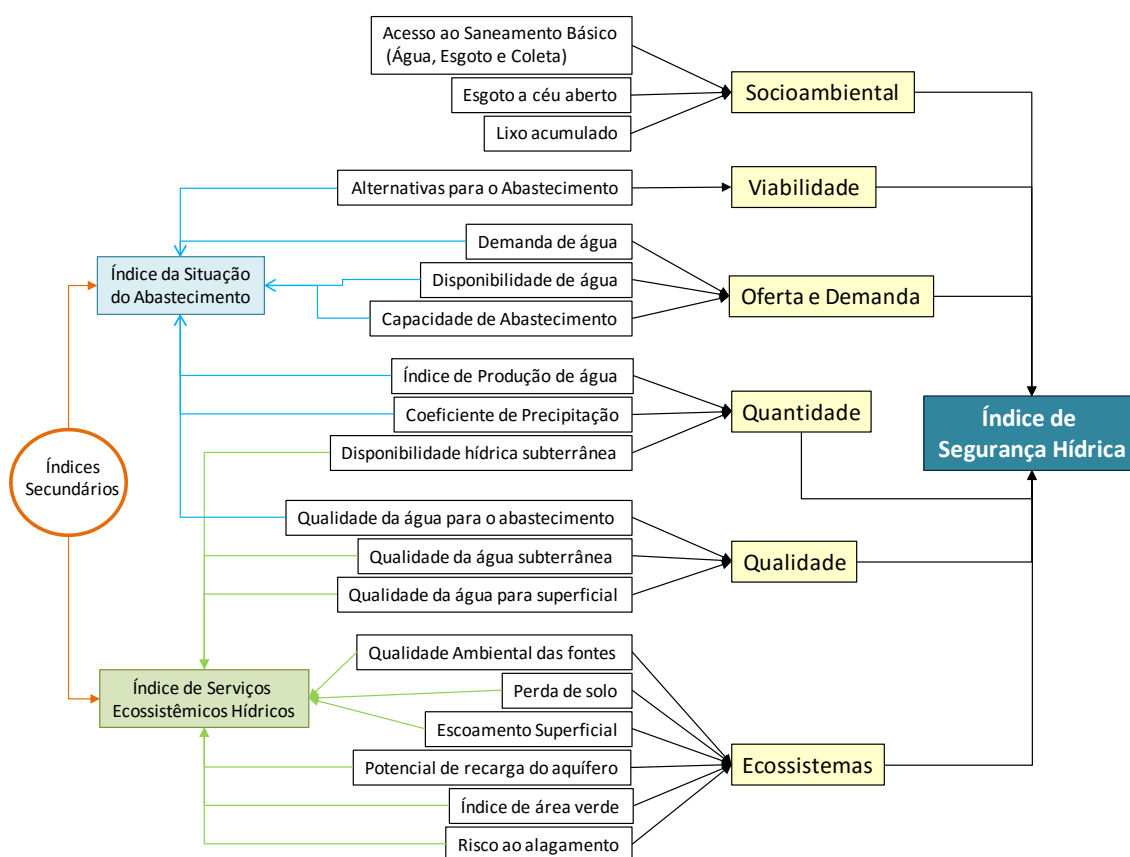


Figura 5.2: Estrutura de organização do índice de segurança hídrica urbana e dos indicadores secundários a serem gerados para o DF.

Assim como no capítulo 4, foi realizada uma validação dos critérios e indicadores, junto com os principais órgãos atuantes na gestão do território e recursos hídricos no DF (ADASA, CAESB, SEMA, CODEPLAN e SEGETH). Essa análise foi realizada da mesma maneira que no capítulo anterior, onde cada um dos participantes julgou a pertinência e a importância dos critérios e indicadores para o objetivo proposto.

Para realizar essa ponderação também foi utilizado o método de análise multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP - Saaty, 1980). Este método foi escolhido devido a sua grande utilização e referencial (Mahase *et al.*, 2016; Réquia *et al.*, 2016; Paz Tenório *et al.*, 2017), praticidade no seu entendimento e simplicidade de aplicação.

Para a compatibilização dos julgamentos dos participantes foi utilizado o *software online* AHP - OS (ver capítulo 4; Goepel, 2017). Após essa compatibilização chegou-se aos pesos finais dos critérios e indicadores e então foi realizado um processo

de álgebra de mapas para realizar o cálculo e obter o valor do índice de segurança hídrica para as áreas urbanas do DF.

### 5.3 RESULTADOS

Como os indicadores pertencentes aos critérios Ecosistemas, Vabilidade, Quantidade, Qualidade e Oferta já foram apresentados nos capítulos 3 e 4, conforme ressaltado na figura 5.2, neste capítulo serão apresentados somente os indicadores utilizados para compor o critério Socioambiental. Os quais serão posteriormente integrados aos outros critérios para a determinação do Índice de Segurança Hídrica.

A figura 5.3 mostra os indicadores relacionados ao acesso ao saneamento básico, reamostrados para as áreas efetivamente ocupadas extraídas pelo método dasimétrico (Apêndice B).

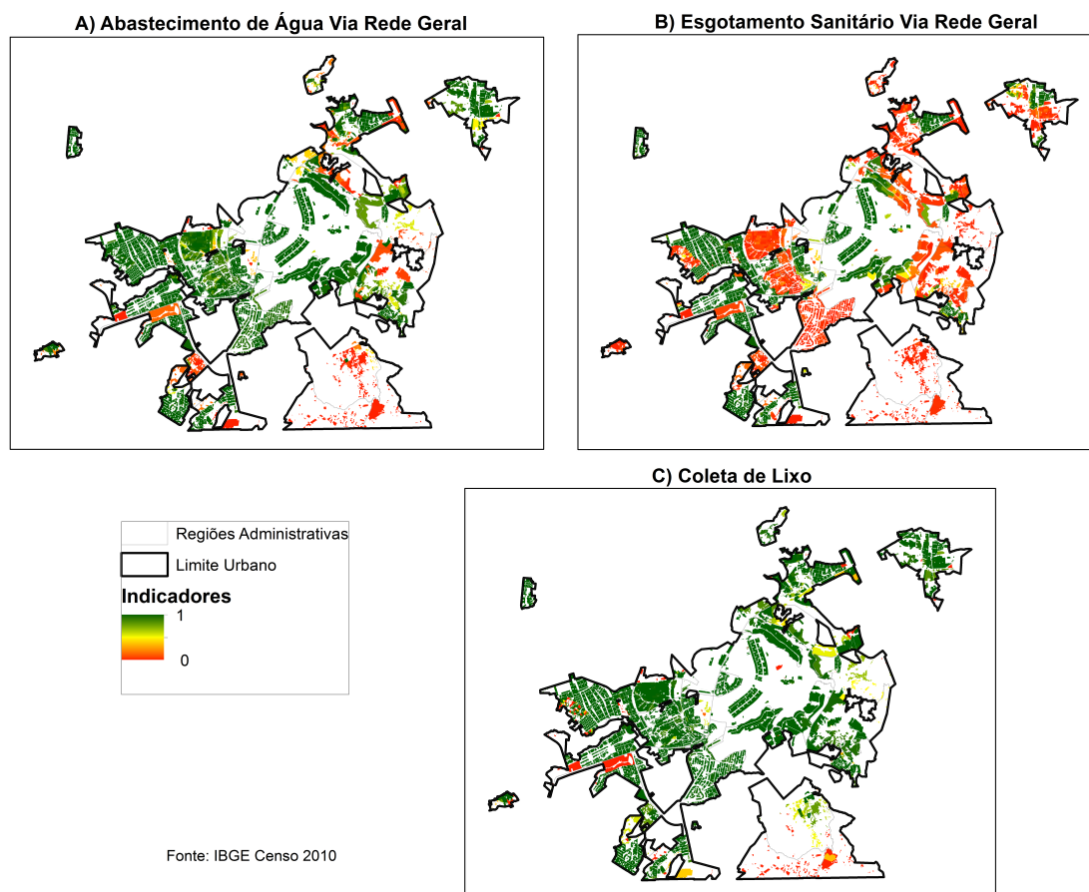


Figura 5.3: Indicadores socioambientais para a área urbana do DF. A) Indicador de acesso ao abastecimento de água via rede geral; B) Indicador de acesso ao esgotamento via rede geral; C) Indicador de acesso à coleta de lixo.

De acordo com o censo (IBGE, 2010), 95% dos domicílios urbanos do DF possuem abastecimento de água via rede geral. Os 5% restantes são distribuídos respectivamente por poço ou nascente (3%), outras formas (2%) e cisternas (0,04%).

Dessa forma, nota-se que a maior parte da área urbana apresenta altos valores (mais de 95%), sendo verificados os valores mais baixos apenas em áreas isoladas, principalmente nas regiões do Gama, Santa Maria, São Sebastião, Jardim Botânico, Lago Norte, Sobradinho I e II e Samambaia.

Com relação ao esgotamento sanitário, a maior parte dos domicílios (81%) utilizam o esgotamento via rede geral ou pluvial, 11% dos domicílios utilizam-se de fossa rudimentar e 8% de fossa séptica. Em que as regiões do Parque Way, Sobradinho II, Fercal, Jardim Botânico, Estrutural e Vicente Pires apresentam as piores situações. Porém, também possuem baixos valores para o índice áreas em águas Claras, Ceilândia, Samambaia, Recanto das Emas, Santa Maria, São Sebastião, Itapoã, Lagos Sul e Norte, Sobradinho I, Paranoá e Planaltina.

Para o serviço de coleta de lixo, a maior parte da população utiliza o serviço de limpeza convencional, por meio da coleta por caminhão de lixo (83%) ou por caçamba de lixo (15%), 1% dos domicílios faz o descarte do lixo queimando-o na propriedade, o 1% restante dá outra destinação ao lixo. Com relação a distribuição espacial, quase que a totalidade da área urbana do DF está situada nas áreas com os valores mais altos, ou seja, são atendidas por este serviço. Em contraposição os valores mais baixos estão presentes em áreas pontuais. Como algumas áreas das RA de Samambaia, Recanto das Emas, Santa Maria e São Sebastião (Figura 5.3).

Também foram avaliados no critério socioambiental indicadores relacionados à qualidade do entorno das moradias, em que os indicadores elencados foram: lixo acumulado e esgoto a céu aberto, como apresentados na figura 5.4. Ambos os indicadores demonstram um padrão similar de distribuição, no qual para as áreas urbanas consolidadas ocorrem os valores mais altos. Já os valores mais baixos, de um modo geral, ocorrem nas áreas irregulares e ainda em expansão. As áreas com os menores valores correspondem à parcelas das RA Ceilândia, Recanto das Emas, Samambaia, Santa Maria, São Sebastião, Jardim Botânico, Paranoá e Lago Norte.

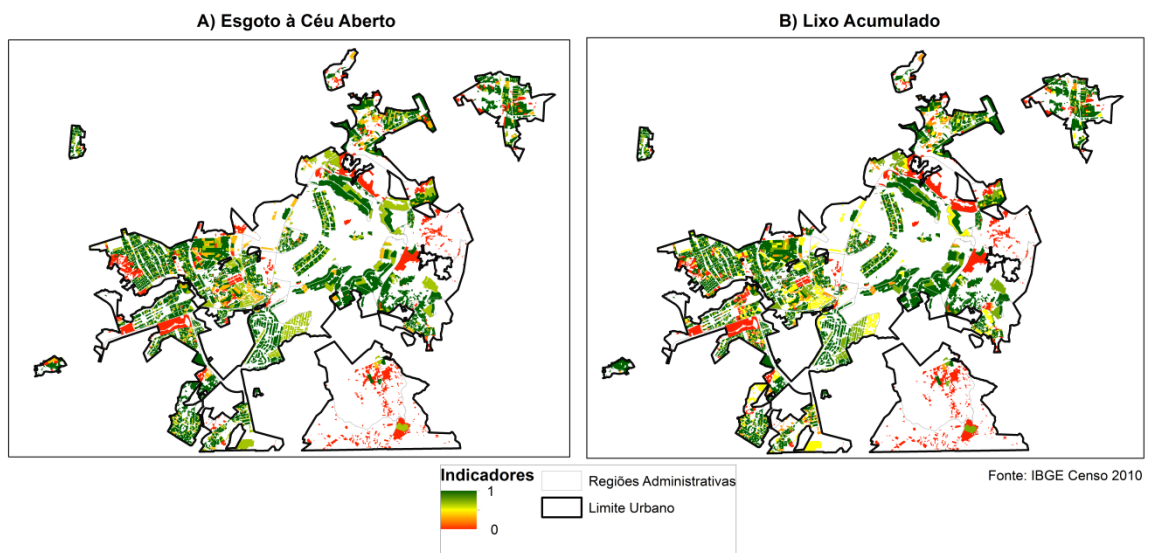


Figura 5.4: Indicadores socioambientais para a área urbana do DF. A) Indicador de entorno do domicílio com esgoto à céu aberto; B) Indicador de entorno do domicílio com lixo acumulado.

Os valores mais baixos estão presentes para os dois indicadores nas mesmas regiões, de um modo geral nas áreas ainda em expansão. As áreas com os menores valores correspondem à parcelas das RA Ceilândia, Recanto das Emas, Samambaia, Santa Maria, São Sebastião, Jardim Botânico, Paranoá e Lago Norte.

### 5.3.1 MAPEAMENTO DOS CRITÉRIOS

A partir dos valores de ponderação obtidos para os indicadores por critério, foram gerados índices intermediários para cada um dos critérios (Figuras de 5.5 a 5.9). Para o critério Oferta, como apresentado na figura 5.5a, os valores mais altos se encontram em áreas mais afastadas dos centros urbanos, principalmente nas regiões de Santa Maria, Jardim Botânico, Paranoá, São Sebastião, Sobradinho II e Planaltina. Já os valores mais baixos estão presentes na porção central do DF, geralmente em áreas urbanas menos adensadas, abrangendo as regiões dos Lagos Sul e Norte, Candangolândia, Brasília e na área urbana consolidada das regiões de Sobradinho I e II.

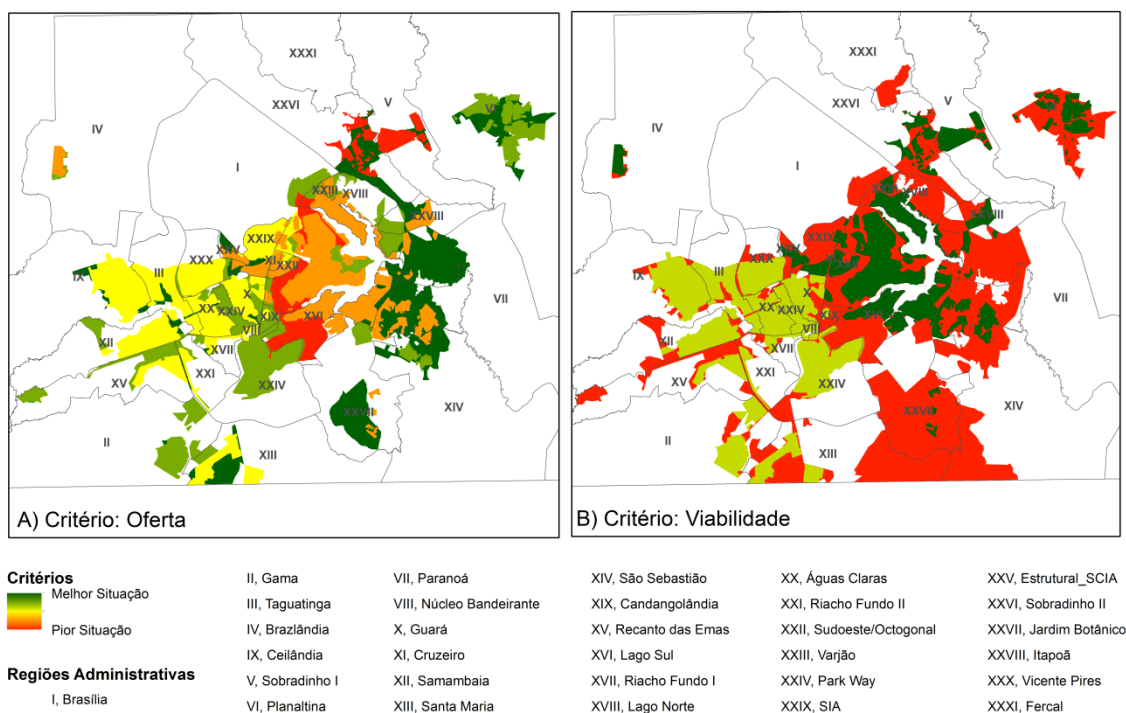


Figura 5.5: Índices gerados para os critérios de: A) Oferta e; B) Viabilidade.

O critério de Viabilidade (Figura 5.5b) se refere apenas ao indicador de alternativas para o abastecimento (discutido no capítulo 4). Os melhores resultados são para as regiões de Planaltina, Sobradinho I e II, Brasília, Lago Norte, Varjão, Estrutural, SIA, Sudoeste/Octogonal, Núcleo Bandeirante e Cruzeiro, Jardim Botânico, Lago Sul, Itapoã e Paranoá. Os piores resultados são para as RA Fercal e São Sebastião, além de toda a área abastecida via poços tubulares nas demais regiões administrativas (Capítulo 4).

Para o critério Ecossistemas (Figura 5.6a), nota-se que as regiões da porção oeste do DF, assim como as RA Fercal, Jardim Botânico e porções de área em Paranoá, Itapoã e Planaltina possuem as piores situações. Em contrapartida, as áreas onde foram identificados os maiores valores pertencem as RA SIA, Candangolândia, Park Way, Brasília, Lago Sul, Santa Maria, Jardim Botânico, Paranoá, Itapoã, Sobradinho II e Lago Norte.

Com relação ao critério Socioambiental (Figura 5.6b), como o dado do IBGE é realizado por domicílio as áreas de comércio e indústria, áreas públicas e áreas verdes, que não são efetivamente habitadas não possuem informação, devido à reamostragem realizada. Para a agregação do IBGE (setor censitário) que é mais abrangente, porém não

possui um critério claro de agregação (Apêndice B), o valor é fornecido, mas refere-se aos domicílios residenciais dentro daquela zona mapeada.

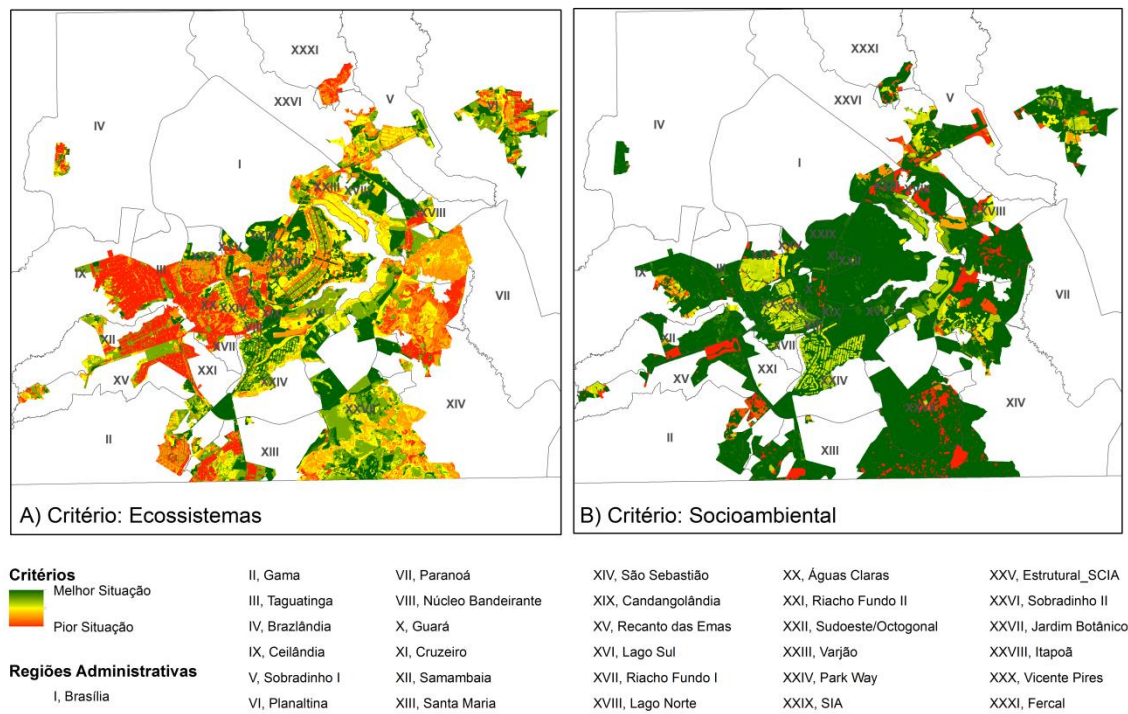


Figura 5.6: Índices gerados para os critérios de: A) Ecossistema e; B) Socioambiental.

Dessa forma, para essas áreas mencionadas, considerou-se que os indicadores, pertencentes ao critério socioambiental, possuíam o valor mais alto (1). Considerando que todas as áreas de comércio e indústria e áreas públicas possuem em sua totalidade acesso ao saneamento básico e que não possuem seus arredores com lixo acumulado e esgoto a céu aberto.

Para as áreas verdes o mesmo foi assumido, tendo em vista que se não há população, não ter acesso ao saneamento básico não é problema e que as características de qualidade do entorno estariam preservadas. A figura 5.6b apresenta a distribuição espacial para o critério socioambiental.

Diante do exposto e de acordo com a figura 5.6b, pode-se perceber que a maior porção do DF apresenta valores altos para o critério. Os valores mais baixos estão presentes nas áreas ainda em expansão. As áreas com os menores valores correspondem a parcelas das RA Recanto das Emas, Samambaia, Santa Maria, São Sebastião, Jardim Botânico, Paranoá, Gama, Sobradinho I e Lago Norte.

Os critérios qualidade e quantidade são apresentados, na figura 5.7. Para a agregação obtida para qualidade (Figura 5.7a) as áreas que apresentaram os menores



valores estão presentes nas RA Candangolândia, Brasília, Lago Sul, Ceilândia, Samambaia, Recanto das Emas, Santa Maria, Jardim Botânico, São Sebastião, Sobradinho II e Planaltina, em todos os casos em zonas de expansão. Sob a perspectiva oposta os valores mais altos foram identificados em porções de área pertencentes às regiões de SIA, Guará, Brasília, Lagos Sul e Norte, Santa Maria, São Sebastião, Jardim Botânico, Paranoá. Fercal e Sobradinho II.

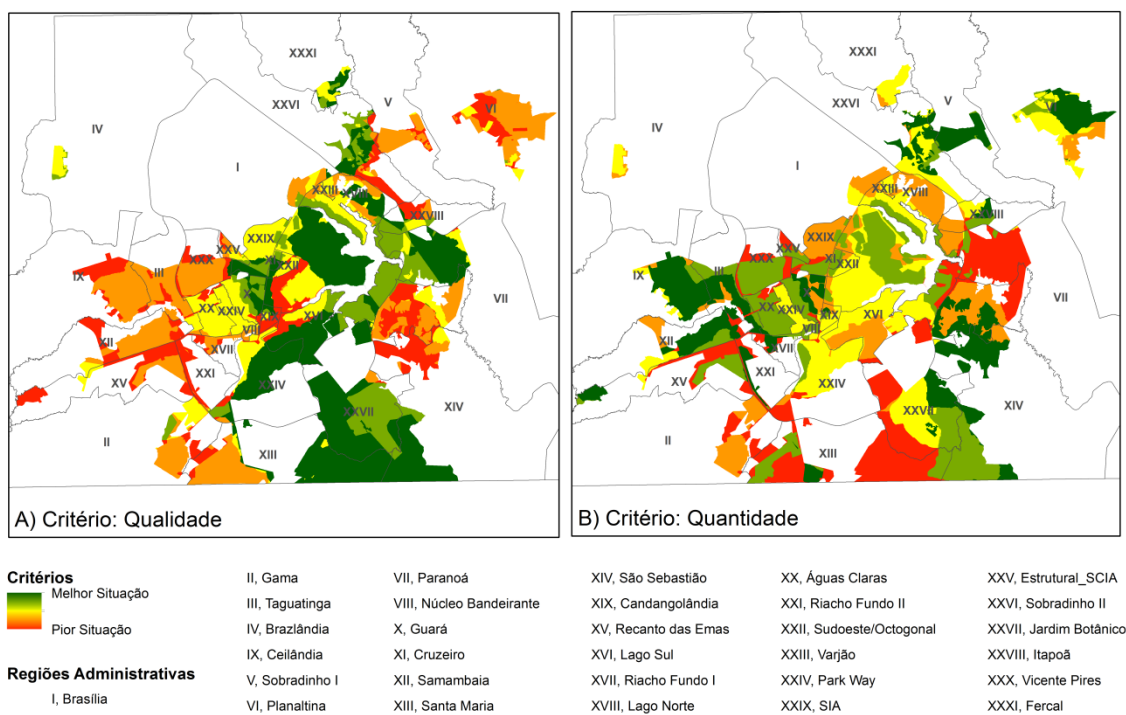


Figura 5.7: Índices gerados para os critérios de: A) Qualidade e; B) Quantidade.

Em relação ao critério de quantidade (Figura 5.7b) as piores situações foram identificadas nas áreas em expansão, sendo identificadas principalmente nas regiões de Vicente Pires, Estrutural, Gama, Santa Maria, Jardim Botânico e Paranoá. Por outro lado, os melhores resultados foram obtidos para as áreas urbanas consolidadas de Ceilândia, Taguatinga, Samambaia, Riacho Fundo I e II, Guará, Sobradinho I e II e Planaltina. Também apresentaram altos valores as áreas, mais afastadas dos centros urbanos, das regiões de Recanto das Emas, Santa Maria, Jardim Botânico Itapoã e Planaltina.

### 5.3.2 ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA URBANA (ISHURB)

O Índice de Segurança Hídrica Urbana (ISHUrb) do DF foi criado com base na consolidação dos julgamentos dos gestores públicos e pesquisadores. Esta análise foi hierarquizada em três níveis (Figura 5.8), onde o nível 0 corresponde ao índice, o nível 1 aos critérios e o nível 2 refere-se aos indicadores.

Dentre os critérios elencados, segundo os participantes, aquele com maior importância para o índice foi o critério Ecossistemas, que representa cerca de 23% do valor do índice. O critério Quantidade também apresentou uma relevância próxima, representado 20% do total. Os critérios Qualidade e Oferta obtiveram percentuais similares, por volta de 19% e 18% respectivamente.

O critério Socioambiental representa 12% do valor para o ISHUrb. O critério Viabilidade foi considerado o de menor relevância para a segurança hídrica, nessa análise, aproximadamente 8%. Analisando estes percentuais, destaca-se que quase 60% está relacionado as condições dos Mananciais (qualidade e quantidade) e a capacidade de ofertar deste recurso, e que 35% está associado a capacidade do ambiente urbano (Ecossistema e Socioambiental) em manter a qualidade e quantidade do recurso.

Continuando a análise da figura 5.8, é possível identificar quais dos indicadores foram considerados mais relevantes dentro de cada critério. Para o critério Quantidade o indicador apontado como de maior importância foi o Coeficiente de Precipitação (46%). Em relação à Qualidade da Água o indicador com maior destaque foi o que aponta a Qualidade da água dos mananciais de abastecimento (46%). Considerando o critério de Oferta o indicador de maior peso refere-se à demanda do consumo em relação à água disponível para uso urbano (44%).

Hierarquia da Decisão		
Nível 0	Nível 1	Nível 2
Segurança Hídrica	Quantidade 0.202	Índice de Produção 0.251
		Coefficiente de Precipitação 0.458
		Disponibilidade Subterrânea 0.291
	Qualidade 0.185	Qualidade do Manancial 0.455
		Qualidade Superficial 0.245
		Qualidade Subterrânea 0.301
	Oferta 0.184	Demanda 0.436
		Disponibilidade de Água 0.309
		Capacidade 0.259
	Ecossistema 0.233	Qualidade Ambiental 0.315
		Escoamento 0.154
		Recarga 0.172
		Erosão 0.116
		Área Verde 0.163
		Alagamento 0.080
	Socioambiental 0.117	Acesso à Água 0.346
		Acesso ao Esgotamento 0.253
		Acesso à Coleta de Lixo 0.149
		Esgoto a Céu Aberto 0.150
		Lixo Acumulado 0.101
Viabilidade 0.079	Alternativas	

Figura 5.8: Hierarquia da decisão e pesos finais dos critérios e indicadores para o índice de segurança hídrica urbana do DF.

No que concerne ao critério Ecossistemas o indicador com maior relevância foi Qualidade Ambiental (31%), que se refere aos serviços ecossistêmicos (escoamento, erosão e potencial à recarga do aquífero) dos mananciais ou fontes utilizadas para o abastecimento. Já o indicador Potencial ao Alagamento (da área urbana) obteve o menor peso (8%). Em relação ao critério Socioambiental o maior peso foi identificado para acesso à água (31%), seguido de acesso ao esgotamento (25%).

Por outro lado, se quisermos entender a importância de cada indicador para a composição do ISH Urb final faz-se necessário a análise do gráfico da figura 5.9 que aponta a relevância em valores percentuais de cada indicador para o índice. Esta análise deve ser realizada com cuidado, pois o número de indicadores por critério interfere no peso final do indicador. Cabe considerar que o indicador Alternativas para o Abastecimento é o único considerado dentro do critério Viabilidade, e os demais critérios possuem pelo menos três indicadores.

Assim, os indicadores com os maiores percentuais, portanto os mais relevantes, são respectivamente Coeficiente de Precipitação (9,2%), Qualidade do Manancial (8,4%) e Demanda (8%). Os indicadores com menor importância fazem parte do critério socioambiental, são eles, lixo acumulado (1,2%), acesso à coleta de lixo e esgoto a céu aberto (1,8% para ambos), também apresenta baixo valor o indicador potencial ao alagamento (1,9%), pertencente ao critério Ecossistemas.

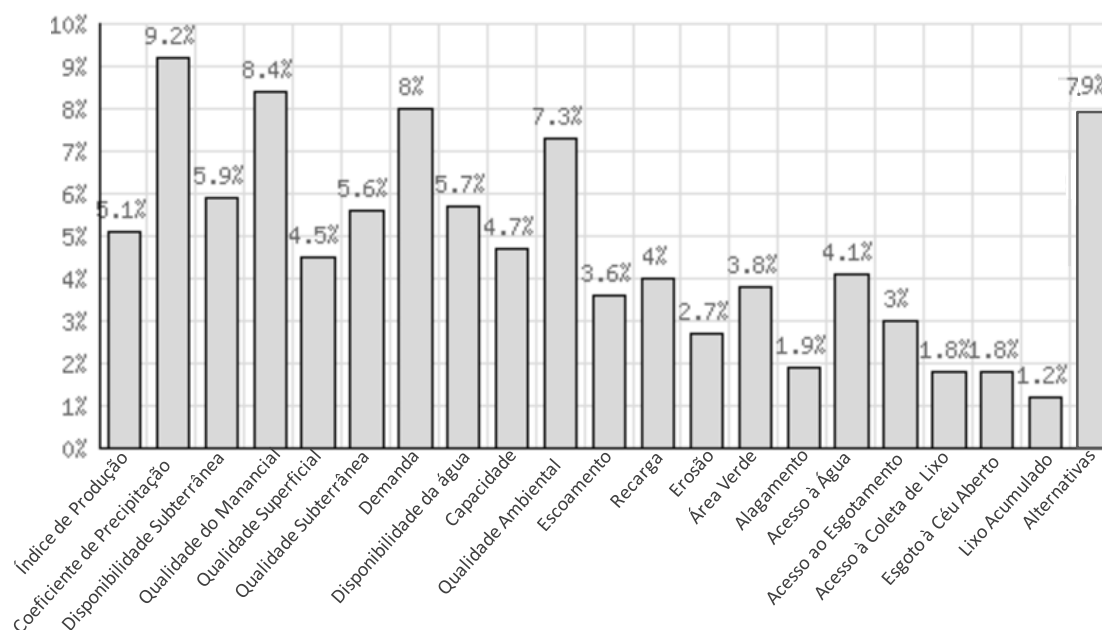


Figura 5.9: Valor da ponderação dos pesos por indicador para o índice (ISH Urb).

Deve-se destacar que para uma análise mais coerente deste resultado deve-se avaliar a congruência ou divergência dos avaliadores no processo de ponderação dos pesos. Assim, a análise de consenso dos julgamentos para a composição do ISH Urb foi de 76%, o que demonstra que as respostas do grupo possuem uma boa similaridade, ou seja, as visões convergem para um mesmo conjunto de fatores primordiais. O mesmo pode ser observado para a análises dos Critérios (nível 1 da AHP) com percentual de 80%

de convergência, também considerado alto. Também foram gerados percentuais de consenso para os indicadores dentro de cada um dos critérios.

No geral a análise dos indicadores para cada critério teve uma alta coesão no julgamento, variando de 71% (Ecossistema) a 79% (Socioambiental). O único conjunto de indicadores que teve consenso considerado moderado foi o critério Quantidade (65%).

### 5.3.3 MAPA DO ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA URBANA DO DISTRITO FEDERAL (ISHURB)

Partindo-se do princípio que os resultados alcançados para a geração do ISHURb estão adequados no ponto de vistas dos gestores públicos e pesquisadores, pode-se passar para a espacialização do mesmo. Deve-se destacar que não foi possível a confecção do mapa para toda a área urbana, pois as áreas que não possuíam informação para qualquer um dos indicadores analisados foram excluídas. A figura 5.10, ilustra a distribuição do ISHURb mapeada para o DF, de acordo com as ponderações dos indicadores e critérios selecionados e apresentados acima.

Dessa maneira, é importante destacar que o índice gerado apresentou valores variando entre 0,27 e 0,67, sendo que o melhor valor possível era 1 e o pior era 0. Assim, entende-se que nenhuma região da área urbana possui condições “ótimas” em relação à segurança hídrica, onde ótimo seriam valores superiores 0,8 (Jia *et al.*, 2015). Além do mais, os valores mais altos (acima de 0,6) ocorrem pontualmente representando menos de 5 % do total da área urbana.

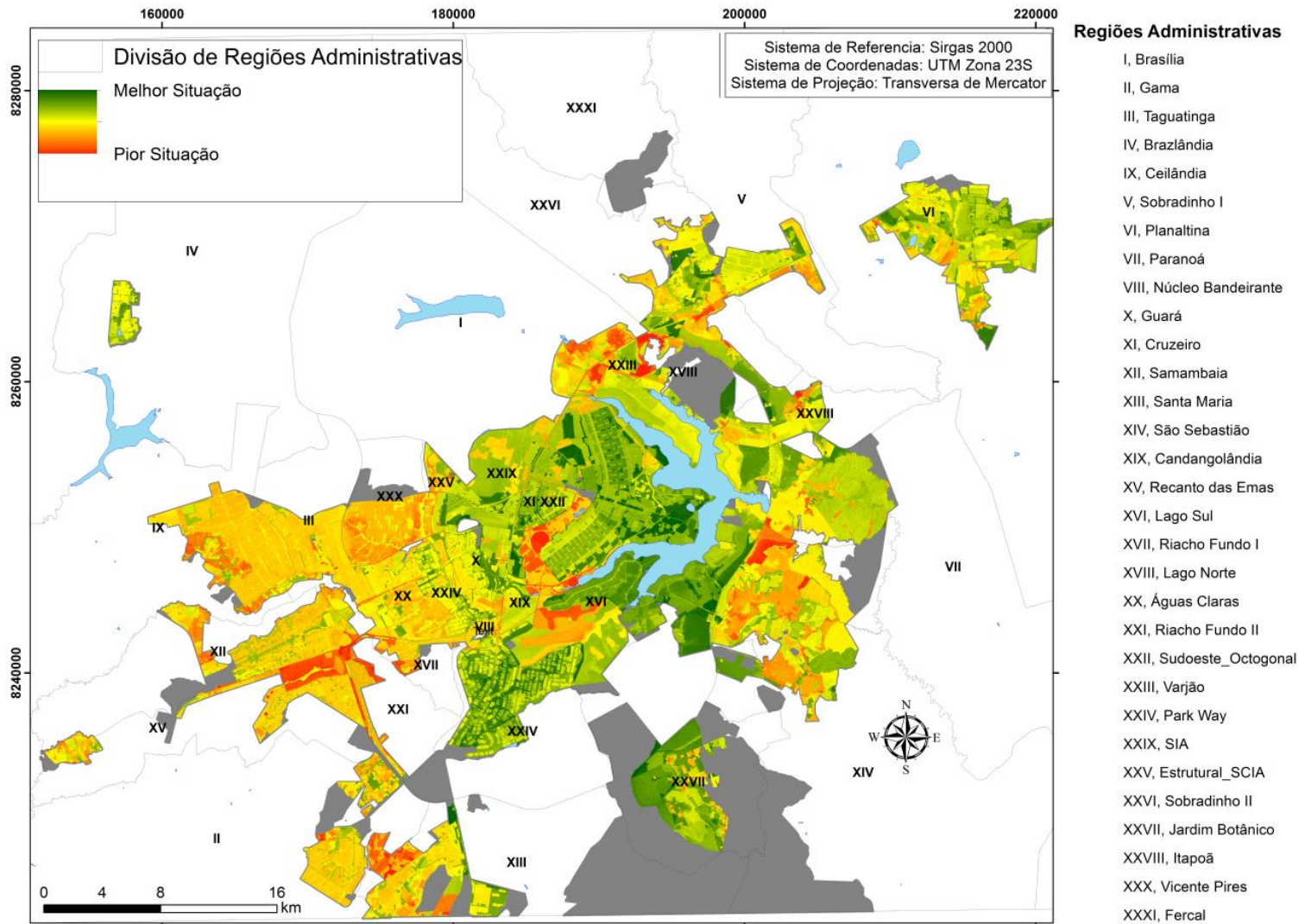


Figura 5.10: Índice de Segurança Hídrica Urbana do Distrito Federal (ISHUrb).

Conforme retrata o mapa (figura 5.10), é possível notar que a porção oeste do DF apresenta valores mais baixos para o ISH Urb. Essa área abrange doze regiões administrativas, são elas: Ceilândia, Taguatinga, Vicente Pires, Águas Claras, Riacho Fundo I e II, Samambaia, Recanto das Emas, Gama, Núcleo Bandeirante e Santa Maria. Além dessas, parte das RA do Jardim Botânico, Paranoá e São Sebastião também apresentam valores baixos.

Em contrapartida a porção que apresenta valores altos para o índice se concentra na porção central do DF, no entorno do lago Paranoá. Tais áreas pertencem principalmente as regiões de Brasília, SIA, Lago Sul, Park Way, Sudoeste/Octogonal, Cruzeiro e parte do Guará. Outras áreas como Jardim Botânico, Sobradinho II, Paranoá e Planaltina também apresentam áreas com valores próximos às melhores situações identificadas.

As áreas identificadas com os maiores valores estão dispersas e geralmente verificam-se alta taxa de áreas verdes (ver Capítulo 3). Esses valores mais altos estão presentes primordialmente em áreas específicas das regiões de Brasília, Sobradinho II, Lago Sul, Jardim Botânico e Planaltina.

Por outro lado, as piores situações foram evidenciadas, de um modo geral, em áreas fora da mancha urbana consolidada. Essas áreas correspondem à porções das regiões de Jardim Botânico, Lago Norte, Brasília, Riacho Fundo I e II, Recanto das Emas, Gama e Santa Maria.

## 5.4 DISCUSSÕES

Considerando os resultados, inicialmente far-se-á uma discussão do impacto do Índice (ISH Urb) para o DF e depois como a segurança hídrica está sendo abordada no cenário mundial, focando na geração de índices gerados para áreas urbanas.

### 5.4.1 PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES EM RELAÇÃO ENTRE A ISHURB E À CRISE HÍDRICA DO DF

O índice proposto nessa pesquisa teve como base dados referentes ao ano de 2009. Assim, com base nos resultados, utilizando a classificação definida por Jia *et al.*, (2015), que classifica o índice em seguro, relativamente seguro, no limite, relativamente inseguro e inseguro e considerando os intervalos de classificação divididos igualmente é possível destacar alguns pontos principais.

Pode-se dizer que para o ano de 2009, não havia nenhuma região insegura (intervalo  $< 0,2$ ) e também nenhuma das regiões podia ser considerada segura ( $< 0,8$ ). Apenas 5% das áreas analisadas estavam classificadas como relativamente seguras, o mesmo percentual se verificou para a classificação oposta (relativamente inseguro). O restante, 90% da área urbana do DF enquadrou-se na classificação "no limite" em relação à segurança hídrica.

Como visto no capítulo 4, ao longo desse período a situação hídrica do DF piorou, como previsto em alguns estudos (ANA, 2010a; Lorz *et al*, 2011 e Silva & Souza, 2013) e por inúmeros motivos (CAESB, 2016a; Distrito Federal, 2017a). A crise de água se tornou eminente em 2016. Sendo necessárias medidas como declarar situação crítica de escassez hídrica nos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria (Distrito Federal, 2016a).

Além disso, outras ações foram tomadas: suspensão da emissão de outorgas; medidas de redução do consumo de água; redução da pressão dinâmica nas redes de distribuição; racionamento da água; redução do período de captação de água para irrigação e; cobrança de contingência sobre o valor de água consumida, de até 40% para as áreas residenciais (CAESB, 2016b). Cabe considerar que todas as medidas tomadas, emergencialmente e a curto prazo, foram feitas sem uma maior clareza das variáveis que estão envolvidas nesse processo, como por exemplo, distribuição da taxa de consumo (Apêndice C).

Posteriormente, o rodízio de água foi implementado também para as localidades abastecidas pelos sistemas isolados (Distrito Federal, 2016b). Com o período das chuvas o racionamento foi interrompido. No início de 2017 a CAESB decidiu reiniciar o rodízio do abastecimento de água nas localidades atendidas pelo reservatório do Descoberto, tendo em vista que seus níveis atingiram novamente o Estado de Restrição, abaixo de 20% (CAESB, 2017). Para os sistemas isolados o rodízio de água só retornou a ocorrer no mês de setembro (Distrito Federal, 2017b).

Avaliar a segurança hídrica de áreas urbanas individualmente é uma tarefa complexa, principalmente porque áreas urbanas e rurais, em uma visão macro, não estão dissociadas, sendo a bacia hidrográfica a unidade espacial mais adequada para se avaliar questões hidrológicas (ANA, 2011). Porém, o ambiente urbano e o rural possuem características muito distintas e construir um índice único, com os mesmos parâmetros, critérios e indicadores não seria ideal.



Dessa maneira, mesmo o objeto dessa pesquisa estando focado nas áreas urbanas, sabe-se que há um impacto direto das áreas urbanas para as bacias, assim como essas áreas também são impactadas com as alterações que ocorrem no restante da bacia a qual integram. Assim, é importante uma análise da segurança hídrica urbana em relação as bacias hidrográficas (Figura 5.11).

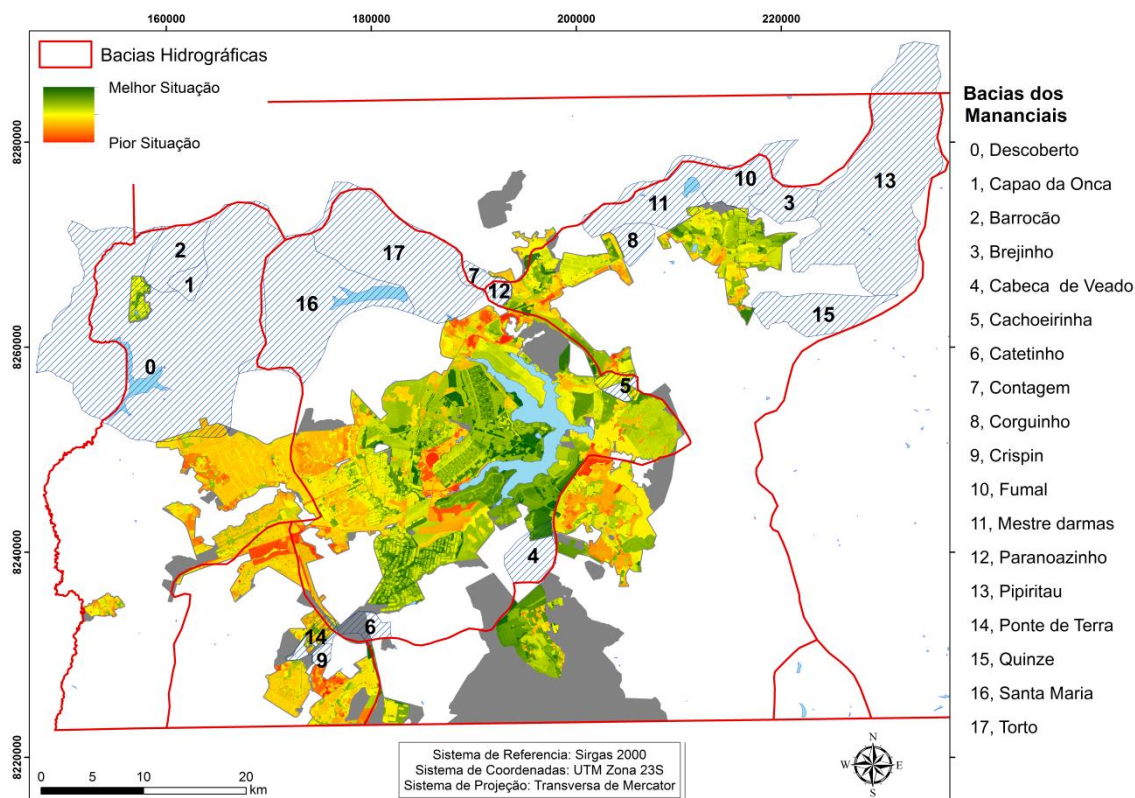


Figura 5.11: Índice de segurança hídrica urbana, bacias hidrográficas e áreas de contribuição dos principais mananciais de abastecimento urbano do DF.

De uma maneira geral, os piores resultados identificados para a segurança hídrica na área urbana do DF foram verificados para as regiões da porção oeste. Parte dessas regiões compõem a área de contribuição da bacia do Descoberto, onde está localizado o reservatório mais importante para o abastecimento do DF. Atualmente, o nível do reservatório atingiu o menor nível histórico, 6,5% de seu volume útil até o final do fechamento desta tese em 31/10/2017 (ADASA, 2017).

A região de Brazlândia que também faz parte dessa bacia, apresentou resultados considerados no limite para a segurança hídrica. Essa região é reconhecida por constantes interrupções no abastecimento de água e possui sistema de abastecimento isolado (CAESB, 2014). Em outubro de 2017, o principal manancial de abastecimento da região, Barrocão, estava com o limite da vazão tão baixo, que a CAESB não conseguiu realizar

o bombeamento para abastecimento da população, o que acarretou em um corte emergencial de água com duração de dois dias (Toakarnia, 2017).

Além dessas regiões, as RA que fazem parte da bacia do Rio Corumbá, também apresentaram valores baixos para o índice. Uma das alternativas para o abastecimento do DF, que já está em fase de implementação, é a utilização de um dos braços desse reservatório para o abastecimento de água de oito regiões do DF e entorno (CAESB, 2016a).

Apesar de apresentar valores um pouco maiores para o índice, as regiões de Sobradinho I e II e Planaltina, também ficaram classificadas como no limite. Essas regiões fazem parte da bacia do rio São Bartolomeu, reconhecida pelo histórico de conflitos pelo uso da água (ANA, 2010a). Inclusive, devido aos problemas enfrentados em várias subbacias, programas de conscientização do uso da água e projetos vem sendo desenvolvidos (ANA, 2010b).

Essa bacia abriga seis mananciais de abastecimento urbano, com captação realizada a fio d'água e que compõem o sistema isolado Sobradinho/Planaltina. Assim, como em Brazlândia, por serem abastecidos diretamente pela água captada nos mananciais, estão sujeitas a interrupções súbitas e por tempo indeterminado, como o corrido em outubro deste ano.

Diversas localidades de Sobradinho e Planaltina enfrentam interrupções do fornecimento de água, o ultimo deles sem período estimado para retorno do abastecimento, devido a baixa vazão do Pipiripau (Rodrigues, 2017). No mês de outubro essas localidades chegaram a ficar seis dias sem abastecimento de água, segundo a CAESB isso é decorrente da baixa vazão dos mananciais, que se encontram abaixo do limite de onde o sistema realiza as captações (Carvalho, 2017).

Porções de área das regiões do Paranoá, Jardim Botânico, São Sebastião e Santa Maria também fazem parte da bacia do rio São Bartolomeu. Apesar de algumas dessas áreas possuir valores mais altos (figura 5.11), assim como nos demais casos, essas áreas foram classificadas no limite em relação à segurança hídrica.

De acordo com o mapa (figura 5.11), as regiões da porção central do DF são as que apresentam os valores mais altos para o ISHurb, porém se consideramos a classificação de acordo com Jia et al. (2015), essas áreas também se encontram no limite. Essas áreas fazem parte da bacia de contribuição do lago Paranoá. Nessa bacia encontram-se cinco mananciais utilizados para o abastecimento, dentre eles o reservatório de Santa Maria.

Esse reservatório é responsável pelo abastecimento de 20% da população do DF e abrange 12 regiões administrativas (CAESB, 2014). O nível do volume útil do reservatório se encontra em 23% (ADASA, 2017). Nessa bacia serão implementados dois sistemas produtores de água, um com a captação realizada no lago Paranoá e implantação de um subsistema complementar com a captação de água do córrego Bananal (CAESB, 2016a).

Além, da implantação desses dois sistemas, a bacia do Paranoá (Figura 5.12) é muito importante para o DF, vários estudos vêm sendo desenvolvidos (Menezes *et al.*, 2012; Lorz *et al.*, 2014; Dias, 2017), principalmente em relação a qualidade da água e ao assoreamento.

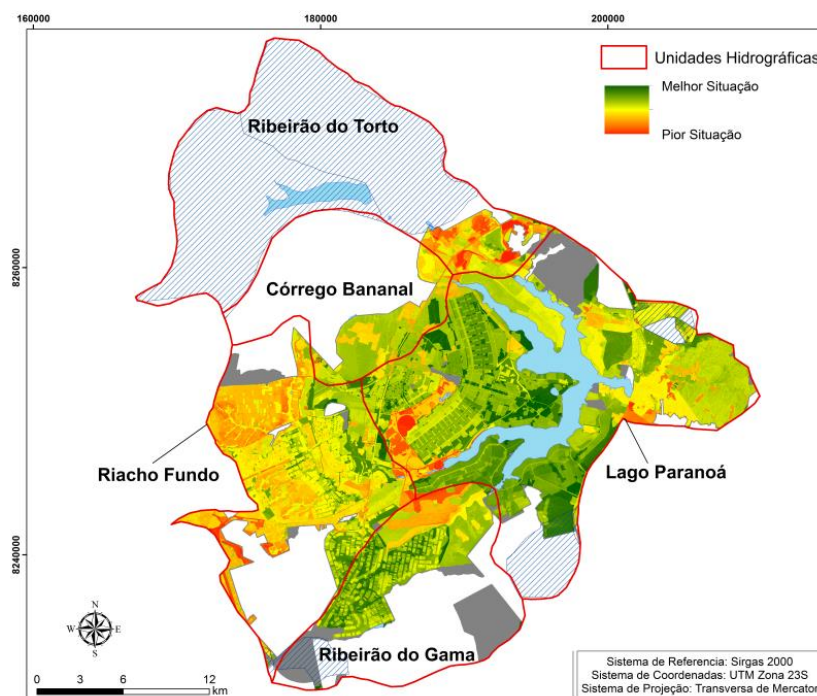


Figura 5.12: Unidades hidrográficas e área dos mananciais de abastecimento urbano na bacia do lago Paranoá.

Como demonstrado na figura 5.12, dentre as unidades hidrográficas pertencentes a bacia as que apresentaram os valores mais baixos foram as subbacias do Riacho Fundo e do Ribeirão do Torto. Menezes *et al.* (2012) identificou essa unidade como em estado de alerta devido a alta taxa de densidade de urbanização e áreas com altas taxas de escoamento superficial, o que ocasionou na maior taxa de assoreamento do lago na área drenada por essa região.

De acordo com os resultados apontados e com a atual situação enfrentada, pode-se afirmar que esta é uma situação sem solução rápida e que possivelmente irá se

prolongar por um longo período. Em grande parte, devido às baixas pluviométricas dos últimos anos e as taxas de recuperação dos mananciais após os períodos de chuva.

Dessa maneira, o Governo do Distrito Federal sustenta que a crise hídrica que hoje se abate sobre a capital e outras partes do Brasil aponta definitivamente para o uso racional e sustentável da água como uma política permanente (Distrito Federal, 2017a).

#### 5.4.2 PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES EM RELAÇÃO À LITERATURA

Diante dos resultados obtidos, é importante salientar que utilização de indicadores tem sido a abordagem mais comumente utilizada para a avaliação da segurança hídrica (em pequenas escalas), uma vez que possibilita que um grande número de informações de caráter e complexidade diversas seja apresentado de maneira simples e de fácil compreensão, porém sua utilização possui fatores limitantes, como qualquer outro método (Melo, 2016).

É importante enfatizar que o critério de classificação (estrutura do índice, critérios e indicadores) é um requisito fundamental para a análise científica da segurança da água, principalmente porque não existe uma definição universalmente aceita de segurança hídrica, parâmetros de avaliação ou critério de classificação apropriado. Dessa forma, a maior parte das análises de classificação da avaliação da segurança da água são determinadas com base na situação real dos recursos hídricos e nos dados históricos, referências disponíveis, participação pública e julgamento de especialistas (Jia *et al.*, 2015).

Diante do cenário mundial que se vivencia em relação à água e considerando a grande adesão do conceito de segurança hídrica por países, entidades e pesquisas diversas, ainda é muito incipiente o desenvolvimento de pesquisas que objetivam gerar indicadores ou índices, para escalas maiores de representação. Como para o caso das áreas urbanas ou mesmo em nível de bacia hidrográfica. Assim, destacam-se os trabalhos de Shao *et al.*, (2012); Xiao-Jun *et al.* (2012), Dong & Liu (2014), Liu *et al.* (2014) e Jia *et al.* (2015).

Todos os índices de segurança hídrica identificados na pesquisa, considerando uma escala grande de avaliação, foram desenvolvidos para a China. Dong & Liu (2014) desenvolveram um índice para avaliar a segurança hídrica em períodos secos, por meio dos algoritmos de entropia da seca e raciocínio evidencial. Segundo os autores os resultados obtidos estão razoavelmente de acordo com a realidade.

Outro estudo, realizado por Xiao-Jun *et al.* (2012), teve como premissa o uso de análise multicritério baseada na teoria da catástrofe. O índice foi proposto para a cidade de Yulin, China. O índice foi gerado levando em consideração cinco dimensões compostas por 20 indicadores. A partir de então os autores realizaram análises para três cenários distintos para os anos de 2020 e 2030.

Shao *et al.* (2012) apresentou um modelo para avaliar a segurança hídrica entre diferentes cidades na China. Em sua pesquisa ele considerou quatro dimensões e 22 indicadores e utilizou o método de análise de decisão multicritério AHP, baseado no julgamento de entrevistados. Posteriormente, realizou uma comparação com outros três modelos.

Assim, cabe considerar que nenhum dos índices gerados por esses autores analisam sua distribuição de maneira espacializada. Os autores Liu *et al.* (2014) e Jia *et al.* (2015), representaram seus respectivos índices espacialmente. Ambos trabalhos utilizaram a mesma abordagem, onde foram usados modelos de análise de decisão multicritério e posteriormente usaram técnicas para agregá-los e compor o índice final.

Tais pesquisas diferem nos modelos utilizados, número de dimensões e indicadores. Liu *et al.* (2014) em sua abordagem fizeram uso do modelo estado-pressão-resposta, utilizaram sete dimensões distintas e 29 indicadores. Jia *et al.* (2015) desenvolveram seu índice tendo em conta três dimensões e 15 indicadores. Os resultados obtidos pelas duas abordagens foram distintos.

Todas essas pesquisas concluíram que o índice de segurança hídrica obtido em suas pesquisas conseguiram retratar a realidade e tratam-se de um importante instrumento para a tomada de decisão, no sentido de indicar a situação da segurança hídrica e dar luz as áreas com níveis mais críticos. Dessa forma, tais índices podem dar subsídios a escolha de áreas prioritárias para ações governamentais.

Não é possível uma comparação entre esses índices e o gerado nesta pesquisa, pois as características da área são diversas, os indicadores utilizados em cada pesquisa é diferente e os modelos implementados para se alcançar o índice não são os mesmos. Vorosmarty *et al.* (2010) desenvolveram um índice de ameaça a segurança hídrica humana, em nível global, que varia de 0 a 1, onde 0 é a melhor situação. Para o Brasil, a região norte possui valores entre 0,2 e 0,6 e as demais regiões se encontram entre os valores 0,7 e 1, o que já demonstra uma situação de alerta.

Durante a pesquisa bibliográfica não foi identificado nenhum índice de segurança hídrica realizado para o país. Os trabalhos desenvolvidos nacionalmente que

deixam claro o conceito de segurança hídrica, e não são apenas conceituais, foram as pesquisas de Rodrigues *et al.* (2014 e 2015) e Melo (2016). Rodrigues *et al.* (2014) estabeleceram uma base conceitual e propuseram indicadores para quantificar a segurança hídrica baseado nos conceitos de água azul e verde para bacias hidrográficas, tendo como estudo de caso a bacia do rio Cantareira. Rodrigues *et al.* (2015) desenvolveram um modelo empírico de análise de incerteza de indicadores de segurança hídrica que caracterizam escassez e vulnerabilidade, baseado em uma estrutura multi-modelo e reamostragem.

Melo (2016), apresentou uma proposição de modelo analítico para avaliação do nível de segurança hídrica de sistemas urbanos de abastecimento de água e os resultados de sua aplicação no estudo de caso no Sistema rio das Velhas que abastece parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

## 5.5 CONCLUSÃO

Os resultados gerados apontam que o DF não possui nenhuma região pertencente à área urbana totalmente segura em relação à água. A porção oeste do DF (Ceilândia, Taguatinga, Vicente Pires, Águas Claras, Riacho Fundo I e II, Samambaia, Recanto das Emas, Gama, Núcleo Bandeirante e Santa Maria), no geral, apresenta valores mais baixos para o ISHUurb. Sendo que as áreas com os menores valores ocorrem em pontos específicos (Jardim Botânico, Lago Norte, Brasília, Riacho Fundo I e II, Recanto das Emas, Gama e Santa Maria).

Em oposição, os valores mais altos para o índice se concentram na porção central do DF, no entorno do lago Paranoá (Brasília, SIA, Lago Sul, Park Way, Sudoeste/Octogonal, Cruzeiro e parte do Guará). Os maiores valores identificados ocorrem pontualmente em áreas com presença de vegetação (Brasília, Sobradinho II, Lago Sul, Jardim Botânico e Planaltina).

Os resultados obtidos pela análise multicritério AHP, apontam que os participantes apresentaram um alto grau de similaridade em seus julgamentos. O que torna a confiabilidade do indicador maior, porém faz-se necessário realizar análises de incertezas tanto nos indicadores, quanto para o índice, para que possa se afirmar com certeza seu grau de confiança.

O estado presente dos recursos hídricos do DF é extremamente crítico, seus principais reservatórios estão abaixo do limite útil e os mananciais que abastecem os

sistemas isolados estão com volumes muito baixos. Não há nenhuma alternativa de abastecimento imediata e a única solução está depositada na chegada do período de chuvas. As precipitações no DF vêm evidenciando um padrão de baixa nos últimos anos e especialmente para 2017 irão se iniciar mais tarde.

Tendo em vista, que os dados utilizados na análise correspondem ao ano de 2009 (pela dependência de informações) e que nessa época a situação, como demonstra o ISH Urb, era considerada no limiar, com o aumento da população, da ocupação urbana, da demanda pela água, essa situação se agravou. A situação atual confirma os resultados obtidos nessa pesquisa.

Dessa maneira, acredita-se que o ISH Urb é um instrumento apto para auxiliar no processo de tomada de decisão. Além disso, a metodologia elaborada permite a sua replicação para áreas e períodos de tempo diferentes, o que possibilita outras avaliações. A utilização do índice como suporte para a gestão pública, pode subsidiar ações preditivas que apontem os problemas mais relevantes e possibilite a partir de sua análise ações que efetivamente possam saná-los ou mitigá-los não só no curto, mas também no longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- ADASA, Agência Reguladora de Águas, energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. 2017. Níveis dos reservatórios. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/monitoramento/niveis-dos-reservatorios>>. Acesso em Outubro de 2017.
- ALLOUCHE J. 2011. The sustainability and resilience of global water and food systems: Political analysis of the interplay between security, resource scarcity, political systems and global trade. Elsevier Ltd. Food Policy. v. 36, p. S3-S8.
- ANA, Agência Nacional de Águas. 2010a. Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: Resultados por estado. ANA/Engecorps/Cobrape - Brasília. v2. 90p. 2010.
- ANA, Agência Nacional de Águas. 2010b. Programa produtor de água: relatório diagnóstico socioambiental da bacia do ribeirão Pipiripau. Disponível em: <[http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Relatorio\\_Diagnostico\\_Pipiripau\\_PRODUTOR\\_DE\\_AGUA2.pdf](http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Relatorio_Diagnostico_Pipiripau_PRODUTOR_DE_AGUA2.pdf)>. Acesso em Outubro de 2017.
- ANA, Agência Nacional de Águas. 2011. O comitê da bacia hidrográfica: o que é e o que faz?. Cadernos de capacitação em recursos hídricos. SAG - Brasília. v. 1, 64p. 2011.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2013a. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2013. 432 p.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2013b. Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos. Brasília: ANA, 2013.
- AXWORTHY, T.S.; SANDFORD, B. The global water crisis: framing the issue. In: BIGAS, H. et al., (ed.) The global water crisis: addressing an urgent security issue: papers for the Inter Action Council, 2012, p. 2010-2012.
- BAKKER, K. 2012. Water security: Research challenges and opportunities. Science. v. 337, p. 914-915.
- BOGARDI, J. J.; DUDGEON, D.; LAWFORD, R.; FLINKERBUSCH, E.; MEYN, A.; PAHL-WOSTL, C.; VIELHAUER, K.; VÖRÖSMARTY C. 2012. Water security for a planet under pressure: interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions. Current Opinion in Environmental Sustainability. v. 4, p. 35-43.

- BROWN, C.; DOMEISEN, D.; MEEKS, R.; HUNU, K.; YU, W. 2008. Exploring the effect of hydroclimate variability on economic growth in Sub-Saharan Africa: a water security index. Disponível em: <<http://iri.columbia.edu/publications/id=849>>. Acesso em Maio 2015.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2011. Avaliação multicritério das bacias hidrográficas dos mananciais da CAESB: Produto 2- Qualificação. Diretoria de Engenharia e Meio Ambiente, Superintendência de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e Gerência de Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas. Governo do Distrito Federal, Brasília, DF. 81 p.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2014. Siagua: Sinopse do sistema de abastecimento de água do Distrito Federal. Diretoria de Operação e Manutenção, Assessoria de Planejamento, Programação e Controle e Coordenadoria de Planejamento e Controle Operacional de Sistemas. Governo do Distrito Federal, Brasília, DF. 147 p.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2016a. Relatório anual da administração. Disponível em: <[https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos\\_pdf/RelatoriodaAdministracao\\_2016.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos_pdf/RelatoriodaAdministracao_2016.pdf)>. Acesso em Julho de 2017.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2016b. Escassez hídrica e tarifa de contingência. Disponível em: <[https://www.caesb.df.gov.br/images/seca\\_DF/apresentacaotarifa\\_de\\_contingencia2.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/seca_DF/apresentacaotarifa_de_contingencia2.pdf)>. Acesso em Novembro de 2016.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2017. Seca 2016/2017: Rodízio de água. Disponível em: <<https://www.caesb.df.gov.br/8-portal/noticias/564>>. Acesso em Outubro de 2017.
- CARVALHO, L. 2017. Caesb promete normalizar oferta de água em Planaltina, no DF, a partir desta quinta. Disponível em: <<https://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/caesb-promete-normalizar-oferta-de-agua-em-planaltina-no-df-a-partir-desta-quinta.ghtml>>. Acesso em Outubro de 2017.
- COOK, C. & BAKKER, K. 2012. Water security: debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change*. v. 22, p. 94-102.
- DERKZEN, M. L.; VAN TEEFFELLEN, A. J. A. ; VERBURG, P. H. 2015. Quantifying urban ecosystem services based on high resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*. v. 52, n.4, p. 1020-1032.
- DIAS, D. F. 2017. Processos geoquímicos na interface sedimento-água no braço Riacho Fundo do Lago Paranoá - DF. 2017. 88 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- DINAR, S. 2002. Water, Security, Conflict and Cooperation. *SAIS Review*. Summer-Fall 2002. v. 22, n. 2, p. 229-253.
- DISTRITO FEDERAL. Resolução nº 13, de 15 de agosto de 2016a. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2016/09/resolucao-adasa-acoessituacao-critica-escassez-hidrica.pdf>>. Acesso em Outubro de 2017.
- DISTRITO FEDERAL. Resolução nº 16, de 21 de setembro de 2016b. Disponível em: <[http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res\\_ADASA/Resolucao016\\_2016.pdf](http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_ADASA/Resolucao016_2016.pdf)>. Acesso em Outubro de 2017.
- DISTRITO FEDERAL. Resolução nº 21, de 08 de setembro de 2017. Governo de Brasília. Disponível em: <[http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/legislacao/resolucoes\\_adasa/resolu%C3%A7%C3%A3o-212017.pdf](http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/legislacao/resolucoes_adasa/resolu%C3%A7%C3%A3o-212017.pdf)>. Acesso em Outubro de 2017.
- DISTRITO FEDERAL. 2017. Plano integrado de enfrentamento a crise hídrica. Governo de Brasília. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/03/plano-integrado-de-enfrentamento-a-crise-hidrica-governo-de-brasil.pdf>>. Acesso em Outubro de 2017.
- DOBBS, C.; KENDAL, D.; NITSCHKE, C. R. 2014. Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics. *Ecological Indicators*. v. 43, p. 44-55.



- DONG, Q.; LIU, X. 2014. Risk assessment of water security in Haihe River Basin during drought periods based on D-S evidence theory. *Water Science and Engineering*. v. 7, n. 2, p. 119-132.
- EIGENBROD, F.; BELL, V. A.; DAVIES, H. N.; HEINEMEYER, A.; ARMSWORTH, P. R.; GASTON, K. J. 2011. The impact of projected increases in urbanization on ecosystem services. *Proceedings of the Royal Society B*. v. 278, p. 3201–3208.
- FALKENMARK, M. 1989. The massive water scarcity now threatening Africa - Why isn't it being addressed? *Ambio, Estocolmo*, v.18, n.2, p.112-118.
- FRANÇA, V. O.; STRAUCH, J. C. M.; AJARA, C. 2014. Método dasimétrico inteligente: uma aplicação na mesorregião metropolitana de Belém. *Revista Brasileira de Cartografia*. n. 66/6. p. 1395-1411.
- GOEPEL, K. D. 2017. BPMSG's AHP Online System: Rational Decision Making Made Easy. Disponível em: < <https://bpmsg.com/academic/documents/BPMSG-AHP-OS-2017-05-25.pdf>>. Acesso em outubro de 2017.
- GONÇALVES, T. D.; ROIG, H. L.; CAMPOS, J. E. G. 2009. Sistema de informação geográfica como ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 39, n. 1, p. 169-180.
- GREEN, P. A.; VÖRÖSMARTY, C. J.; HARRISON, I.; FARRELL, T.; SÁENZ, L.; FEKETE, B. M. 2015. Freshwater ecosystem services supporting humans: pivoting from water crises to water solutions. *Global Environmental Change*. v. 34, p. 108-118.
- GRÊT-REGAMEYA, A.; ALTWEGGB, J.; SIRÉNA, E. A.; VAN STRIENA, M.J.; WEIBELA, B. 2016. Integrating ecosystem services into spatial planning—A spatial decision support tool. *Landscape and Urban Planning*. v. 165, p. 206-219.
- HAASE, D.; LARONDELLE, N.; ANDERSSON, E.; ARTMANN, M.; BORGSTRÖM, S.; BREUSTE, J.; GOMEZ-BAGGETHUN, E.; GREN, A.; HAMSTEAD, Z.; HANSEN, R.; KABISCH, N.; KREMER, P.; LANGEMEYER, J.; L. RALL, E.; MCPHEARSON, T.; PAULEIT, S.; QURESHI, S.; SCHWARZ, N.; VOIGT, A.; WURSTER, D.; ELMQVIST, T. 2014. A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. *AMBIO*. v. 43, p. 413-433.
- GREY, D. & SADOFF, C.W. 2007. Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy*. v. 9, p. 545-571.
- GWS, GLOBAL WATER SECURITY. 2010. An engineering perspective. London: The Royal Academy of Engineering 3 Carlton House Terrace. The Royal Academy of Engineering. ISBN 1-903496-55.
- HERING, J.G. AND INGOLD, K.M. 2012. Water Resources Management: What Should Be Integrated?. *Science*. v. 336, p.1234-1235.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Censo Demográfico 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/pt/>>. Acesso em Setembro de 2014.
- JIA, X.; LI, C.; CAI, Y.; WANG, X. SUN, L. 2015. An improved method for integrated water security assessment in the Yellow River basin, China. *Stoch Environ Res Risk Assess*. v. 29, p. 2213-2227.
- KAIN, J.H., LARONDELLE, N.; HAASE, D.; KACZOROWSKA, A. 2016. Exploring local consequences of two land-use alternatives for the supply of urban ecosystem services in Stockholm year 2050. *Ecological Indicators*. v. 70, p. 615-629.
- KOSCHKE, L.; LORZ, C.; FÜRST, C.; LEHMANN, T.; MAKESCHIN, F. 2014. Assessing hydrological and provisioning ecosystem services in a case study in Western Central Brazil. *Ecological Processes*. v. 3, n. 2, 15p.
- LARONDELLE, N.; HAASE, D. 2013. Urban ecosystem services assessment along a rural-urban gradient: a cross-analysis of European cities. *Ecological Indicators*. v. 29, p. 179-190.
- LAUTZE J, MANTHRITHILAKE H. 2012. Water security: old concepts, new package, what value?. *Natural Resources Forum*. v. 36, p. 76-87.
- LIU, K.K.; LI, C. H.; CAI, Y. P.; XU, M.; XIA, X. H. 2014. Comprehensive evaluation of water resources security in the Yellow River basin based on a fuzzy multi-attribute decision analysis approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci*. v. 18, p. 1605-1623.

- LANGFORD, M.; UNWIN, D.J. (1994) – Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system. *Cartographic Journal* 31(1): 21-26.
- LORZ, C. ; ABBT-BRAUN, G. ; BAKKER, F. ; BORGES, P. ; BÖRNICK, H. ; FORTES, L. ; FRIMMEL, F. H. ; GAFFRON, A. ; HEBBEN, N. ; HÖFER, R. ; MAKESCHIN, F. ; NEDER, K. ; ROIG, H. L. ; STEINIGER, B. ; STRAUCH, M. ; WALDE, D. ; WEI, H. ; WORCH, E. ; WUMMEL, J. 2011. Challenges of an integrated water resource management for the Distrito Federal, Western Central Brazil: climate, land-use and water resources. *Environmental Earth Sciences*, v. Online, p. 1866-6280.
- C. LORZ; F. MAKESCHIN; H. WEISS (eds.). 2014. *Integrated water resources management in Brazil*. IWA Publishing, London, UK. 148 p.
- LUNDQVIST, J. APPASAMY, P. PRAKASH, N. 2003. Dimensions and approaches for Third World city water security. *Philos Trans R Soc Long B Biol Sci*. v. 358, p. 1985-1996.
- MA, H.Q., LIU, L., CHEN, T., 2010. Water security assessment in Haihe River Basin using principal component analysis based on Kendall tau. *Environmental Monitoring and Assessment*. v.163, p. 539-544.
- MAHASE, M.J.; MUSINGWINI, C.; NHLEKO, A.S. 2016. A survey of applications of multi-criteria decision analysis methods in mine planning and related case studies. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.* [online]. 2016, v.116, n.11, p.1051-1056.
- MELO, M. C. 2016. *Segurança hídrica para abastecimento urbano: proposta de modelo analítico e aplicação na bacia do rio das velhas, Minas Gerais*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 495p.
- MENEZES, P. H. B. J.; ROIG, H. L. ; ALMEIDA, T. ; NETO, G. B. S. ; ISAIAS, F. B. 2012. Análise da evolução do padrão de uso e ocupação do solo na bacia de contribuição do lago Paranoá - DF. *Estudos Geográficos (UNESP)*, v. 8, p. 88.
- NDWAC - NATIONAL DRINKING WATER ADVISORY COUNCIL. 2005. Draft Report, 2005. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em Setembro de 2014.
- NORMAN, E., BAKKER, K., COOK, C., DUNN, G., ALLEN, D., 2010. *Water Security: A Primer Program on Water Governance*. UBC, Vancouver, p. 56.
- OCDE, Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. 2013. *Water security for better lives*. OCDE Studies on Water, OCDE Publishing. 173 p.
- OCHA (2010) *Water scarcity and humanitarian action: key emerging trends and challenges*. Brief No. 4: OCHA Occasional Policy Briefing Series, Policy Development and Studies Branch, UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), Geneva. Disponível em: <<http://ochanet.unocha.org/p/Documents/OCHA%20OPB%20Water%202011Nov10%20final.pdf>>. Acesso em Setembro de 2017.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2013. *Water Security & the Global Water Agenda*. A UN-Water Analytical Brief. UN Water. Disponível em: <[http://WWW.unwater.org/downloads/analytical\\_brief\\_\\_oct2013\\_web.pdf](http://WWW.unwater.org/downloads/analytical_brief__oct2013_web.pdf)>. Acesso em Setembro de 2014.
- PAZ TENORIO, J. A.; GONZALEZ HERRERA, R.; GOMEZ RAMIREZ, M.; VELASCO HERRERA, J. A. 2017. Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Invest. Geog* [online]. 2017, n.92. ISSN 2448-7279.
- RATNAWEERA, P.; KULATUNGA, G.; SRIYANANDA, H. 2006. Modelling of Water Resources: Water Balance, Water Use and Water Security. In: 32nd WEDC International Conference, Colombo, Sri Lanka. p. 271-274.
- RÉQUIA, W. J.; ROIG, H. L.; KOUTRAKIS, P.; ROSSI, M. S. 2016. Mapping alternatives for public policy decision making related to human exposures from air pollution sources in the Federal District, Brazil. *Land Use Policy*. v. 59, p. 375-385.
- RODRIGUES, D. B. B; GUPTA, H. V.; MEDIONDO, E. M. 2014. A blue/green water-based accounting framework for assessment of water security. *Water Resources Research*. v. 50, n. 9, p. 7187-7205.
- RODRIGUES, D. B. B; GUPTA, H. V.; MEDIONDO, E. M. 2015. Assessing uncertainties in surface water security: An empirical multimodel approach. *Water Resources Research*. v. 51, n. 11, p. 9013-9028.

- RODRIGUES, M. 2017. Caesb volta a interromper oferta de água em áreas de Sobradinho e Planaltina, no DF. Disponível em: <<https://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/caesb-volta-a-interromper-oferta-de-agua-em-areas-de-sobradinho-e-planaltina-no-df.ghtml>>. Acesso em Outubro de 2017.
- RODRÍGUEZ, N.; ARMENTERAS, D.; RENATA, J. 2015. National ecosystem services priorities for planning carbon and water resource management in Colombia. *Land use Policy*. v. 42, p. 609-618.
- SAATY, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process and Health Care Problems*. New York: McGraw-Hill.
- SCS, Soil Conservation Service. 1972. Hydrology. *National Engineering Handbook: Section 4*.
- SHAO, D.; YANG, F.; XIAO, C.; TAN, X. 2012. Evaluation of water security: an integrated approach applied in Wuhan urban agglomeration, China. *Water Science and Technology*. v. 66, n. 1, p. 79-87.
- SILVA, W.T.P.; SOUZA, M.A.A. 2013. Modelo para o combate a crises de abastecimento urbano de água. *Paranoá, Brasília*, n. 10, p. 95-104.
- TOAKARNIA, M. 2017. Rodízio emergencial deixa áreas de Brasília sem água por 48 horas. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-10/rodizio-emergencial-deixa-areas-de-brasilia-sem-agua-por-48-horas>>. Acesso em Outubro de 2017.
- TRNEE, Table Ronde Nationale Pour L'environnement et L'économie. 2003. L'état du débat sur l'environnement et l'économie. Les indicateurs d'environnement et de développement durable pour le Canada. Ottawa, Éditions Renouf.
- UNESCO, Organização Das Nações Unidas Para Educação, Ciência E Cultura. 2013. *Water Security & the Global Water Agenda: a UN-Water analytical brief*. United Nations University Institute for Water, Environment & Health. Canadá. 47p.
- VOROSMARTY, C.J., MCINTYRE, P.B., GESSNER, M.O., DUDGEON, D., PRUSEVICH, A., GREEN, P., GLIDDEN, S., BUNN, S.E., SULLIVAN, C.A., LIERMANN, C.R., DAVIES, P.M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*. v. 467, p. 555-561.
- WATERAID. 2012. *Estrutura de Segurança Hídrica*. Londres: WaterAid. 64 p.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture handbook*. Washington, DC: USDA, n. 537, 59p.
- WHO, World Health Organization. 2005. *Making water a part of economic development: The economic benefits of improved water management services*. Report commissioned by the Governments of Norway and Sweden. Geneva, Switzerland: World Health Organisation. 48p.
- XIAO-JUN, W.; JIA-YUN, Z.; SHAHID, S.; XING-HUI, X.; RUI-MIN, H.; MAN-TING, S. Catastrophe theory to assess water security and adaptation strategy in the context of environmental change. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. v. 19, p. 463-477.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A situação vivenciada em relação aos recursos hídricos pelo Distrito Federal atualmente é crítica, séria e extremamente delicada. Diante de todas as informações contidas nessa pesquisa, assim como em outros trabalhos e dados analisados é urgente que ações adequadas e eficientes sejam tomadas. Assim, realizar pesquisas nas diversas áreas do conhecimento, envolver a população e promover discussões são alternativas que impulsionarão a busca por soluções.

Dessa maneira, acredita-se que o ISH Urb é um instrumento pertinente para auxiliar no processo de tomada de decisão. A utilização do índice como suporte para a gestão pública pode subsidiar ações preditivas que apontem os problemas mais relevantes e possibilite a partir de sua análise ações que efetivamente possam saná-los ou mitigá-los, não só no curto, mas também no longo prazo.

Além de apresentar o ISH Urb, com aplicação de estudo de caso para o Distrito Federal, esse trabalho conseguiu elaborar uma metodologia conceitual que permite a sua replicação para áreas e períodos de tempo diferentes. Considerando que os indicadores apontados possibilitam também outras avaliações.

Dentre as principais averiguações, é relevante evidenciar a necessidade de uma análise conjunta dos resultados gerados e dos seus principais impactos pelos órgãos públicos que estão relacionados a esta temática. A abordagem proposta aqui analisou a área urbana sobre duas perspectivas os fatores locais que influenciam ou afetam o ciclo da água e, por conseguinte a segurança hídrica (ecossistemas e socioambiental). Bem como, os aspectos hidrológicos e principais estressores dos mananciais que alimentam essas áreas urbanas (abastecimento).

Tendo esse quadro em mente, é notório que tanto as alterações causadas dentro do ambiente urbano quanto na área dos mananciais se impactam mutuamente, numa proporção ainda não completamente mensurada. Como o objeto em questão eram as áreas urbanas, acredita-se que essa abordagem foi capaz de avaliar a segurança hídrica dessas áreas. Diante disso, é importante uma análise que integre a área urbana, os mananciais (compreendidos nela ou não), assim como a área rural como um todo, para se ter uma noção mais clara e abrangente da situação. Assim, tal estudo se apresenta como uma opção futura de aplicação.

Cabe ainda considerar que tanto para os indicadores quanto para os índices secundários (IPSEU e ISAAU) e para o índice de segurança hídrica urbana, não foram

realizadas análises de incerteza, para avaliar o nível de confiabilidade das informações geradas. Dessa forma, mesmo com os resultados tendo apresentado grande coerência com os acontecimentos atuais, é necessário que sejam realizadas avaliações dessas incertezas. Assim, essas avaliações deverão ser efetuadas em oportunidades futuras.

Além da construção de indicadores e índices que fossem capazes de avaliar a segurança hídrica das áreas urbanas, buscar uma ligação entre a pesquisa desenvolvida e os órgãos governamentais ligados à temática abordada foi uma premissa básica para a realização do trabalho. Dessa maneira, buscou-se uma forma de aproximação com o poder público na tentativa de tentar fortalecer o trabalho e, na medida do possível, desenvolvê-lo de modo que o mesmo pudesse ser utilizado no processo de tomada de decisão.

Conforme abordado no capítulo dois, uma carência identificada, por esse e outros trabalhos, apontam para a falta de uma unidade de análise espacial que possa ser utilizada nos diferentes setores do poder público, preservadas as diversidades e peculiaridades de cada segmento. Dessa forma, a abordagem de tipos de estruturas urbanas (UST) foi uma proposta desenvolvida no intuito de integrar a análise de algumas informações. Tal abordagem, já vem sendo utilizada por alguns órgãos como SEMA, SEGETH e CODEPLAN e também já vem sendo pensado como uma unidade de análise socioeconômica em detrimento do setor censitário utilizado pelo IBGE, visto a sua aderência e capacidade de perceber as variabilidades desta área de pesquisa.

Por último, deve-se ressaltar que na construção e ponderação dos indicadores para o ISH Urb técnicos e gestores de setores governamentais como ADASA, SEMA, CODEPLAN, SEGETH e CAESB participaram efetivamente. Porém, durante o processo de análise destes indicadores, critérios e índice não foi possível dar continuidade aos debates em função do tempo para conclusão da tese. Mas estes órgãos estão abertos a manutenção e ampliação das discussões sobre o tema.

## APÊNDICE A

Nesta seção são apresentados as características dos padrões urbanos presentes no DF (Quadro 7.1), a definição desses padrões (Quadro 7.2), a divisão do DF em macroáreas de acordo com o PDOT (Quadro 7.3) e a tabela com o valor das porcentagens de cada padrão UST para cada RA do DF (Tabela 7.1), essas informações se referem ao capítulo 2.

Para o capítulo 3 constam as tabelas com os valores médios do IPSEU para cada UST (Tabela 7.2) e por RA (Tabela 7.3). Referente ao capítulo 4 apresenta-se as informações acerca dos valores médios do ISSAU identificados por RA (Tabela 7.4). Por fim, são apresentadas as tabelas com os valores médios para o ISH Urb, primeiramente por UST (Tabela 7.5) e depois por RA (Tabela 7.6), vinculadas ao capítulo 5.

Quadro 7.1: Critérios para a definição das estruturas residenciais das classes Áreas Residenciais e Áreas em Consolidação.

US T	Densidade	Padrão	Tamanho do lote	Andares	Quintal	Material de Cobertura	Pavimentação
RH1	Alta taxa de Ocupação	Baixo Padrão	Até 250m <sup>2</sup>	Geralmente 1 andar, algumas residências com 2	Não possui	Maior parte das casas com telhado de amianto	Possui
RH2	Média taxa de Ocupação	Médio Padrão	De 250 m <sup>2</sup> até 500 m <sup>2</sup>	1 ou 2 andares	Pode apresentar alguns jardins e piscinas	Misto de telhados de amianto e argila	Possui
RH3	Média taxa de Ocupação	Alto Padrão	De 500 m <sup>2</sup> até 2000 m <sup>2</sup>	A maioria com 2 andares	Jardim e piscinas privadas	Geralmente telhados de argila	Possui
RH4	Média taxa de Ocupação	Muito Alto Padrão	De 1000 m <sup>2</sup> até 2000 m <sup>2</sup>	A maioria com 2 andares	Jardim e no mínimo uma piscina	Geralmente telhados de argila	Possui
RH5	Baixa taxa de Ocupação	Muito Alto Padrão	Maior que 2000 m <sup>2</sup>	A maioria com 2 andares	Jardim e piscinas privadas	Geralmente telhados de argila	Possui
RM	Alta taxa de Ocupação	Alto Padrão	De 250 m <sup>2</sup> até 500 m <sup>2</sup>	Até 3 andares/ Até 6 andares	Não possui	Misto de telhados de amianto e argília	Possui

RB1	Media taxa de Ocupação	Médio Padrão	não se aplica	Até 6 andares	não se aplica	Não se aplica	Possui
RB2	Media taxa de Ocupação	Alto Padrão	não se aplica	Até 6 andares	não se aplica	Não se aplica	Possui
RB3	Media taxa de Ocupação	Alto Padrão	não se aplica	Maior que 6 andares	não se aplica	Não se aplica	Possui
SH1	Baixa taxa de Ocupação	Baixo, médio ou alto	Maior que 2000 m <sup>2</sup>	Geralmente 1 andar	Área com característica de chácara	Misto de telhados de amianto e argila	Pode possuir ou não
SH2	Baixa taxa de Ocupação	Indefinido	Maior que 2000 m <sup>2</sup>	Sem padrão definido	Pode possuir	Misto de telhados de amianto e argila	Pode possuir ou não
SH4	Média taxa de Ocupação	Baixo ou Médio Padrão	Acima de 250 m <sup>2</sup>	Geralmente 1 andar	Possui quintal, porém com diversos aspectos diferentes	Misto de telhados de amianto e argila	Não possui
SH3	Alta taxa de Ocupação	Muito Baixo Padrão	Abaixo de 250 m <sup>2</sup>	Geralmente 1 andar	Não possui	Geralmente casas de material simples e telhado de amianto	Pode possuir ou não

■ Área Residenciais    ■ Áreas de Transição (\* O tipo de padrão é uma análise qualitativa que leva em consideração as demais características presentes no padrão).

Quadro 7.2. Descrição das classes apresentadas na legenda do mapeamento de tipos de estruturas urbanas do DF.

<b>Áreas Abertas</b>		
<b>Natural</b>	<b>Espaços Remanescentes (RS)</b>	Trata-se de áreas de grande extensão, assim como pequenas áreas inseridas na malha urbana, mas com perspectivas de conservação ambiental e formação de corredores ecológicos, são constituídas de áreas com remanescentes de vegetação natural, primordialmente matas ciliares e de galeria, campo e cerrado.
<b>Antropizada</b>	<b>Espaços Verdes (GS)</b>	Áreas verdes podendo se tratar de áreas ainda não urbanizadas ou áreas verdes entre as faixas de urbanização.
	<b>Espaços Comunitários</b>	Áreas de lazer como parques, praças e campos de futebol. Trata-se de espaços livres de uso coletivo.

	<b>Espaços Agropecuários (AS)</b>	Espaços verdes alterados pela ação humana, geralmente com características de áreas rurais, tais como áreas com implementação de culturas e pastos.
	<b>Espaços Degradados (DS)</b>	Áreas degradadas: cascalheiras/mineração abandonada; solo exposto e terrenos urbanos sem manejo adequado.
<b>Áreas de Uso Comum</b>		
<b>Mobilidade</b>	<b>Sistema Viário (T)</b>	Principais vias de acesso e obras de arte (ex: viadutos, pontes, rotatórias).
<b>Espaços Públicos</b>	<b>Equipamentos Comunitários (CE)</b>	Edifícios públicos e centros de serviços como escolas, igrejas, hospitais, cemitérios, centros públicos de esporte e lazer.
<b>Áreas em Consolidação</b>		
<b>Residencial Unifamiliar</b>	<b>SH1</b>	Moradias isoladas, tamanho pequeno. Áreas com característica rurais em área urbanas. Criadas através do parcelamento de chácaras ou grandes fazendas. Terreno originalmente maior que 2000 m <sup>2</sup> , tipo de edificação geralmente de um andar.
	<b>SH2</b>	Áreas em processo avançado ou inicial de instalação. Possuem vias não pavimentadas demarcadas. Podem apresentar casas ou casas e lotes não delimitados (sendo a maior parte não habitada). Terreno originalmente maior que 2000 m <sup>2</sup> , mas em processo de subdivisão, edificações sem padrão definido.
	<b>SH3</b>	Casas construídas com materiais simples, em processo de instalação de infraestrutura (ex: pavimentação). Terreno com tamanho inferior a 250 m <sup>2</sup> , geralmente com edificações de um andar.
	<b>SH4</b>	Áreas em processo final de instalação. Este padrão já possui características de uma classe residencial consolidada (RH1 a RH5), porém não possui infraestrutura (ex: ruas sem pavimentação). Pode apresentar lotes de tamanhos variados geralmente acima de 250 m <sup>2</sup> , edificações com um ou dois andares.
<b>Obras</b>	<b>Urbanização (URB)</b>	Áreas designadas para novas áreas urbanas, em processo de construção civil.
<b>Áreas Residenciais</b>		
<b>Unifamiliar</b>	<b>RH1</b>	Áreas razoavelmente homogêneas com altas taxas de urbanização. A maioria das casas tem cobertura de telhas de amianto. Terreno de até 250 m <sup>2</sup> , edificações geralmente com um andar e algumas com dois.



	<b>RH2</b>	Tamanho das construções heterogêneo, com algumas piscinas e pequenos jardins. Alguns telhados de amianto e outros de argila. Terreno com tamanho entre 250 m <sup>2</sup> e 500 m <sup>2</sup> , as edificações variam com um ou dois andares.
	<b>RH3</b>	Para a classe média-alta, padronizado, geralmente casas de famílias de alta qualidade. Algumas pequenas piscinas privadas. Geralmente em condomínios. O tamanho do terreno varia de 500 até 2000 m <sup>2</sup> , a maior parte das edificações possui dois andares.
	<b>RH4</b>	Para a classe média-alta, padronizado. Pelo menos uma piscina por casa. Casas com acomodações luxuosas. Equipamentos e instalações no mais alto padrão. Terrenos com tamanho de 1000 até 2000 m <sup>2</sup> , a maioria das edificações possui dois andares.
	<b>RH5</b>	Para a classe média-alta, geralmente casas de famílias de alta qualidade. Algumas piscinas privadas. Geralmente em condomínios. Terrenos com tamanho superior a 2000 m <sup>2</sup> , as edificações em sua maioria possuem dois andares.
<b>Misto</b>	<b>RM</b>	Área mista apresenta características de zona nobre com apartamentos de até 6 andares e casas com padrão das construções heterogêneo, alguns telhados de amianto e outros de argila. O tamanho do terreno varia entre 250 m <sup>2</sup> e 500 m <sup>2</sup> , com edificações de um ou dois andares.
<b>Multifamiliar</b>	<b>RB1</b>	Prédios de até 6 andares em áreas legalmente destinadas para esta finalidade.
	<b>RB2</b>	Prédios de até 6 andares em áreas legalmente destinadas para esta finalidade, cercados por uma faixa verde.
	<b>RB3</b>	Edifícios altos de até 35 andares. Condomínio com estrutura construída (piscina, campos de futebol, churrasqueira). Algumas lojas no piso térreo. Construção de bairros altos. Distritos em crescimento.
<b>Áreas de Comércio e Indústria</b>		
<b>Comércio e Serviços</b>	<b>Comércio (C1)</b>	Áreas destinadas exclusivamente ao setor comercial.
<b>Indústria</b>	<b>Indústria (I1)</b>	Setor de Indústrias e Abastecimento (SIA). Área destinada especificamente para a indústria e fornecimento de alimentos. No entanto, há o desenvolvimento de atividades comerciais como a venda de automóveis e materiais de construção. A maioria possui terreno superior a 2000 m <sup>2</sup> e apresentam cobertura de metal.
<b>Áreas Mistas (Comércio, indústria e residências)</b>		
<b>Mista</b>	<b>Comércio Misto (C2)</b>	Áreas comerciais, geralmente com três andares. Primeiro e segundo andar comercial e terceiro residencial. Locais ao longo de ruas e avenidas principais, edifícios de armazenamento e/ou fábricas.

	<b>Industria Mista (I2)</b>	Setor da indústria e setor de oficinas juntamente com o sector comercial e, em alguns casos residências nos andares superiores dos edifícios. Geralmente edifícios com até quatro andares.
--	-----------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Quadro 7.3: Divisão da área urbana do DF de acordo com o PDOT.

<b>Classe</b>	<b>Definição</b>
<b>Zona Urbana do conjunto tombado</b>	Poligonal da área tombada em âmbito federal e na esfera distrital. O tombamento do conjunto urbanístico de Brasília é apenas urbanístico. O que está sob proteção é a concepção urbana da cidade - monumental, gregária, residencial e bucólica.
<b>Zona Urbana Consolidada</b>	Núcleos urbanos implantados ou em processo de implantação, servidos de infraestrutura urbana e equipamentos comunitários, com média e baixa densidade populacional, e alguns enclaves de alta densidade, cuja ocupação urbana deve ser consolidada.
<b>Zona Urbana de Uso Controlado I</b>	Sistema ambiental-paisagístico composto por unidades de conservação e por espaços livres públicos e privados, que envolvem o conjunto urbano tombado.
<b>Zona Urbana de Uso Controlado II</b>	Áreas de significativa sensibilidade ambiental, que exigem ocupação e uso urbano disciplinado no sentido de proteger os atributos naturais, especialmente os solos e os recursos hídricos, superficiais e subterrâneos.
<b>Zona de Contenção Urbana</b>	Áreas situadas nos limites entre as macrozonas urbana e rural, sujeitas à pressão urbana. As ações e diretrizes definidas para ela buscam estabelecer um gradiente decrescente para a ocupação urbana, criando uma zona de amortecimento entre o uso urbano mais intenso e a zona rural.
<b>Zona Urbana de Expansão e Qualificação</b>	Áreas destinadas no PDOT/1997 para o uso rural, que sofreram processo de ocupação urbana mediante a implantação de assentamentos informais.

Fonte: (Portaria nº 314/1992; lei distrital nº 803/2009)

Tabela 7.1: Proporção em área das classes UST por Região Administrativa.

RA/UST	AS	GS	RS	DS	CS	RH1	RH2	RH3	RH4	RH5	RM	RB1	RB2	RB3	URB	SH1	SH2	SH3	SH4	CE	T	C1	I1	C2	I2	
Brasília	1,7	23,2	14,3	1,1	2,9	1,3	0,9	0,1			0,9	0,2	8,8		1,6	2,6	1,0	0,1		27,1	7,3	1,2		2,8	0,0	
Gama	3,9	14,0	14,2	3,8	2,1	5,0	17,6	7,0				0,5		0,0		16,1	0,1			5,7	2,0	0,2	0,8	3,9	2,7	
Taguatinga	2,1	4,0	5,1	3,1	1,5	11,5	25,2	4,1				1,6		0,1	0,3	1,6	0,6		1,7	11,1	7,3	2,9		9,1	7,0	
Brazlândia	0,4	9,0	16,1	3,7	7,1	31,0	5,0					0,4			0,5	3,6	4,1			9,4	2,2		1,4	6,0	0,2	
Sobradinho	5,5	3,4	10,2	0,8	1,0	0,5	30,0	2,5				1,9				9,2	11,0			4,7	5,8		0,1	9,4	3,9	
Planaltina	16,1	13,2	18,1	3,2	1,6	9,7	13,9	1,3				0,1			0,0	12,6	3,0	0,1	0,5	3,8	1,1			0,6	0,6	
Paranoá	0,3	1,5	76,8	0,3	0,6	2,4		2,1		0,1		0,0				12,4	1,5		0,1	0,7	0,5			0,3	0,1	
Núcleo Bandeirante		6,0	0,9	5,3	4,5	19,3	2,6					0,3					7,6	5,3		12,5	13,6	10,7		8,8	2,6	
Ceilândia	6,8	5,7	4,7	3,4	1,6	34,5	1,0					0,0		0,0	0,6	2,1	0,7	11,4	1,6	9,1	7,1		2,9	4,4	1,4	
Guará		16,6	7,3	13,9	1,0	19,2	6,9	1,0				2,8		1,8		1,7	1,6	0,4		11,5	4,2	4,6	2,9	2,5		
Cruzeiro		14,8		0,1	3,1	19,4	7,4					22,3								9,3	11,2				10,4	
Samambaia	15,9	14,5	4,1	4,0	1,0	23,7		1,3				0,4		0,0	0,9	5,6	1,4	0,0		8,7	8,6		0,4	7,4	1,9	
Santa Maria	20,0	11,3	40,5	2,0	0,8	5,2	0,8	0,3				0,2			0,0	5,9	3,3		0,7	1,4	0,9		1,6	1,6	0,6	
São Sebastião	25,1	9,6	40,8	3,6	0,2	5,5	0,3	0,1							0,2	9,9	0,8	1,0	0,3	1,8	0,7		0,1	0,1	0,0	
Recanto das Emas	16,2	3,4	6,0	2,9	1,7	19,9	1,0								0,7	31,0		1,9		4,7	4,6		2,8	2,8	0,2	
Lago Sul		1,6	39,1	0,6					39,6							0,2				15,1	3,2				0,4	
Riacho Fundo		29,8	5,2	7,3	0,7	15,5	9,6					0,8				0,4	1,6	0,4		13,8	6,6	2,5	0,2	5,5	0,1	
Lago Norte		20,1	12,5	0,6	0,3			0,7	32,6						1,1	14,5	5,1			4,5	5,5			2,2	0,2	
Candangolândia		25,6	37,4	4,3	0,4	10,0	2,0										1,1	0,3		11,9	4,1	1,9		1,0		
Águas Claras	0,4	13,6	8,8	8,9	0,2	2,8	23,3	6,2				0,2		12,3	1,0	2,9	3,4	0,7		4,8	4,2	1,9	0,6	3,1	0,9	
Riacho Fundo II		16,5		39,8	1,1	20,2										5,9		1,2		2,3	10,6	0,4			2,2	
Sudoeste/Octogonal		22,3	10,2	0,9	0,5							4,8	21,6		1,6					2,7	9,8				16,4	8,9
Varjão		2,6	43,4	5,4	0,7	16,8									0,0	21,2	1,7			1,8	4,0				2,3	0,1
Park Way	0,5	25,4	22,7	1,1	0,7	0,0	0,1	14,1		7,7						8,5	16,2	0,0		0,4	2,3		0,2	0,2	0,1	
Estrutural SCIA		9,7	19,5	21,5	0,4										0,0	0,7	0,4	21,7		4,3	2,3		18,3	1,0		
Sobradinho II	8,0	1,4	33,0	2,3	0,5	3,9	13,1	13,8							0,1	10,6	3,2	0,8	1,4	2,9	3,4		0,4	0,9	0,3	
Jardim Botânico	21,5	2,3	54,3	1,0	0,1		0,2	5,6		0,4					0,0	7,2	6,9			0,0	0,5				0,1	
Itapoã		0,1	30,1	2,0			2,6	13,3								30,4	4,8	13,4		0,3	1,8		0,1	0,5	0,5	
SIA		3,9	46,3	8,2	0,0		1,6									0,2	0,4	0,5		12,8	4,9	1,3	14,3	0,0	5,7	
Vicente Pires		15,0	6,3	6,4	4,1	0,2	33,6	13,6		0,2		0,1				5,8	4,1	0,9		1,0	2,1	1,7	0,5	4,0	0,3	
Fercal			60,8	1,2	0,1	3,0										3,5	13,1	6,2		0,1	2,2		9,1	0,2	0,6	

Tabela 7.2: Valor médio do índice de produção de serviços ecossistêmicos (IPSEU) por UST.

UST	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
RS	0,16	0,87	0,58	0,12	20,40
GS	0,16	0,83	0,61	0,09	14,48
CS	0,15	0,77	0,45	0,08	16,75
AS	0,18	0,82	0,52	0,07	13,89
DS	0,08	0,78	0,34	0,08	23,85
CE	0,14	0,73	0,38	0,06	16,76
T	0,10	0,74	0,32	0,06	19,59
I2	0,14	0,67	0,30	0,05	15,96
C1	0,15	0,67	0,38	0,05	13,79
I1	0,12	0,68	0,36	0,05	15,25
C2	0,14	0,70	0,31	0,06	18,04
RH1	0,12	0,71	0,28	0,05	17,20
RH2	0,12	0,71	0,33	0,06	18,70
RH3	0,14	0,77	0,37	0,07	19,92
RH4	0,27	0,75	0,46	0,06	12,67
RH5	0,23	0,70	0,48	0,06	12,81
RM	0,32	0,50	0,46	0,02	5,18
RB1	0,20	0,65	0,39	0,06	14,94
RB2	0,24	0,72	0,50	0,04	7,90
RB3	0,14	0,64	0,30	0,04	13,33
SH1	0,17	0,81	0,50	0,09	18,18
SH2	0,19	0,74	0,46	0,08	18,06

Tabela 7.3: Valor médio do índice de produção de serviços ecossistêmicos (IPSEU) por região administrativa.

Região Administrativa	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
SIA	0,18	0,80	0,54	0,15	27,56
Candangolândia	0,18	0,75	0,53	0,14	25,46
Park Way	0,16	0,80	0,53	0,11	20,73
Jardim Botânico	0,19	0,87	0,53	0,13	24,58
Paranoá	0,19	0,82	0,53	0,10	18,41
Lago Sul	0,19	0,81	0,52	0,13	23,94
Santa Maria	0,10	0,80	0,52	0,14	26,66
São Sebastião	0,21	0,86	0,51	0,10	19,51
Brasília	0,17	0,79	0,50	0,13	26,13
Itapoã	0,20	0,80	0,50	0,14	27,84
Sobradinho II	0,18	0,86	0,50	0,13	26,85
Sudoeste_Octogonal	0,16	0,74	0,48	0,14	29,62
Lago Norte	0,20	0,81	0,48	0,13	28,10
Planaltina	0,14	0,77	0,48	0,13	26,71
Fercal	0,19	0,70	0,47	0,09	19,65

Brazlândia	0,25	0,74	0,45	0,12	26,29
Guará	0,17	0,81	0,45	0,13	29,66
Cruzeiro	0,28	0,72	0,44	0,11	24,46
Sobradinho I	0,20	0,73	0,43	0,10	24,08
Recanto das Emas	0,15	0,75	0,41	0,12	28,99
Estrutural_SCIA	0,14	0,74	0,41	0,15	35,87
Gama	0,11	0,73	0,40	0,14	33,99
Varjão	0,16	0,69	0,40	0,10	24,13
Samambaia	0,12	0,73	0,38	0,14	35,57
Vicente Pires	0,12	0,72	0,37	0,12	33,67
Águas Claras	0,15	0,66	0,36	0,10	27,65
Núcleo Bandeirante	0,14	0,73	0,35	0,09	26,83
Riacho Fundo I	0,13	0,64	0,34	0,12	35,43
Taguatinga	0,14	0,67	0,32	0,09	27,54
Riacho Fundo II	0,08	0,66	0,31	0,12	40,05
Ceilândia	0,12	0,64	0,30	0,10	33,56

Tabela 7.4: Valor médio do índice de situação do abastecimento de água urbano (ISSAU) por região administrativa.

<b>Região Administrativa</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
Cruzeiro	0,47	0,57	0,56	0,03	5,33
Sudoeste/Octogonal	0,38	0,57	0,54	0,04	7,61
Sobradinho I	0,37	0,54	0,54	0,03	5,00
Park Way	0,35	0,54	0,54	0,01	2,73
Estrutural/SCIA	0,44	0,57	0,53	0,04	7,12
Lago Sul	0,34	0,60	0,52	0,10	19,48
Lago Norte	0,35	0,57	0,52	0,08	15,93
Planaltina	0,39	0,57	0,51	0,05	9,94
Itapoã	0,36	0,57	0,51	0,04	8,79
Brazlândia	0,46	0,52	0,50	0,02	4,51
Brasília	0,35	0,60	0,50	0,08	16,62
SIA	0,47	0,57	0,50	0,04	8,44
Gama	0,32	0,51	0,49	0,05	10,11
Sobradinho II	0,35	0,54	0,49	0,06	11,54
Varjão	0,35	0,57	0,48	0,11	21,79
Guará	0,37	0,57	0,47	0,02	3,91
Candangolândia	0,37	0,49	0,47	0,03	6,92
Vicente Pires	0,44	0,53	0,46	0,01	2,98
Ceilândia	0,34	0,52	0,46	0,01	3,25
Taguatinga	0,35	0,50	0,46	0,01	2,82
Núcleo Bandeirante	0,37	0,49	0,46	0,02	5,12
Águas Claras	0,35	0,54	0,46	0,02	3,47
Samambaia	0,37	0,50	0,45	0,03	7,08

Jardim Botânico	0,31	0,60	0,45	0,11	25,00
Santa Maria	0,35	0,56	0,44	0,04	10,06
Recanto das Emas	0,32	0,51	0,43	0,02	5,71
Riacho Fundo II	0,37	0,46	0,43	0,04	10,44
Riacho Fundo I	0,26	0,46	0,43	0,06	14,51
Paranoá	0,36	0,57	0,39	0,06	14,48
São Sebastião	0,28	0,60	0,38	0,07	18,57

Tabela 7.5: Valor médio do índice de segurança hídrica urbana ISH Urb por UST.

UST	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
RS	0,36	0,67	0,53	0,05	9,75
GS	0,37	0,66	0,55	0,05	9,37
CS	0,37	0,61	0,52	0,05	9,10
DS	0,32	0,59	0,47	0,05	10,31
AS	0,37	0,63	0,52	0,05	9,30
CE	0,33	0,59	0,48	0,06	11,59
T	0,33	0,61	0,47	0,04	9,47
C1	0,34	0,56	0,49	0,04	8,11
I1	0,40	0,57	0,50	0,03	6,72
C2	0,30	0,56	0,47	0,04	7,53
I2	0,27	0,55	0,47	0,04	8,23
RH1	0,29	0,54	0,46	0,02	5,35
RH2	0,32	0,57	0,47	0,03	6,62
RH3	0,30	0,58	0,47	0,04	7,81
RH4	0,36	0,60	0,55	0,03	5,37
RH5	0,30	0,55	0,52	0,02	4,09
RM	0,54	0,56	0,55	0,01	1,24
RB1	0,34	0,56	0,51	0,03	6,69
RB2	0,40	0,59	0,56	0,01	2,53
RB3	0,32	0,51	0,47	0,02	3,92
SH1	0,28	0,62	0,45	0,06	13,24
SH2	0,30	0,60	0,47	0,06	12,00
SH3	0,27	0,51	0,43	0,04	8,84
SH4	0,34	0,50	0,42	0,03	6,19
URB	0,34	0,56	0,48	0,05	10,40

Tabela 7.6: Valor médio do índice de segurança hídrica urbana (ISH Urb) por região administrativa.

Região Administrativa	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Park Way	0,38	0,65	0,54	0,04	7,64
Cruzeiro	0,43	0,63	0,54	0,03	6,21
Sudoeste/Octogonal	0,35	0,63	0,54	0,04	7,88

Lago Sul	0,34	0,67	0,53	0,06	10,91
Brasília	0,33	0,64	0,52	0,07	12,84
SIA	0,42	0,66	0,52	0,04	7,46
Brazlândia	0,44	0,59	0,52	0,03	6,42
Planaltina	0,34	0,64	0,51	0,04	8,42
Paranoá	0,34	0,65	0,51	0,04	8,32
Guará	0,36	0,63	0,51	0,04	8,69
Jardim Botânico	0,30	0,67	0,51	0,06	12,70
Sobradinho II	0,33	0,66	0,51	0,05	10,84
Itapoã	0,33	0,63	0,50	0,05	9,89
Candangolândia	0,35	0,60	0,50	0,05	9,60
Lago Norte	0,30	0,65	0,50	0,06	12,04
Sobradinho I	0,36	0,60	0,50	0,04	8,36
São Sebastião	0,29	0,62	0,49	0,06	11,50
Estrutural/SCIA	0,33	0,63	0,49	0,05	9,53
Varjão	0,30	0,61	0,48	0,05	10,73
Santa Maria	0,27	0,65	0,48	0,06	12,14
Águas Claras	0,32	0,58	0,47	0,03	6,87
Samambaia	0,32	0,58	0,47	0,04	8,56
Núcleo Bandeirante	0,35	0,59	0,47	0,03	6,76
Taguatinga	0,32	0,59	0,47	0,03	5,73
Gama	0,29	0,57	0,46	0,04	9,65
Ceilândia	0,33	0,56	0,45	0,03	7,11
Vicente Pires	0,34	0,60	0,45	0,04	8,64
Riacho Fundo I	0,27	0,57	0,45	0,04	8,77
Recanto das Emas	0,29	0,56	0,44	0,05	10,95
Riacho Fundo II	0,32	0,57	0,43	0,06	12,88

## **APÊNDICE B: COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO ZONAL PARA ESTIMATIVA POPULACIONAL: ESTUDO DE CASO DAS ÁREAS URBANAS DO DISTRITO FEDERAL**

### **INTRODUÇÃO**

A população urbana mundial teve um rápido crescimento passando de 746 milhões em 1950 para 3,9 mil milhões em 2014, hoje, 55% da população mundial vive em áreas urbanas, uma proporção que se espera venha a aumentar para 66% em 2050. As projeções mostram que a urbanização associada ao crescimento da população mundial poderá trazer mais 2,5 mil milhões de pessoas para as populações urbanizadas em 2050 (ONU, 2014; ONU, 2016). E de acordo com a última projeção a cerca do crescimento populacional mundial (ONU, 2015), a população atual de 7,3 mil milhões deve alcançar os 8,5 mil milhões em 2030, 9,7 mil milhões em 2050 e 11,2 mil milhões em 2100.

O aumento da população apresenta reflexos nos mais diversos setores, desde impactos econômicos e sociais, como saúde, desigualdade e desemprego (Nery *et al.*, 2007; Réquia Jr. *et al.* 2015; Cruz *et al.*, 2016), como para o meio ambiente, seja decorrente da pressão por alimentos e matéria-prima (Cardoso *et al.*, 2010; Godfray *et al.*, 2010; Wiedmann *et al.*, 2015) ou da ocupação do espaço pelo homem (Mennis 2002; Sleeter & Wood, 2006; Brandão *et al.*, 2015). Como acontece com qualquer variável geográfica, a forma como os dados demográficos são recolhidos e disponibilizados tem implicações para a sua manipulação e representação, bem como a natureza complexa dos dados da população coloca vários desafios para a modelagem e análise de sua distribuição no espaço e no tempo de forma adequada (Freire, 2007).

Na maioria dos países, assim como no Brasil, os dados acerca das características populacionais são estimados a cada dez anos pelo censo (França *et al.*, 2014). Os dados censitários são agregados em unidades de zoneamento, cujos limites são arbitrários (administrativos ou para facilitar a coleta), para preservar a individualidade e a identidade das informações (Langford & Unwin, 1994; França *et al.*, 2014).

A informação pode ser agregada em diferentes níveis (estadual, municipal, subdistrital, ou outros) de acordo com o que se almeja analisar. De uma maneira geral, o menor nível de agregação é o setor censitário. Um setor censitário pode conter muitos usos do solo, tais como residencial, recreativo, industrial/comercial e agrícola, mas irá mostrar a população distribuída uniformemente, embora a tendência seja que os habitantes se concentrem dentro da parte residencial (Sleeter, 2008).



O método mais amplamente aplicado para representar a informação demográfica é o coroplético (Richards *et al.*, 2010; Barrozo *et al.*, 2015). Mapas temáticos poligonais que são elaborados com dados quantitativos e apresentam sua legenda ordenada em classes, conforme as regras próprias de utilização da variável visual valor por meio de tonalidades de cores, ou ainda, por uma seqüência ordenada de cores que aumentam de intensidade conforme a seqüência de valores apresentados nas classes estabelecidas (Archela & Théry, 2008).

No entanto, polígonos em um mapa coroplético podem dar a noção errônea de distribuição homogênea sobre a área em situações em que a quantidade mapeada varia de acordo com sua distribuição espacial (Dorling 1993; Mennis, 2003; Barrozo *et al.*, 2015). Em mapas de população, o mapa coroplético sugere distribuição uniforme de pessoas dentro de áreas administrativas de grande dimensão, entretanto a população é conhecida por ser distribuída de forma irregular dentro das unidades administrativas (Barrozo *et al.*, 2015).

Dessa maneira, na busca por dados mais precisos e que melhor reflitam a realidade, os métodos de interpolação zonal tem sido largamente utilizados (Silva, 2009). Tais métodos de interpolação de área são projetados principalmente para o problema da transformação zonal, que envolve a transferência de dados a partir de um conjunto de unidades espaciais para outro. Esta abordagem utiliza dados populacionais do censo como entrada e aplica técnicas de interpolação ou desagregação para obter superfícies ou áreas com população refinada (Wang *et al.*, 2005; Silva, 2009).

Esses métodos são divididos em decorrência do uso ou não de dados auxiliares. Os que não utilizam informação adicional são baseados em pontos ou áreas. Os que utilizam dados auxiliares são também chamados de métodos dasimétricos (Silva, 2009). Os mapas dasimétricos podem fornecer estimativas populacionais mais precisas que os demais métodos que não utilizam informações auxiliares (Mrozinski & Cromley, 1999; Gregory, 2002; Mennis & Hultgreen, 2006).

O método dasimétrico pode ser considerado uma sofisticação de um mapa coroplético, que utiliza dados auxiliares para refinar a representação da distribuição espacial da variável analisada (Langford *et al.*, 1991; Eicker & Brewer, 2001; Mennis & Hultgren, 2006), em oposição à premissa simplificadora usual, segundo a qual a variável se distribui uniformemente pelo espaço delimitado (Umbelino, 2012).

O mapeamento dasimétrico é um tipo específico de interpolação zonal, baseada em uma técnica cartográfica, para desagregar variáveis demográficas como população

total e densidade populacional (França *et al.*, 2014). Pode ser definido ainda como um tipo de mapa para exibição de dados estatísticos de uma área por meio do particionamento do espaço em zonas, que reflitam com maior fidelidade as variações das características da área em estudo (Mennis & Hultgren, 2006).

O método dasimétrico surgiu na década de 20, sendo implementado pela primeira vez pelo cartógrafo Semenov-Tian-Shansky, em 1928, com o intuito de realizar a distribuição populacional da Rússia utilizando uma área de influência a partir do traçado de áreas edificadas (Bielecka, 2005). Desde sua primeira utilização diferentes modos de aplicação tem sido desenvolvidos (Langford & Unwin, 1994; Holloway, 1996; Mennis, 2002; Amaral *et al.*, 2005; Nery *et al.*, 2007; Freire & Gomes, 2010; Umbelino *et al.*, 2012; Bian & Wilmot, 2014; França *et al.*, 2014; Barrozo *et al.*, 2015; Zambrano, 2015).

Com a variedade de diversificações do método dasimétrico várias pesquisas (Eicher & Brewer, 2001; Mennis & Hultgreen 2006; Langford *et al.*, 2008; Silva, 2009; Bueno & D'Antona, 2014) se destinaram ao estudo dos diferentes resultados obtidos por esses métodos e em compará-los na busca de um método que seja mais adequado para sua área de estudo e conjunto de dados. Assim, este trabalho tem como objetivo comparar três diferentes abordagens do método dasimétrico para estimar a população urbana do Distrito Federal (Brasil).

## MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados a área de estudo, os principais dados, os diferentes métodos de desagregação e a abordagem de avaliação dos modelos utilizados para a realização da reamostragem dos dados populacionais do DF.

### ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal - DF está localizado entre os paralelos de 15°30' e 16°03' de latitude sul e os meridianos de 47°25' e 48°12' de longitude oeste, no Planalto Central do Brasil. Ocupa área de 5.814 km<sup>2</sup> e compreende a unidade da federação onde se situa a capital do país (Figura 8.1). A área efetivamente urbana, de acordo com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial - PDOT (SEDUMA, 2009), corresponde a 1.179,37km<sup>2</sup> o que corresponde a 20,33% do total do território. O DF possui uma divisão interna em Regiões Administrativas (RA), atualmente possui trinta e uma RAs em sua configuração.

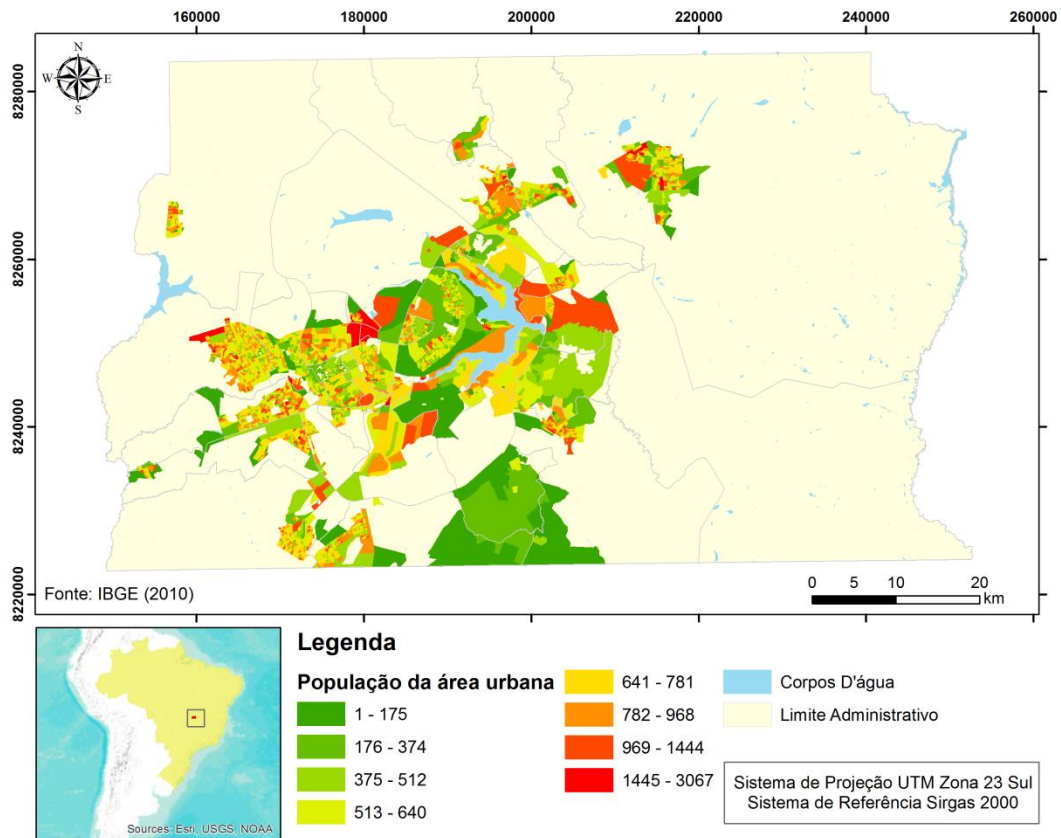


Figura 8.1: Localização da área urbana do Distrito Federal e suas Regiões Administrativas

De acordo com a última estimativa do censo (IBGE, 2010) a população do DF é de 2.570.160 habitantes, com uma densidade populacional de 444,66 hab/km<sup>2</sup>, sendo que deste montante cerca de 96% reside nas áreas urbanas (Figura 8.1). A população total estimada para o ano de 2015 é de 2.914.830 habitantes o que corresponde a um aumento de 13% em cinco anos (IBGE, 2014). A previsão é que a população terá um crescimento, para algo entorno de 3,5 milhões em 2025 e 3,7 em 2030 (IBGE, 2013).

#### ETAPAS E PROCEDIMENTOS

O fluxograma da figura 8.2 apresenta os métodos e procedimentos utilizados para a geração dos mapeamentos dasimétricos de acordo com três diferentes abordagens. Todo o procedimento foi realizado em base vetorial. De acordo com Eicher & Brewer (2001) e França *et al.* (2014) os métodos apresentaram erros menores quando desenvolvidos usando uma estrutura vetorial, embora a diferença não fosse significativa.

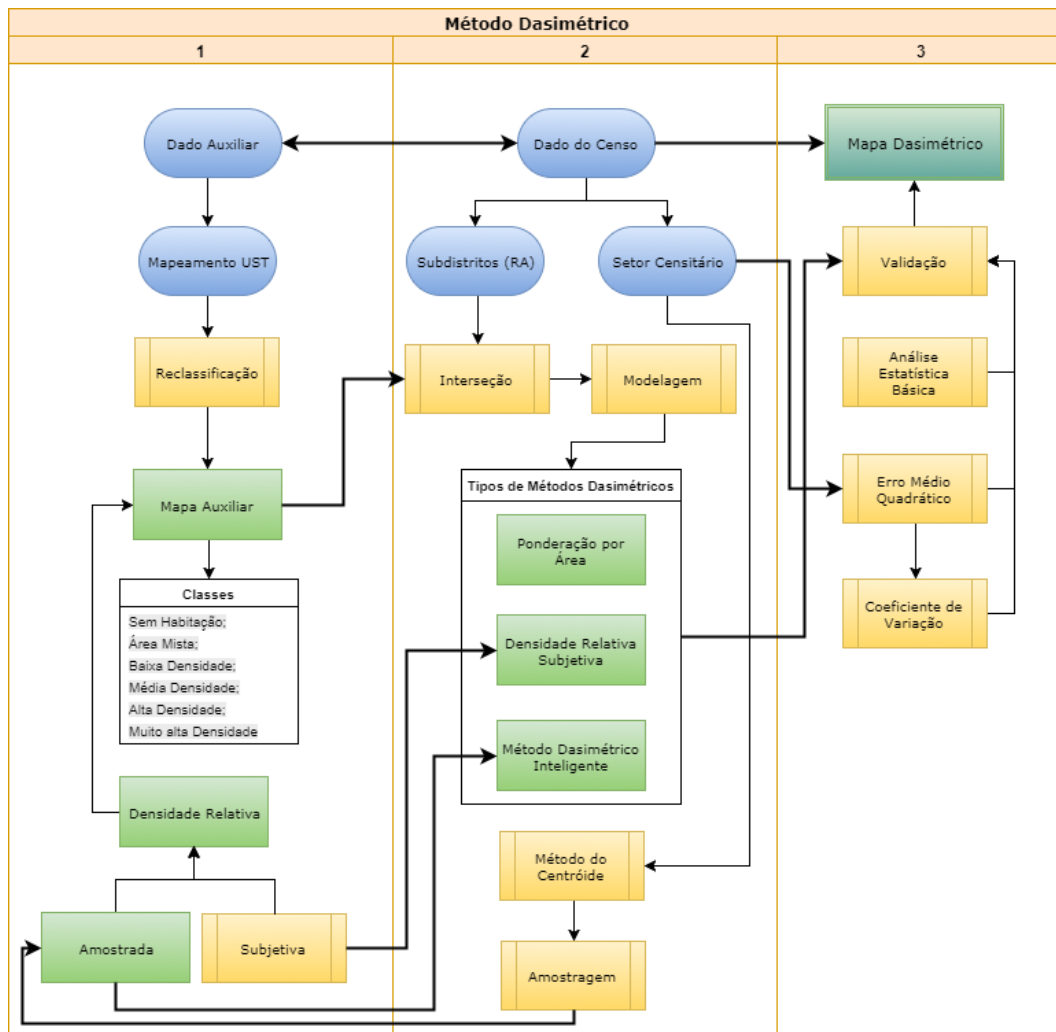


Figura 8.2: Fluxograma com procedimento para a geração dos modelos dasimétricos para a área urbana do DF.

A primeira abordagem se refere ao particionamento da população urbana do DF levando em consideração a ponderação por área (MD1). O segundo método é uma variação do método de três classes, o qual usa como informação auxiliar um mapa com três categorias (urbano, agrícola e floresta) e considera a variável densidade para o cálculo, sendo essa baseada em uma porcentagem definida de forma subjetiva dependendo do conhecimento empírico sobre a área (Eicher & Brewer, 2001). Para este estudo adotou-se o uso de seis classes para o mapa auxiliar e para cada classe foi definido subjetivamente um valor de densidade relativa (MD2). O terceiro método foi baseado no mapeamento dasimétrico inteligente (Mennis e Hultgreen, 2006), o qual define a densidade relativa por meio de amostragem (MD3).

A base territorial do Censo (IBGE, 2011) foi criada buscando integrar a representação espacial das áreas urbana e rural do Território Nacional em um ambiente de banco de dados geoespaciais. Assim, os dados coletados serviram para a construção

de cadastros territoriais e mapas digitais referentes aos municípios, às localidades e aos setores censitários (IBGE, 2011). Para a desagregação da população foi realizado o recorte para as áreas urbanas e posteriormente utilizadas informações disponíveis por subdistrito e pela base poligonal dos setores censitários, para possibilitar a avaliação dos dados gerados.

Os subdistritos são unidades administrativas municipais, normalmente estabelecidas nas grandes cidades, criadas por meio de leis ordinárias das Câmaras Municipais e sancionadas pelo prefeito (IBGE, 2011). A divisão por subdistritos no caso Distrito Federal compreende as Regiões Administrativas (RA), no ano de 2010 considerou-se 19 subdistritos. O setor censitário é a unidade territorial de controle cadastral da coleta, constituída por áreas contíguas, respeitando-se os limites da divisão político-administrativa, do quadro urbano e rural legal e de outras estruturas territoriais de interesse, além dos parâmetros de dimensão mais adequados à operação de coleta (IBGE, 2011).

O mapa de uso e ocupação da terra utilizado para gerar os mapas dasiméricos (MD) foi desenvolvido no capítulo 2. Trata-se do mapeamento da área urbana do DF segundo seus tipos de estruturas urbanas. O mapa possui uma escala de 1: 10.000 e foi realizado com ortofotos com 1 metro de resolução. O diferencial desse mapeamento, além do nível de detalhamento da escala, divide o espaço urbano considerando regiões homogêneas espacialmente em termos da relação entre os tipos de cobertura, tipo de uso, características físicas e funcionalidade (Hetch *et al.*, 2013) e dessa forma possibilita uma divisão mais precisa do território.

Para o uso neste trabalho as classes do mapa original (25) foram agregadas de acordo com o adensamento urbano e o padrão construtivo nessas áreas, resultando em um mapa auxiliar (Figura 8.3) composto por seis classes: Não habitado; áreas mistas; baixa densidade; média densidade; alta densidade e; muito alta densidade. As áreas consideradas mistas se referem a classes que se constituem de áreas comerciais e/ou industriais, mas que também possuem residências.

A classe “Não habitado” corresponde as áreas verdes intraurbanas, unidades de conservação, áreas degradadas, áreas destinadas ao plantio e pastagem e espaços abertos em geral que não são efetivamente ocupados, além das áreas urbanas onde é sabido que não se tem a função residencial como áreas exclusivas para comércio e indústria, instituições e áreas públicas e espaços destinadas a construção civil. Para as demais classes, deve-se

ressaltar que a densidade neste caso não está relacionada à população e sim a estrutura urbana da classe.

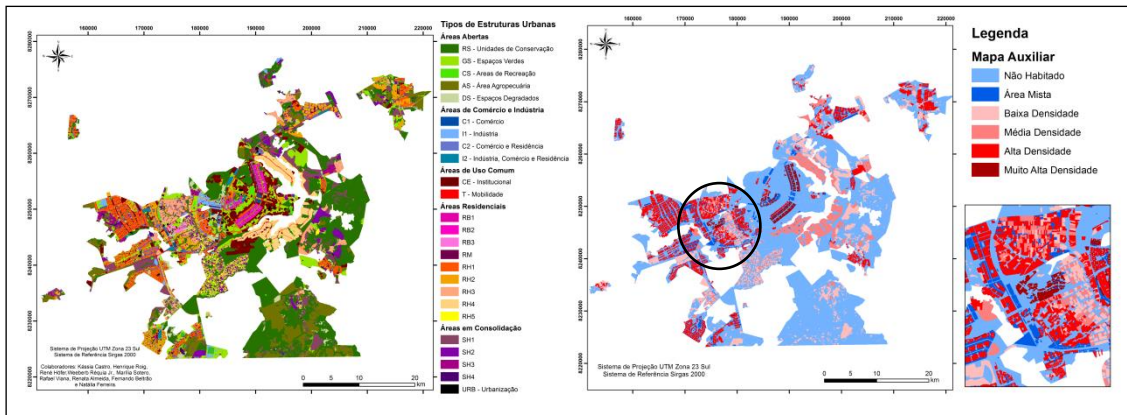


Figura 8.3: Mapa de tipos de estruturas urbanas do DF e Mapa auxiliar das áreas urbanas do Distrito Federal.

Para cada classe do mapa auxiliar foi atribuída uma densidade populacional (hab/m<sup>2</sup>) relativa (DR) de acordo com cada método (Tabela 8.1). Para o primeiro MD não se assumiu nenhuma densidade e as áreas da classe “Não habitado” foram excluídas do cálculo. Para o MD2 foi utilizada uma densidade subjetiva de acordo com o prévio conhecimento da área e para o MD3 foi realizada uma amostragem baseada no método do centróide (Martin, 1989; Mennis & Hultgren, 2006), o qual utiliza as zonas de origem cujos centróides se encontram no interior de uma dada classe. Para os métodos MD2 e MD3 a classe “Não habitado” teve a densidade relativa com valor igual à zero.

Tabela 8.1: Valores de Densidade Relativa por classe para as diferentes formas de análise.

Classe	DR Subjetiva	DR Amostrada/ Quantidade de polígonos	
<b>Não Habitado</b>	0	0	-
<b>Área Mista</b>	5	6.43	334
<b>Baixa Densidade</b>	5	0.23	115
<b>Média Densidade</b>	15	0.44	186
<b>Alta Densidade</b>	30	28.35	2196
<b>Muito Alta Densidade</b>	50	12.04	602

Mennis & Hultgreen (2006) realizou uma comparação entre os diferentes tipos de amostragem (polígono totalmente inserido, polígono parcialmente inserido e método do centróide) e de variações destes, constataram que os diferentes métodos que utilizam também áreas previamente definidas (inabitada, por exemplo) apresentaram os melhores

resultados e também resultados muito próximos. Dessa forma, método do centróide foi escolhido em detrimento dos outros, pois apresentou uma amostragem mais representativa e por ser o mais facilmente processado.

Para esta amostragem baseou-se nos dados disponíveis por setor censitário. Após as amostras serem definidas para cada classe do mapeamento auxiliar, a densidade populacional relativa foi definida pela equação 8.1.

$$D_c = \frac{\sum_{o=l}^j P_o}{\sum_{o=l}^j A_o} \quad \text{Eq. 8.1}$$

Onde:

$D_c$  = Fração de densidade correspondente as classes do mapa auxiliar;

$P_o$  = população conhecida na zona de origem  $o$ ;

$A_o$  = área total na zona de origem  $o$ .

Depois de definidas as densidades relativas para os mapas MD2 e MD3 realizou-se os procedimentos de intercessão do vetor de setores censitários com o mapa auxiliar, para a geração das classes de destino. As classes dos setores censitários foram previamente editadas para conter os dados populacionais referentes ao nível de subdistrito, unidades administrativas municipais, normalmente estabelecidas nas grandes cidades, criadas através de leis ordinárias do município (IBGE, 2011), no caso do DF trata-se das regiões administrativas vigentes até a data do censo. Após esse procedimento para cada um dos métodos (MD1, MD2 e MD3) o valor da população para cada área de destino foi estimado. Para o método MD1 foi realizada a seguinte equação (8.2):

$$P_d = \frac{P_o A_{o \cap d}}{\sum_{d=1}^n A_d} \quad \text{Eq. 8.2}$$

Onde:

$P_d$  = população estimada para a zona de destino  $d$ ;

$P_o$  = população conhecida na zona de origem  $o$ ;

$A_{o \cap d}$  = área zona de destino  $d$ ;

$A_d$  = área da zona de destino  $d$ ;

$n$  = número de zonas de destino.

Para os mapas MD3 e MD4 a densidade relativa, subjetiva e amostrada respectivamente, foi inserida no cálculo conforme a equação 8.3.

$$P_d = \frac{P_o A_d D_c}{\sum_{d \in o} (A_d D_c)} \quad \text{Eq.8.3}$$

Onde:

$D_c$  = Fração de densidade correspondente as classes do mapa auxiliar.

Os mapas dasimétricos foram criados a partir dos dados agregados em uma unidade espacial maior (subdistritos) e comparados com a realidade conhecida na unidade menor (setor censitário). A avaliação de cada técnica foi realizada por meio de estatística básica, erro médio quadrático (RMSE) e do coeficiente de variação, equações 8.4 e 8.5, respectivamente (Eicher e Brewer, 2001; Mennis e Hultgreen 2006; Langford et al., 2008; Silva, 2009; Bueno e D'Antona, 2014).

$$RMSE_o = \sqrt{\frac{\sum (P_s - P_s)^2}{n}} \quad \text{Eq. 8.4}$$

Onde:

$RMSE_o$  = Erro médio quadrático na zona de origem;

$P_s$  = População na zona de origem  $s$ ;

$P_s$  = População estimada na zona de origem  $s$ ;

$n$  = Número de subseções contidas em  $o$ .

$$CV_o = \frac{RMSE_o}{P_o} \quad \text{Eq. 8.5}$$

Onde:

$CV_o$  = Coeficiente de variação na zona de origem;

$P_o$  = população conhecida na zona de origem  $o$ .

Procedeu-se a análise em dois níveis e assumiu-se a hipótese que o método com melhor desempenho no maior nível de agregação também seria melhor no nível mais detalhado (Weber, 2010; França *et al.*, 2014). Assim, utilizou-se o método que apresentou o melhor desempenho para a redistribuição da população também para o nível de informação do setor censitário.



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram gerados três mapas dasimétricos utilizando-se as diferentes abordagens (MD1, MD2 e MD3). A figura 8.4 apresenta uma comparação entre a distribuição populacional do censo por setores censitários e por meio dos três métodos gerados.

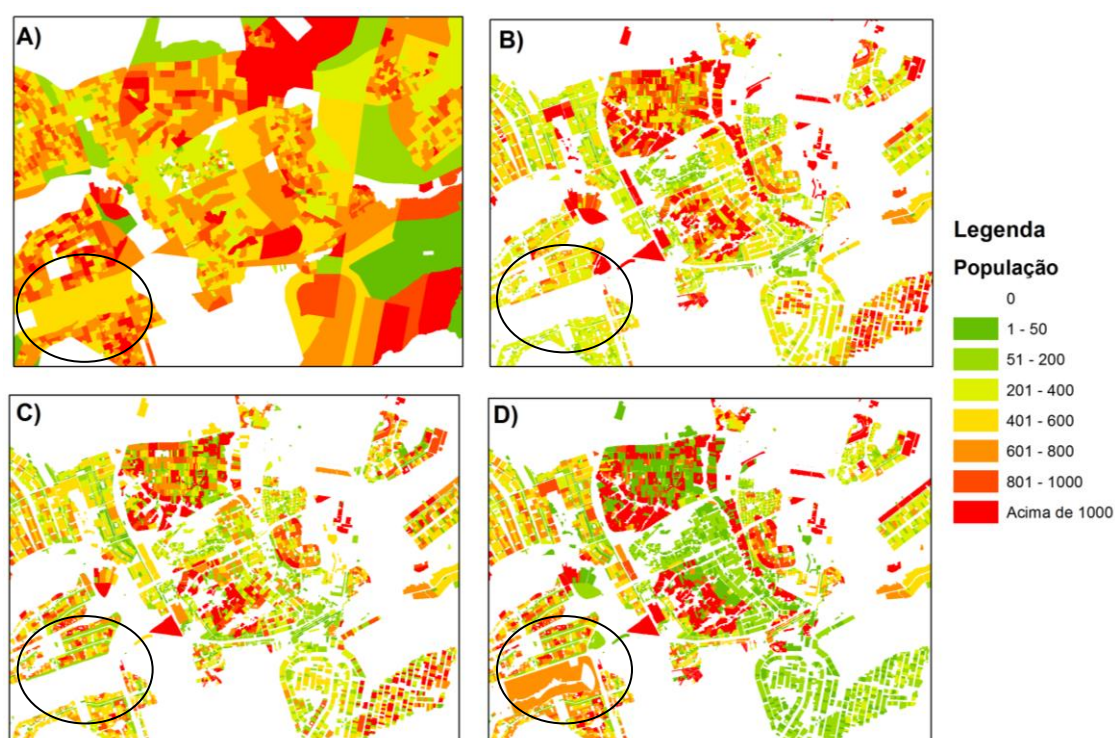


Figura 8.4: A) População por setor censitário; B) População redistribuída pelo método MD1; C) População redistribuída pelo método MD2; D) População redistribuída pelo método MD3.

Observando-se a figura 8.4 é possível perceber que os três modelos não estimaram valores de população para a classe “Não habitado” conforme o esperado, de acordo com as metodologias propostas. Também verificou-se que todos os modelos apresentam diferenças entre si, entretanto, nota-se que o modelo MD3 apresentou valores mais baixos de população (até 200 habitantes) que os outros dois modelos para a mesma área. Outra diferença acentuada entre os modelos, é que para a área em destaque, (Figura 8.4), existe população segundo o dado do setor censitário, que varia entre 401 e 600 pessoas, mas os modelos MD1 e MD2 não foram capazes de estimar um valor para essa área.

De acordo com França *et al.* (2014), o resultado da abordagem dasimétrica é mais exato que o dado original agregado, entretanto, é necessário que se avalie os erros e incertezas dessa estimativa. Assim, todos os modelos foram avaliados buscando o

entendimento das diferenças e capacidades de cada abordagem e visando não apenas apontar qual modelo mais eficiente, mas também identificar as inconsistências de cada um. A tabela 8.2 apresenta a estatística básica para cada um dos métodos e também dos dados do setor censitário como referência.

Tabela 8.2: Estatística básica gerada para os Mapas Dasimétricos gerados e para a população dos Setores Censitários para efeito de comparação.

<b>Estatística Básica</b>	<b>Setor Censitário</b>	<b>MD1</b>	<b>MD2</b>	<b>MD3</b>
Média	593,03	142,03	142,03	142,03
Erro padrão	3,84	4,35	2,54	2,54
Desvio padrão	248,19	573,75	335,81	335,70
Variância da amostra	61599,75	329194,36	112768,37	112695,50
Curtose	5,03	1746,65	183,54	54,78
Assimetria	0,63	31,42	7,92	4,99
Intervalo	3067,00	41023,25	13496,60	8497,68
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	3067,00	41023,25	13496,60	8497,68
Soma	2473527,00	2473527,00	2473527,00	2473527,00
Contagem	4171,00	17415,00	17415,00	17415,00

O modelo MD1 apresentou os maiores valores para desvio padrão, variância, assimetria e curtose. Os modelos MD2 e MD3 apresentaram valores de desvio padrão e variância muito próximos, porém os valores de curtose e assimetria para MD3 foram significativamente menores.

O valor mínimo para todos os modelos foi igual a zero, correspondente principalmente as áreas referentes a classe “Não habitado” e a áreas sem população no dado original. Já o valor máximo mais elevado foi estimado pelo MD1, cerca de treze vezes o valor máximo recenseado, o modelo MD2 também superestimou esse valor em cerca de quatro vezes e o MD3 mais que duas vezes.

Para melhor entendimento dos dados gerou-se gráficos de dispersão e o valor do  $R^2$  (coeficiente de determinação) para cada um dos modelos (Figura 8.5). O modelo MD1 apresentou a maior dispersão dos dados em torno da linha de tendência central e apresentou o menor  $R^2$  igual a 0,0091. Os modelos MD2 e MD3 apresentaram respectivamente coeficientes de 0,1317 e 0,2472. Todos os  $R^2$  apresentados são baixos, e portanto, não explicam o fenômeno.

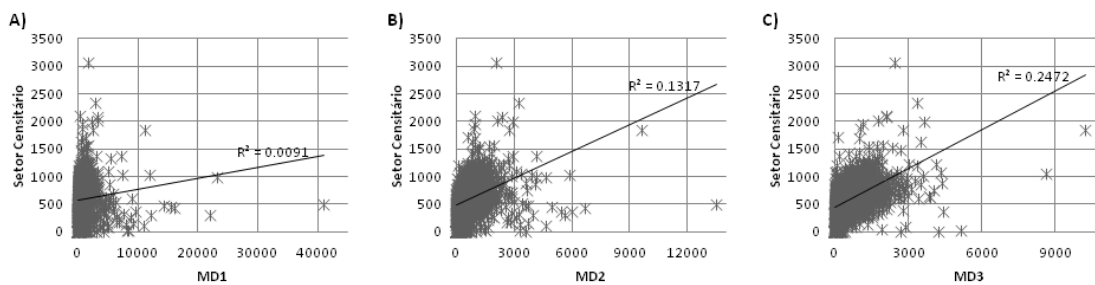


Figura 8.5: Gráfico de dispersão dos dados dos setores censitários: A) dos dados gerados pelo MD1; B) dos dados gerados pelo MD2; C) dos dados gerados pelo MD3.

Além da estatística básica e do coeficiente de determinação foram calculados também o erro médio quadrático (RMSE) e o coeficiente de variação. O MD1 apresentou os piores resultados com RMSE de 590,12 e coeficiente de variação de 0,00024. O modelo MD2 apresentou um RMSE igual a 256,89 um pouco mais alto que o MD3 que teve RMSE de 224,63. Para o coeficiente de variância o MD2 e MD3 apresentaram valores muito próximos 0,00010 e 0,00009 respectivamente, não apresentando uma diferença estatística significativa.

Com o intuito de identificar as maiores fontes de erro de cada mapa dasimétrico foram gerados mapas de distribuição espacial do erro absoluto por setor censitário (Figura 8.6). Os valores negativos são referentes aos dados que foram superestimados e os valores positivos os dados subestimados. As áreas em vermelho ou azul mais escuro são as zonas onde ocorreram os maiores erros, conforme essas tonalidades ficam mais claras significa que os erros foram mais amenos.

De um modo geral o MD1 e MD2 superestimaram mais os dados enquanto que o MD3 teve maior subestimativa. Já o MD3 apresenta áreas acima de 2,5 desvios padrão tanto positiva quanto negativamente. O que se observa (Figura 8.6) é que MD1 e MD2 tiveram maiores erros de estimativa nos setores censitários com maior área. Se compararmos esse resultado com o dado populacional do censo (setor censitário, Figura 1) pode-se aferir que na maior parte dos casos superestimados os maiores erros dos modelos MD1 e MD2 ocorreram em áreas com menor população (até 374 pessoas), já para o modelo MD3 o mesmo não se verifica.

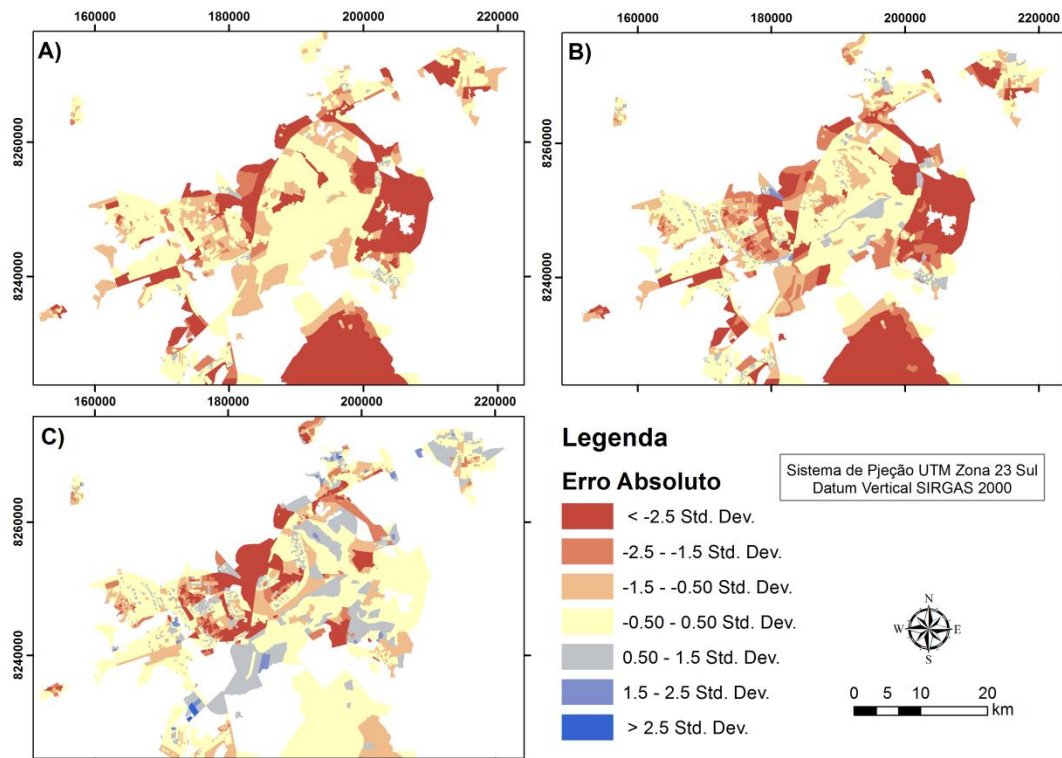


Figura 8.6: Mapas de distribuição espacial do erro absoluto por setor censitário em termos de desvio padrão para os modelos: A) MD1; B) MD2 e; C) MD3.

De acordo com todos os dados gráficos e estatísticos apresentados nessa pesquisa com exceção do coeficiente de variação, que não apresentou diferença significativa entre o MD2 e MD3, pode-se afirmar que, considerando o conjunto de dados aplicados, a abordagem dasimétrica que se mostrou mais adequada para a aplicação da estimativa populacional para as áreas urbanas do DF foi o mapeamento dasimétrico inteligente com o método de amostragem por centróide, pois conseguiu representar todo o conjunto de dados populacional, apresentou uma variação da distribuição dos dados menor que a dos demais e representou melhor as áreas com menores populações.

Trabalhos anteriores (Silva, 2009; Man & Chandra, 2013; Bueno & D'Antona, 2014) também corroboram para os resultados obtidos por essa pesquisa, apontando que mapeamentos dasimétricos que utilizam a abordagem inteligente têm obtido os resultados mais satisfatórios. Mennis & Hultgreen (2006) apontaram que os métodos de amostragem que utilizam também valores pré-definidos apresentaram os melhores desempenhos em sua análise. E que os métodos com os maiores índices de desempenho foram os que utilizaram os métodos do polígono totalmente inserido e do centróide. Porém, deve-se ressaltar que o problema potencial com esse tipo de amostragem é que é vulnerável a valores extremos, gerando amostras incorretas (Mennis & Hultgreen, 2006).

Silva (2009) para realizar a desagregação da população da região Vale do Tejo em Portugal utilizou os métodos binário e MDI com dados auxiliares em diferentes escalas, para testar a diferença entre os tipos de metodologia e a influência do detalhamento da informação nos resultados. De acordo com ele, a técnica que utiliza o dado auxiliar mais detalhado juntamente com a técnica MDI apresentou os melhores resultados.

Além disso, os resultados menos satisfatórios foram verificados no modelo com o mapa auxiliar com escala de menor detalhe, mesmo com a utilização da abordagem MDI. Entretanto, para Bueno & D'Antona (2014) não existe um método de desagregação melhor que o outro, pois isso depende do objetivo da análise, da disponibilidade de informações para auxiliar a distribuição da população e das características de ocupação da área de estudo.

Dessa forma, após a avaliação de desempenho dos métodos aplicou-se a abordagem MD3 para o universo de informação em nível de setor censitário (Figura 8.7), acreditando na premissa que se para um nível mais amplo este foi o melhor estimador, para um nível mais detalhado também será a técnica que melhor se aplica. Como é possível perceber, mesmo utilizando-se a mesma abordagem, existe diferença entre os resultados, isso porque a informação do modelo da figura 8.7B é mais detalhada do que a utilizada pelo MD3 (Figura 8.7A).

Dessa forma, afirma-se que o dado gerado com a informação do setor censitário e a abordagem MD3 é o mais preciso, considerando que este método apresentou melhores resultados e que a informação no nível censitário possui uma agregação menor e por isso é mais exato.

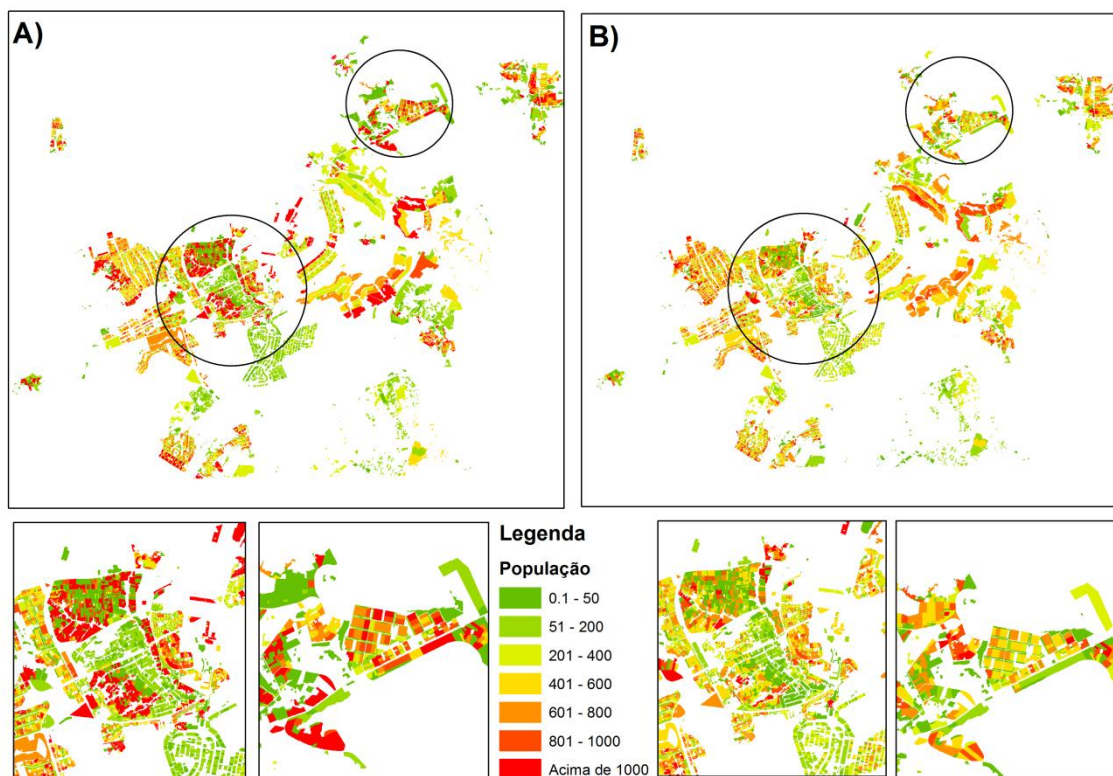


Figura 8.7: A) Modelo dasimétrico MD3 utilizando nível de informação de subdistrito; B) Modelo dasimétrico gerado com a mesma abordagem MD3, porém utilizando nível de informação de setor censitário.

## CONCLUSÃO

Concluiu-se que a desagregação da população da área urbana do Distrito Federal considerando três métodos distintos e com mapa auxiliar com informações dos tipos de estruturas urbanas do DF melhorou o nível de detalhamento da informação auxiliar e também melhorou os resultados estimados, o que pode tornar o mapeamento mais preciso e acurado.

O modelo que apresentou os melhores resultados gráficos e estatísticos foi o modelo dasimétrico inteligente (MDI) que utiliza informações a cerca da densidade populacional no cálculo. Acredita-se que o método de desagregação dasimétrico apresenta um grande potencial, não só para uma análise mais precisa das variáveis obtidas pelo censo, mas também para gerar indicadores e índices a cerca da qualidade e bem estar da população, estudos de vulnerabilidade sócio-ambiental e outros. Trata-se de uma ferramenta bastante promissora por possibilitar a utilização de dados disponíveis com um detalhamento espacial mais preciso.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, S. ; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G.; QINTANILHA, J. A. (2005) – Estimativa da distribuição espacial da população na Amazônia brasileira com uso de sensoriamento remoto orbital: contribuições das imagens CCD/CBERS no caso do município do Marabá-PA. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16 a 21 de Abril, 2005, Goiânia, Brasil. 765-773.
- ARCHELA, R. S.; THÉRY, H. 2008. Orientação metodológica para construção e leitura de mapas temáticos. *Confins*, n. 3, p. 1-21.
- BARROZO, L. V.; PÉREZ-MACHADO, R. P.; SMALL, C.; CABRAL-MIRANDA, W. 2015. Changing spatial perception: dasymetric mapping to improve analysis of health outcomes in a megacity. *Journal of Maps*, v. 0, n. 0, p. 1-6.
- BIAN, R.; WILMOT, C. G. 2014. A spatio-temporal population distribution method for emergency evacuation: a case study of New Orleans. *Journal of the Transportation Research Board*, v. 2532, p. 1-18.
- BIELECKA, E. (2005) – A dasymetric population density map of Poland. *Actas da International Cartographic Conference*, 9 a 15 de Junho, Corunha, Espanha.
- BUENO, M. C. D.; D'ANTONA, A. O. 2014. Avaliação de métodos de desagregação para geração de grades de população. *Revista espinhaço*, v. 3, n. 1, p. 127-137.
- CARDOSO, M. A.; OLINTO, M. T. A.; SICHIERI, R. Avanços metodológicos em estudos populacionais em alimentação e nutrição. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 26, n.11, p. 2006-2007, 2010
- CRUZ, B. D de O.; NOCKO, L. M.; SILVA, A. C. da C.; GUIMARÃES, P. M. N. 2016. Oferta de mão de obra no Distrito Federal: determinantes da participação na força de trabalho e efeitos da recessão econômica. *Texto para Discussão TD - n. 16 (2016)*, Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, 2016.
- DORLING, D., 1993, *Map Design for Census Mapping*. *Cartographic Journal*, 30, 167-83.
- EICHER, C., BREWER, C. 2001. Dasymetric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation. *Cartography and Geographic Information Science*. v.28, n.2, p. 125-138.
- FRANÇA, V. O.; STRAUCH, J. C. M.; AJARA, C. 2014. Método dasimétrico inteligente: uma aplicação na mesorregião metropolitana de Belém. *Revista Brasileira de Cartografia*. n. 66/6. p. 1395-1411.
- FREIRE, S. M. C. 2007. Modeling daytime and nighttime population distribution in Portugal using geographic information system. 2007. *Dissertação de Mestrado*, Escola de graduação da Universidade do Kansas, Kansas. 109 p.
- FREIRE, S.; GOMES, N. 2010. Aplicação de mapeamento dasimétrico inteligente na modelação da distribuição espaço-temporal da população na Área Metropolitana de Lisboa. *Actas do XII Colóquio Ibérico de Geografia 6 a 9 de Outubro 2010*, Porto: Faculdade de Letras (Universidade do Porto).
- GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 812-818.
- GREGORY, I. N. 2002. The accuracy of areal interpolation techniques: standardizing 19th and 20th century census data to allow long-term comparisons. *Computers, Environment and Urban Systems* 26: 293-314.
- HECHT, R.; HEROLD, H.; MEINEL, G.; BUCHROITHNER, M. 2013. Automatic derivation of urban structure types from topographic maps by means of image analysis and machine learning. *Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development*. Germany, Leibniz, Germany. 18p.
- HOLLOWAY, S. R.; SHUMACHER, J.; REDMOND, R. 1996. *People and Place: dasymetric mapping using Arc/Info*. Missoula: Wildlife Spatial Analysis Lab, University of Montana.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. *Censo Demográfico 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo*. Rio de Janeiro: IBGE,

2011. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/pt/>>. Acesso em Setembro de 2014.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Base de informações do censo demográfico 2010: resultados do universo por setor censitário. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Centro de Documentação e Disseminação de Informações, Rio de Janeiro, 201p.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Projeção da População do Brasil e Unidades da Federação por Sexo e Idade para o período 2000-2030. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. 21p.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Notas Metodológicas. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Diretoria de Pesquisas Coordenação de Trabalho e Rendimento, Rio de Janeiro, v. 1, 47p.
- LANGFORD, M. et al. (2008) – Urban population distribution models and service accessibility estimation. *Computers, Environments and Urban Systems* 32: 66-80.
- LANGFORD, M.; MAGUIRE, D. J.; UNWIN, D. J. 1991. The areal interpolation problem: Estimating population using remote sensing in a GIS framework. In: *Handling geographic information: Methodology and potential applications*. Masser, I., Blakemore, M. Londres: Longman. p.55-77.
- LANGFORD, M. e UNWIN, D.J. (1994) – Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system. *Cartographic Journal* 31(1): 21-26.
- MANN, D.; CHANDRA, O. B. C. 2013. Creating a gridded population data of India: a comparison and evaluation study of a dasymetric mapping methods. In: 14 ESRI India User Conference 2013, Delhi. P 1-6.
- MARTIN, D. (1989) – Mapping population data from zone centroid locations. *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series* 14(1): 90-97.
- MENNIS, J. 2002. Using Geographic Information Systems to Create and Analyze Statistical Surfaces of Population and Risk for Environmental Justice Analysis. *Social Science Quarterly*, v. 83, n. 1, p. 281-297.
- MENNIS, J. “Generating Surface Models of Population Using Dasymetric Mapping,” *Prof. 30 Geogr.*, vol. 55, no. 1, pp. 31–42, 2003.
- MENNIS, J., HULTGREN, T. 2006. Intelligent dasymetric mapping and its application to areal interpolation. *Cartography and Geographic Information Science*. v.33, n.3, p.179-194.
- MROZINSKI, R. D. JR. and CROMLEY, R.G. 1999. Singly and doubly constrained methods of areal interpolation for vector-based GIS. *Transactions in GIS* 3: 285-301.
- NÉRY, F.; MONTERROSO, P.; SANTOS, A.; MATOS, J. (2007) – Interpolação zonal de estatísticas socio-económicas. *Actas da V Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. Lisboa. 89-100.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2014. Relatório da ONU mostra população mundial cada vez mais urbanizada, mais de metade vive em zonas urbanizadas ao que se podem juntar 2,5 mil milhões em 2050. Disponível em: <<http://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050>>. Acesso em Agosto 2016.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2015. ONU projeta que população mundial chegue aos 8,5 mil milhões em 2030. Disponível em: <<http://www.unric.org/pt/actualidade/31919-onu-projeta-que-populacao-mundial-chegue-aos-85-mil-milhoes-em-2030>>. Acesso em Agosto 2016.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2016b. The world's cities in 2016. Disponível em: <[http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the\\_world\\_s\\_cities\\_in\\_2016\\_data\\_booklet.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_world_s_cities_in_2016_data_booklet.pdf)>. Acesso em Setembro 2017.
- RÉQUIA JR., E. J.; ROIG, H. L.; KOUTRAKIS, P. 2015. A novel land use approach for assessment of human health: The relationship between urban structure types and cardiorespiratory disease risk. *Environment International*. v. 85, p. 334-342.



- RICHARDS, T. B., BERKOWITZ, Z., THOMAS, C. C., FOSTER, S. L., GARDNER, A., KING, J. B.,...ROYALTY, J. (2010). Choropleth map design for cancer incidence, part 1. *Preventing Chronic Disease Public Health Research, Practice and Policy*, 7(1), 1–6.
- SILVA, F. B. 2009. Modelação cartográfica e ordenamento do território: Um ensaio metodológico de cartografia dasimétrica aplicado a região oeste e Vale do Tejo. Dissertação de mestrado. Faculdade de Letras, Universidade do Porto, Porto, Portugal. 177 p.
- SEDUMA – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. 2009.
- SEMENOV-TIAN-SHANSKY, B. 1928. Russia: Territory and population: a perspective on the 1926 census. *Geographical Review*. V. 18, n. 4, p. 616-640.
- SLEETER, R. 2008. A New Method for Mapping Population Distribution: U. S. Geological Survey Factsheet 2008-3010.
- SLEETER, R. AND WOOD, N. “Estimating daytime and nighttime population density for coastal 17 communities in Oregon,” in *Urban and Regional Information Systems Association Annual 18 Conference Proceedings*, 2006, pp. 1–15.
- UMBELINO, G. J. M.; BARBIERI, A. F.; DAVIS JR, C. A. 2012. Geotecnologias aplicadas a projeções domiciliares intraurbanas por quadras de Belo Horizonte 2010 a 2030. In: XVIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 2012, Águas de Lindóia. Anais do XVIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais. 20p.
- WEBER, E. M. DasyTools: A user-friendly dasymetric mapping toolkit with automated accuracy assessments. Thesis (M.A.)-- University of Kansas, Publication Number: AAI1482591; ISBN: 9781124281100; 105 p., 2010.
- WIEDMANN, T. O.; SCHANDL, H.; LENZEN, M.; MORAN, D.; SUH, S.; WEST, J.; KANEMOTO, K. 2015. The material footprint of nations. *PNAS*, v. 112, o. 20, p.6271–6276. 2015.
- ZAMBRANO, G. J. D. 2015. Modelagem e representação espacial populacional no litoral de Santa Catarina a partir de tecidos urbanos identificados em imagens OLS. Dissertação de Mestrado. Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências da Terra e do Mar, Itajaí, Santa Catarina. 54p.

## **APÊNDICE C: ANÁLISE E DISTRIBUIÇÃO DO PADRÃO DE CONSUMO DE ÁGUA DO DISTRITO FEDERAL SEGUNDO OS TIPOS DE ESTRUTURAS URBANAS**

### **INTRODUÇÃO**

A situação dos recursos hídricos do Brasil, em relação aos demais países do globo é satisfatória, porém, a distribuição da água internamente ocorre de maneira desigual, onde aproximadamente 80% dos recursos hídricos disponíveis estão concentrados na região Amazônica (ANA, 2013). Somado a isso, o Brasil apresenta 85% de sua população residente em áreas urbanas (IBGE, 2016) e nos estados sócioeconomicamente mais desenvolvidos, esse número pode ultrapassar a taxa de 90% (IBGE, 2010). Devido a essa grande concentração urbana e a falta de planejamento adequado do uso e ocupação da terra, vários conflitos e problemas têm sido gerados (Tucci *et al.*, 2000a). Entre estes, pode-se destacar a crise hídrica que assola os grandes centros urbanos brasileiros como São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro (Tucci *et al.*, 2000b; Almeida & Benassi, 2015) e mais recentemente o Distrito Federal.

O Distrito Federal (DF) está localizado nas cabeceiras de três regiões hidrográficas do país: Tocantins-Araguaia, Paraná e São Francisco. Em função das proximidades das nascentes, os mananciais possuem baixa disponibilidade hídrica para atender ao contingente populacional (ANA, 2010). Além disso, o regime pluviométrico do DF é caracterizado por uma estação seca intensa, que geralmente ocorre nos meses de maio a setembro. Neste período, os totais de chuvas não ultrapassam os 50 mm, sendo que em grande parte desse período os totais se mantêm abaixo de 15 mm com menos de cinco dias de chuvas (Almeida & Oliveira, 2013).

No DF, 96% da população vive em áreas urbanas (IBGE, 2010) e grande parte dos mananciais utilizados para abastecimento tem algum tipo de pressão antrópica e encontram-se no limiar da sua capacidade (CAESB, 2013; CAESB, 2014). O consumo de água para abastecimento urbano no DF é a maior demanda por água, representando cerca de 80%, em volume, das captações (ADASA, 2012). Desse percentual, o consumo residencial corresponde a mais de 80% (CODEPLAN, 2015). Paviani e Brandão (2015) destacam que além da média de consumo elevada, há também grandes disparidades de consumo entre as faixas de renda mais ricas e mais pobres.

Segundo o IPEA (2006), as cidades brasileiras em que a população mais cresce são as do Centro-Oeste, porém, isso não garante melhora na renda nem na qualidade de vida dos habitantes. De acordo com a última estimativa do censo, a população total do DF estimada para o ano de 2015 foi de 2.914.830 habitantes o que corresponde a um aumento de 13% em cinco anos (IBGE, 2014). A previsão é que o processo de crescimento se acentue, com um aumento para algo entorno de 3,5 milhões de habitantes em 2025 e 3,7 em 2030 (IBGE, 2013) aumentando assim ainda mais a pressão sobre as fontes de abastecimento, gerando uma situação crítica com relação à segurança hídrica do DF.

Atualmente, o DF enfrenta a pior crise hídrica dos últimos 30 anos (CAESB, 2016). Em decorrência primordialmente: I) do período de seca intenso, com volume de chuvas inferior a média histórica; II) elevado consumo de água per capita; III) ocupação desordenada do solo, com conseqüente degradação das nascentes e aumento de ligações clandestinas à rede pública de água e; IV) baixos investimentos em expansão dos sistemas de abastecimento de água nos últimos anos (CAESB, 2016).

A situação alarmante dos mananciais do DF já era conhecida e no ano de 2001, o Tribunal de Contas da União (TCU) fez uma auditoria operacional no sistema dos recursos hídricos brasileiros e indicou que o DF ocupava a terceira pior situação em termos de disponibilidade hídrica por habitante/ano, em todo o território nacional (Cardim, 2016). Outros estudos realizados também já apontavam para um déficit na capacidade de abastecimento (ANA, 2010; Silva e Souza, 2013). Há muito, durante a estação seca, a utilização da capacidade de tratamento de água potável já se aproximava de 100% em alguns sistemas (Lorz *et al.*, 2011).

Para tentar sanar essa situação a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) elaborou em 2015 o plano Plurianual 2016/2019, onde foram previstos investimentos a serem realizados em novos empreendimentos para a manutenção e melhoria da qualidade dos serviços de água e esgotamento. Para suprir a demanda crescente por água, deverão ser implementados novos sistemas produtores até 2020. Assim, estão previstos a implementação de dois sistemas produtores (Sistema Corumbá IV e Sistema Paranoá, Figura 1) e a implantação de um subsistema complementar com a captação de água do córrego Bananal (CAESB, 2015a).

Tais iniciativas, não atenuam as condições críticas em curto prazo, uma vez que até a concretização destes projetos a população continua vivenciando um período de instabilidades e incertezas quanto à disponibilidade hídrica, sendo necessárias medidas

paliativas e em caráter imediato para que se possa garantir o direito de acesso a uma água em quantidade e qualidade suficientes. Portanto, ter o conhecimento sobre as características da demanda e dos aspectos socioeconômicos pode auxiliar a encontrar alternativas de abastecimento no curto e longo prazo (Paviani e Brandão, 2015). É essencial identificar as especificidades dos padrões de densidade demográfica, taxa de ocupação e renda para caracterizar as discrepâncias no consumo de água (Paviani e Brandão, 2015) e assim poder atuar de forma mais eficiente na gestão dos recursos hídricos do DF.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi realizar uma análise da distribuição espacial do consumo de água no DF por meio dos tipos de estruturas urbanas, dando enfoque às áreas residenciais, as quais são atribuídas o maior consumo urbano, com o intuito de dar suporte à tomada de decisão para gestão e planejamento eficiente dos recursos hídricos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão discutidas as principais características sobre o consumo de água urbano do DF e os procedimentos adotados para realizar a análise de consumo por tipo de estrutura urbana, bem como com as demais variáveis relacionadas a essa questão.

### ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal está localizado entre os paralelos de 15°30' e 16°03' de latitude sul e os meridianos de 47°25' e 48°12' de longitude oeste, no Planalto Central do Brasil. Ocupa área de 5.814 km<sup>2</sup> e compreende a unidade da federação onde se situa a capital do país (Figura 9.1). A área efetivamente urbana, de acordo com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial - PDOT (SEDUMA, 2009) corresponde a 1.179,37 km<sup>2</sup> o que corresponde a 20,33% do total do território. O DF possui uma divisão interna em Regiões Administrativas (RA), atualmente possui trinta e uma RA em sua configuração.

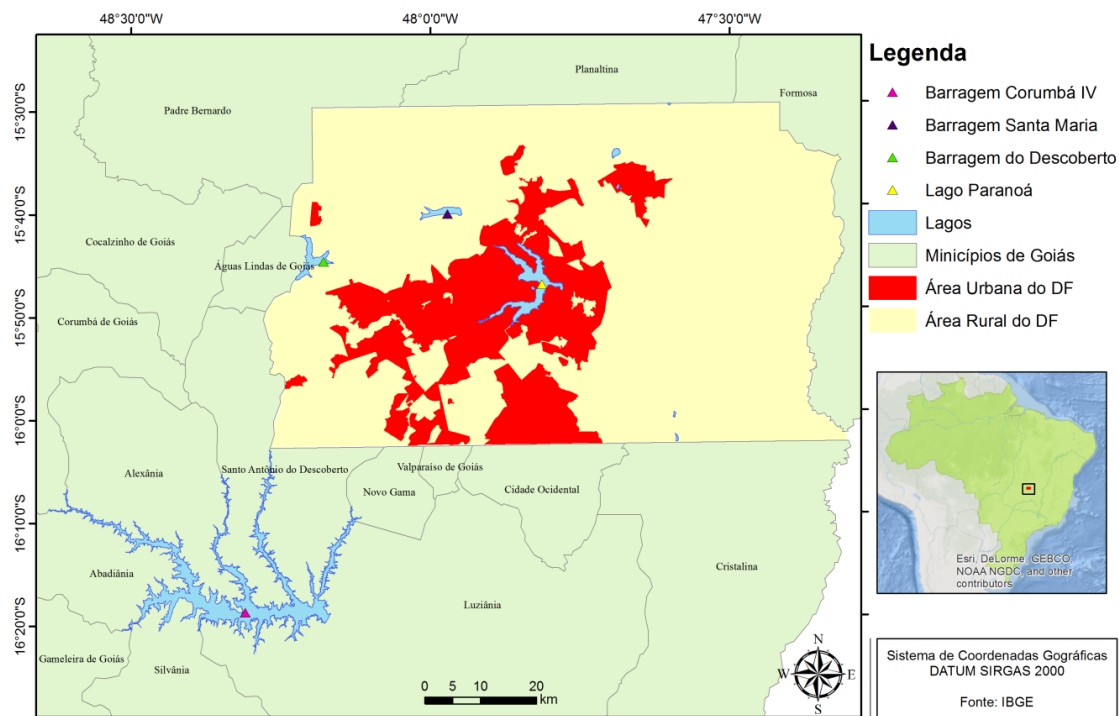


Figura 9.1: Localização da área de estudo (área urbana) e dos sistemas de abastecimento atuais e futuros do Distrito Federal.

O maior sistema de abastecimento de água do Distrito Federal é o do Rio Descoberto, composto por seis captações em operação contínua e outras cinco usadas apenas em caráter complementar, caso necessário. Este sistema é responsável pelo abastecimento de mais de 60% da população. Sua principal fonte é o próprio Lago Descoberto. O segundo maior sistema é o Torto-Santa Maria que atende cerca de 20% da população. Os sistemas com os maiores estresses de abastecimento são os de Sobradinho/Planaltina e São Sebastião, em virtude da menor disponibilidade de água bruta nessas regiões (CAESB, 2015b).

No DF, o consumo para abastecimento urbano é o mais representativo com 80% do total das vazões consumidas médias das captações superficiais e subterrâneas, seguido do consumo pela irrigação (16,2%), animal (2,0%) e rural (1,5%) (ADASA, 2012). De acordo com o anuário estatístico 2015 (CODEPLAN, 2015), o maior consumo urbano é o residencial, para o ano de 2014 o consumo residencial foi de 82,6%, seguido do consumo comercial 10,6% e do consumo público 6,4%, sendo o consumo industrial de apenas 0,4% de todo o consumo do DF.

O consumo per capita de água médio no DF foi de 180,5 litros por habitante/dia, para o ano de 2014, sendo o valor médio dos últimos três anos de 186,4 litros por habitante/dia. Superior à média nacional que em 2014 foi de 162 litros por habitante/dia. Para este mesmo ano foi o quinto consumo mais alto do país (Ministério das Cidades,

2016). De acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde), 110 litros por habitante/dia é o mínimo necessário para a manutenção da higiene e dessedentação humana (Ministério das Cidades, 2016).

O gráfico da figura 9.2 apresenta a evolução do consumo médio de água per capita urbano do DF para o período entre 2008 e 2015. Segundo a CAESB, para o ano de 2015 98,9% da população urbana tinha acesso ao abastecimento de água.

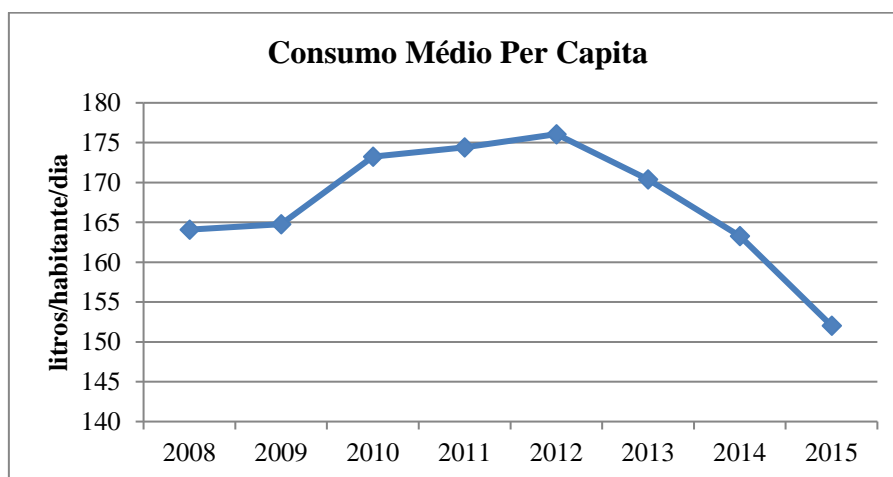


Figura 9.2: Gráfico com o consumo de água médio per capita da população do DF para o período entre 2008 e 2015. Fonte: CAESB (2015b).

Pode-se observar que o consumo de água, estava em uma tendência de diminuição desde 2012, resultado de campanhas para o uso racional da água e da progressividade da estrutura tarifária (CAESB, 2015b). Esta situação evoluiu para uma redução significativa do consumo de água em 2015, cerca de 4%, resultante das fortes campanhas publicitárias executadas na mídia no início do ano, em função da crise hídrica ocorrida na região sudeste (CAESB, 2015b).

Esse cenário histórico de alta taxa de consumo de água somado ao extenso período de seca e baixos índices pluviométricos no ano de 2016 resultou na grave crise hídrica vivenciada atualmente. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em outubro (2016) a quantidade de precipitação foi inferior a 50% do esperado. Assim, os reservatórios do DF continuam perdendo volume, o nível do Rio Descoberto chegou ao percentual de aproximadamente 6,5% da capacidade máxima, o de Santa Maria está próximo dos 23% de seu volume total em 2017 (ADASA, 2017).

Diante de tal cenário, o governo do DF declarou Situação Crítica de Escassez Hídrica nos Reservatórios do Descoberto e de Santa Maria. As seguintes ações foram estabelecidas: I) Suspender a emissão de outorgas nas áreas de contribuição das bacias

dos reservatórios; II) Recomendar à população do Distrito Federal que adote medidas de redução do consumo de água; III) Autorizar a concessionária do serviço público de abastecimento de água e esgotamento sanitário a reduzir a pressão dinâmica nas redes de distribuição; IV) Promover a alocação negociada de água nas bacias hidrográficas, de forma a reduzir o período de captação de água para irrigação e; V) Adotar uma cobrança de contingência sobre o valor de água consumida que chega a até 40% para as áreas residenciais (CAESB, 2016a).

## ETAPAS E PROCEDIMENTOS

Para uma análise mais aprofundada sobre quais variáveis influenciam no consumo de água urbano, primordialmente no consumo residencial, necessita-se além dos dados de consumo (disponibilizados pela CAESB) de informações socioeconômicas acerca da população. Dessa forma, optou-se por trabalhar utilizando os dados do último censo (2010). Assim, para compatibilização com os demais dados, o ano de 2009 foi o selecionado para a análise.

























O mapa de tipos de estruturas urbanas do DF (Capítulo 2) trata da segmentação considerando regiões homogêneas espacialmente, de acordo com os tipos de cobertura, tipo de uso, características físicas e funcionalidade (Hetch *et al.*, 2013). O mapeamento possui uma escala de 1: 10.000, realizado com ortofotos de 1 metro de resolução, referentes ao ano de 2009. O diferencial desse mapeamento é o nível de detalhamento da escala, o que possibilita uma divisão mais precisa do território e dessa forma um melhor entendimento de suas partes.

O mapeamento dos tipos de estruturas urbanas do DF foi realizado dentro de cinco categorias principais: I) Áreas Abertas; II) Áreas de Uso Comum; III) Áreas de Comércio e Indústria; IV) Áreas Residenciais e; V) Áreas em Consolidação. Para a análise da distribuição de consumo de água foram selecionadas apenas as áreas que são de fato habitações destinadas à moradia, uma vez que áreas comerciais e industriais bem como as áreas públicas possuem uma dinâmica de uso da água diferenciada, sendo afetado por diversos fatores externos como a situação econômica, tipo de segmento, porte do empreendimento, dentre outros.


Investigou-se o consumo de água nas estruturas urbanas pertencentes às Áreas Residenciais e Áreas em Consolidação, que são áreas residenciais ainda não consolidadas, com características rurais ou condomínios em expansão, além de setores residenciais sem

infraestrutura. Assim, foram analisadas treze tipos de estruturas urbanas dentro dessas categorias principais (Quadro 9.1).

Quadro 9.1 - Imagens ilustrativas aéreas e frontais dos tipos de estruturas urbanas Residenciais e em Consolidação .

			
<b>RH1:</b> Alta taxa de ocupação e Baixo Padrão construtivo; Até 250 m <sup>2</sup> ; Geralmente 1 andar; Não possui quintal; Maioria dos telhados de amianto; Possui pavimentação.		<b>RH2:</b> Média taxa de ocupação e Médio Padrão construtivo; de 250 a 500 m <sup>2</sup> ; Geralmente 1 andar; Possui quintal, mas apresenta características heterogêneas; Maioria dos telhados de amianto; Possui pavimentação.	
			
<b>RH3:</b> Média taxa de ocupação e Alto Padrão construtivo; De 500 m <sup>2</sup> até 2000 m <sup>2</sup> ; Maioria com 2 andares; Jardim e piscinas privadas; Geralmente telhados de argila; Possui pavimentação; Geralmente Condomínios.		<b>RH4:</b> Média taxa de ocupação e Muito Alto Padrão construtivo; De 1000 m <sup>2</sup> até 2000 m <sup>2</sup> ; Maioria com 2 andares; Jardim e piscina; Geralmente telhados de argila; Possui pavimentação; Em Zonas nobres.	
			
<b>RH5:</b> Baixa taxa de ocupação e Muito Alto Padrão construtivo; Maior que 2000 m <sup>2</sup> ; Maioria com 2 andares; Jardim e piscinas privadas; Geralmente telhados de argila; Possui pavimentação; Geralmente Condomínios.		<b>RM:</b> Alta taxa de ocupação e Alto Padrão construtivo; De 250 m <sup>2</sup> até 500 m <sup>2</sup> ; Até 3 andares (cs)/ Até 6 andares (ap); Não possui quintal; Telhados de amianto e argila; Possui pavimentação; Em Zonas nobres.	
			
<b>RB1:</b> Altataxa de ocupação e Médio Padrão construtivo; Até 6 andares; Possui pavimentação.		<b>RB2:</b> Baixa taxa de ocupação e Alto Padrão construtivo; Até 6 andares; Possui pavimentação; possui faixa verde.	
			
<b>RB3:</b> Altataxa de ocupação e Alto Padrão construtivo; Maior que 6 andares; Possui pavimentação; Possui Condomínio com estrutura construída (piscina, campos de futebol, churrasqueira) e algumas lojas no piso térreo.		<b>SH1:</b> Baixa taxa de ocupação e Baixo, médio ou alto Padrão construtivo; Maior que 2000 m <sup>2</sup> ; Geralmente 1 andar; Área com característica de chácara; Telhados de amianto e argila; Pode possuir ou não pavimentação.	
			
<b>SH2:</b> Baixa taxa de ocupação e Indefinido padrão construtivo; Acima de 250 m <sup>2</sup> ; Pode haver quintal; Telhados de		<b>SH3:</b> Alta taxa de ocupação e Baixo Padrão construtivo; Abaixo de 250 m <sup>2</sup> ; Geralmente 1 andar; Não possui quintal;	



amianto e argila; Pode possuir ou não pavimentação; Áreas em expansão.	Casas de material simples e telhado de amianto; Pode possuir ou não pavimentação.
	<b>SH4:</b> Média taxa de ocupação e Baixo/Médio Padrão construtivo; Acima de 250 m <sup>2</sup> ; Geralmente 1 andar; Possui quintal, mas apresenta características heterogêneas; Telhados de amianto e argila; Não possui infraestrutura (por exemplo: pavimentação).
Áreas em Consolidação	Áreas Residenciais

Utilizou-se o método dasimétrico, que é um tipo específico de interpolação zonal, que faz uso de dados auxiliares para desagregar variáveis demográficas visando refinar a representação da distribuição espacial dos dados, para que estes reflitam com maior fidelidade as variações das características da área em estudo (Mennis & Hultgren, 2006; França *et al.*, 2014).

Os dados dos setores censitários (IBGE, 2010) foram então submetidos ao método dasimétrico, com o intuito de se obter uma melhor e mais adequada espacialização da informação, excluindo as áreas onde não há habitantes e também possibilitando que os dados sejam reamostrados em agrupamentos compatíveis com a análise por tipo de estrutura urbana, com maior detalhamento que o setor censitário.

A abordagem escolhida foi o chamado método dasimétrico inteligente (MDI). Foram testados diferentes métodos e verificou que este apresentou melhor desempenho para os dados de população na área urbana do DF (Apêndice B). Assim, o método MDI foi aplicado para os dados de População, Número de Domicílios e Faixas de Renda per capita. Para o dado de renda per capita dos habitantes a estimativa foi realizada por domicílios.

O censo é estruturado com 10 faixas de renda per capita. Para possibilitar a análise foram agrupadas as quatro primeiras faixas fixadas pelo IBGE (até 1/8 salário mínimo; 1/8 a 1/4 salário mínimo; 1/4 a 1/2 salário mínimo e; 1/2 a 1 salário mínimo). Gerando assim, seis faixas de renda: I) Sem renda; II) Até 1 salário mínimo; II) De 1 a 2 salários mínimos; III) De 2 a 3 salários mínimos; IV) De 3 a 5 salários mínimos; V) De 5 a 10 salários mínimos e; VI) Superior a 10 salários mínimos.

Os dados referentes ao consumo de água foram disponibilizados pela CAESB e associados aos tipos de estruturas urbanas por meio de ferramentas de integração e sobreposição em sistemas de informação geográfica. Após a reamostragem dos dados por meio do MDI, foram realizados cálculos para se chegar ao número de habitantes por domicílio e consumo de água per capita por dia para cada UST.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 9.3a apresenta a distribuição populacional da área urbana do DF, que apresentava para o ano analisado 2.473.171 habitantes e a figura 9.3b mostra o número de habitantes por domicílio. O número de domicílios urbanos era de 750.439 e o número de habitantes por domicílio variava entre 1 e 5.5.

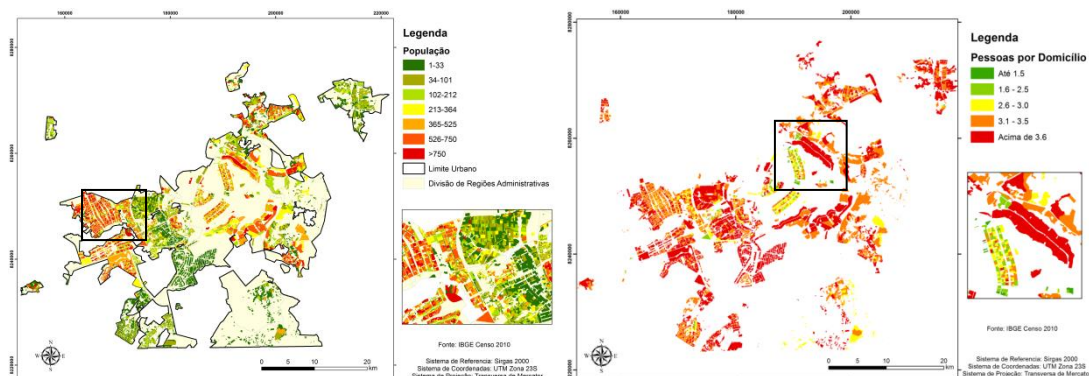


Figura 9.3: A) Mapa da distribuição da população urbana do DF; B) Mapa da distribuição da população por domicílios.

A classe UST com o maior percentual de moradores e também de domicílios é a RH1 que representa aproximadamente a metade da população urbana (48,6%) e aproximadamente 46% dos domicílios, em seguida as classes com maior percentual de domicílios e moradores, respectivamente, são RH2 (16,3% e 16,8%), RB2 (8,5% e 7%), C2 (8,2% e 6,9%) e SH3 (5,6% e 6,2%). As classes com a menor quantidade de moradores e domicílios, por sua vez, são RH5, RM, I2, SH2 e SH1 todas com menos de 1% cada (Figura 9.4). Há pequena variação entre as classes de estruturas urbanas em relação à moradores por domicílio, sendo que a quantidade varia de 3 a 4 moradores/domicílio.

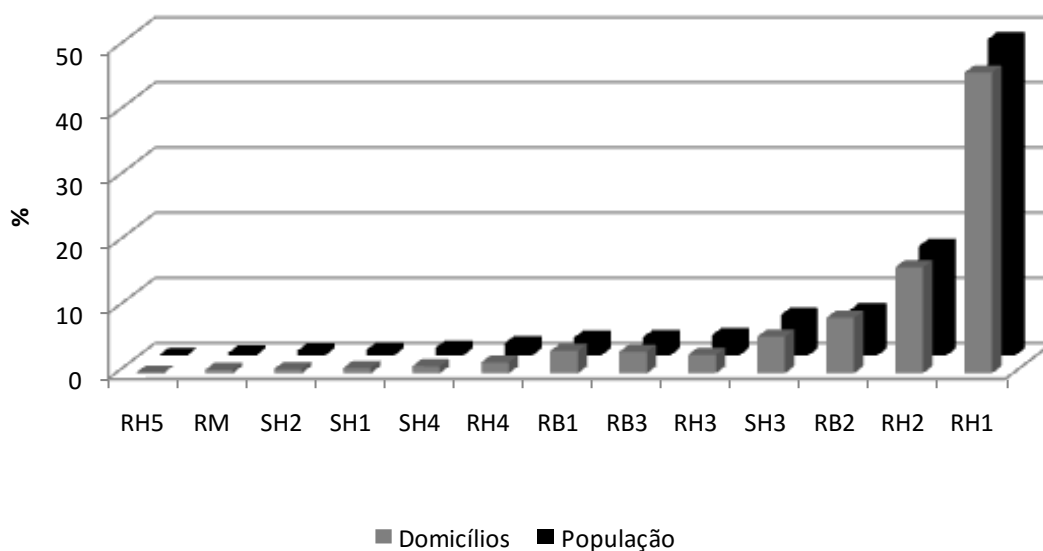


Figura 9.4: Gráfico da porcentagem dos domicílios e população urbana do DF por UST.

O Distrito Federal está entre uma das unidades da federação mais desiguais do país, com um índice de Gini em 2013 de 0,555, o quarto mais desigual (IPEA, 2013; Paviani e Brandão, 2015). De acordo com o último censo, 36% dos domicílios possuíam uma renda per capita inferior à 1 salário mínimo, 21% entre 1 e 2 salários mínimos per capita, ou seja mais da metade dos domicílios urbanos do DF sobrevivia com uma faixa de no máximo dois salários mínimos por pessoa.

Dos 44% restantes, 12% possuem entre 5 e 10 salários mínimos per capita, 11% de 3 a 5 salários mínimos per capita, 9% entre 2 e 3 salários mínimos per capita. Apenas 8% dos domicílios apresentam uma faixa salarial superior a 10 salários mínimos por pessoa. Existem ainda 3% dos domicílios que declararam não possuir renda. O gráfico da figura 9.5 apresenta o percentual de domicílios por faixa salarial per capita de acordo com o tipo de estrutura urbana.

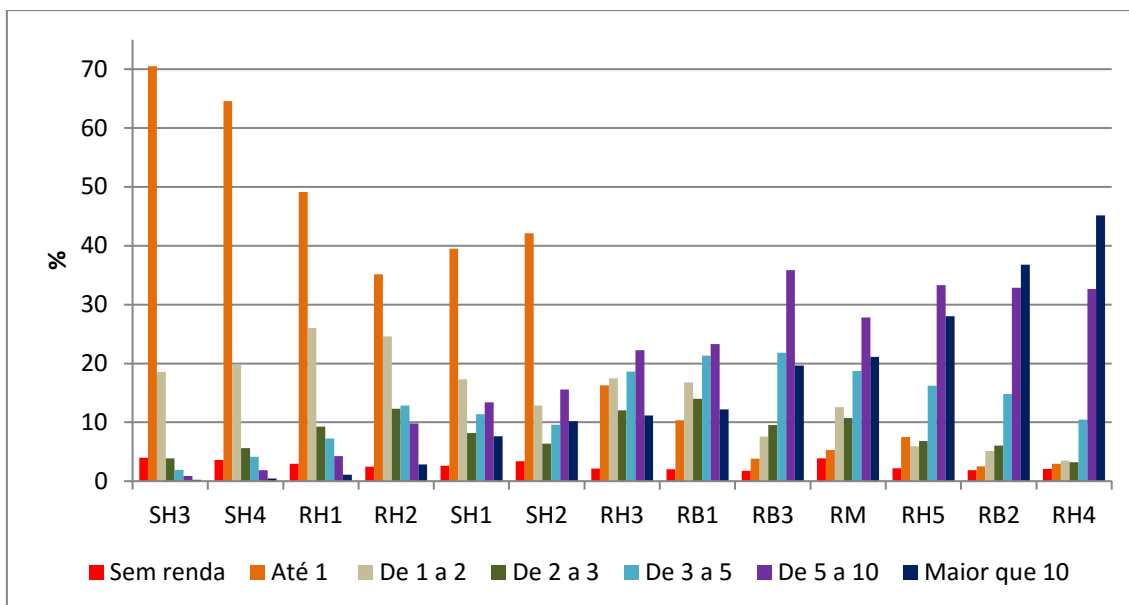


Figura 9.5: Gráfico de Porcentagem de domicílios por faixa salarial per capita para cada UST.

Conforme observado na figura 9.5, as classes SH3 e SH4 possuem, respectivamente, cerca de 70% e 65% dos domicílios na faixa de até 1 salário mínimo per capita, 19% e 20% estão na faixa correspondente de 1 até 2 salários mínimos per capita, o restante possuem renda per capita entre 2 e 10 salários mínimos per capita, nessas classes nenhum domicílio apresenta renda por pessoa superior a 10 salários mínimos e em ambas 4% dos domicílios não possuem renda. Também possuem a maior porcentagem dos domicílios na faixa de até 1 salário mínimo per capita as classes RH1 (49%), SH1 (39%) e RH2 (35%), para a faixa de 1 até 2 salários mínimos per capita a classe RH1 possui 26% as classes RH2 e a classe SH1 17%.

A classe SH2 apresenta o maior percentual na faixa de até 1 salário mínimo per capita, que corresponde à 42%, porém diferente das classes vistas anteriormente, o restante do percentual está distribuído entre as demais faixas de renda de maneira mais uniforme, 16% possuem entre 5 a 10 salários mínimos per capita e 10% acima de 10 salários mínimos per capita. As classes RH3 e RB1 apresentam uma distribuição menos desigual entre as faixas de renda, sendo que para a faixa mais baixa de renda o percentual varia de 10% (RB1) a 16% (RH3) e para a faixa mais alta essa variação é de 11% (RH3) e 12% (RB1), para todas as classes o percentual de domicílios sem renda foi de 2%, nenhuma dessas classes apresenta características morfológicas similares.

As classes RB3 e RM (padrões com maior ocorrência em Águas Claras e em parte da Asa Sul, respectivamente), ambos com característica multifamiliar, sendo que o último também apresenta perfil unifamiliar, possuem a maior parte dos domicílios com

renda per capita superior a 3 salários mínimos, o percentual para cada classe é de respectivamente 22% e 19% para a faixa de 3 a 5 salários mínimos por pessoa, 36% e 28% para a faixa de 5 a 10 salários mínimos per capita e de 20% e 21% para a faixa acima de 10 salários mínimos per capita, os domicílios que não possuem renda contabilizam 2% em RB3 e 4% em RM.

As classes RH4, RB2 e RH5 (sendo respectivamente os padrões predominantes nos Lagos Norte e Sul; Asas Norte e Sul, Sudoeste e Octogonal e; Park Way) possuem os maiores percentuais nas faixas de renda mais altas, respectivamente, 45%, 37% e 28% dos domicílios na faixa acima de 10 salários mínimos per capita, cada classe possui 33% na faixa que corresponde de 5 a 10 a salário mínimos por pessoa, o restante possuem renda per capita entre 2 e 10 salários mínimos per capita, nas classes RH4 e RB2 3% dos domicílios apresentam renda por pessoa de até 1 salário mínimo e para RH5 esse valor é de 8%, em todas as classes 2% dos domicílios não possuem renda.

Em relação ao consumo de água, de acordo com o IBGE (2010), no ano de 2009 aproximadamente 97% da população urbana possuía abastecimento de água via rede geral, cerca de 1% supria a demanda por água por meio de poços ou nascentes e os 2% restantes utilizavam outras formas para o abastecimento. O consumo urbano total de água foi de 76% para áreas residenciais (Áreas Residenciais e Áreas em Consolidação) 13,8% para Áreas de Comércio e Indústria, 8,5% para Áreas de Uso Comum e 1,7% para outros fins.

Deve-se destacar a diferença na abordagem das classes, aqui estamos observando conjuntamente comércio e indústria, pois além desse último representar um pequeno percentual no consumo, tal segmento não é muito representativo no DF, sendo a metrópole menos industrializada do país (Miragaya, 2014).

Dessa forma, sendo o segmento residencial responsável pelo maior percentual de consumo, o enfoque dessa análise será direcionado a essas áreas. Com o intuito de nortear e facilitar o entendimento do consumo de água nas áreas urbanas do DF e para que seja possível realizar uma comparação entre o volume de água consumido para cada padrão UST adotou-se como referência o valor de 110 litros/dia/pessoa preconizado pela OMS.

Aproximadamente 65%, possui um consumo superior ao mínimo estabelecido pela OMS. Os dados de consumo de água per capita por dia foram quantificados por tipo de estrutura urbana (Figura 9.6).

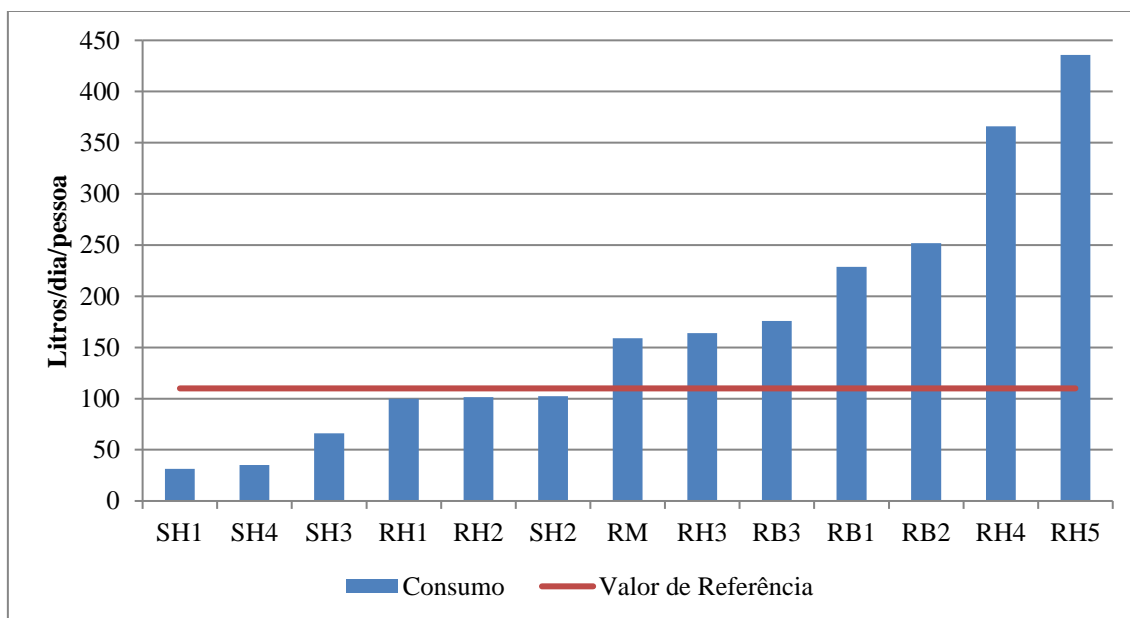


Figura 9.6: Gráfico com consumo médio per capita (litros) diário por padrão de estrutura do DF para o ano 2009.

De acordo com o gráfico da figura 9.6, é possível perceber que das treze classes analisadas apenas seis (SH1, SH4, SH3, RH1, RH2 e SH2) apresentam consumo dentro do estabelecido pela OMS, dessas, os menores consumos são das classes SH1 e SH4 que não ultrapassam 40 litros/dia/pessoa, menos que a metade do valor considerado mínimo. Deve-se ressaltar que essa análise foi realizada apenas com os dados das leituras dos medidores dos domicílios presentes na área urbana (rede geral de abastecimento). A classe SH1 diz respeito a estruturas com características de chácaras, muitas vezes isoladas dos centros urbanos já consolidados, assim cabe considerar que 50% dessa classe é atendida pela rede geral e 33% por meio de poços ou nascentes e o restante por outras fontes (IBGE, 2010), assim esse valor de consumo corresponde a apenas 50% do total.

As classes RM, RH3 e RB3 apresentam o consumo diário por pessoa variando entre 159 e 176 litros de água, superando o valor de referencia de 50 a 66 litros/dia/pessoa. As classes RB1 e RB2 apresentam o consumo variando entre 200 e 250 litros/dia/pessoa, o que chega a ser aproximadamente o dobro do recomendado. As classes que apresentam os maiores consumos são RH4 e RH5 com valores de consumo de água de 366 litros/dia/pessoa e 436 litros/dia/pessoa, respectivamente. O consumo dessas classes

ultrapassa o valor recomendado em aproximadamente quatro vezes. O gráfico da figura 9.7 apresenta a relação entre população, domicílios, consumo em litros e consumo em litros/dia/pessoa.

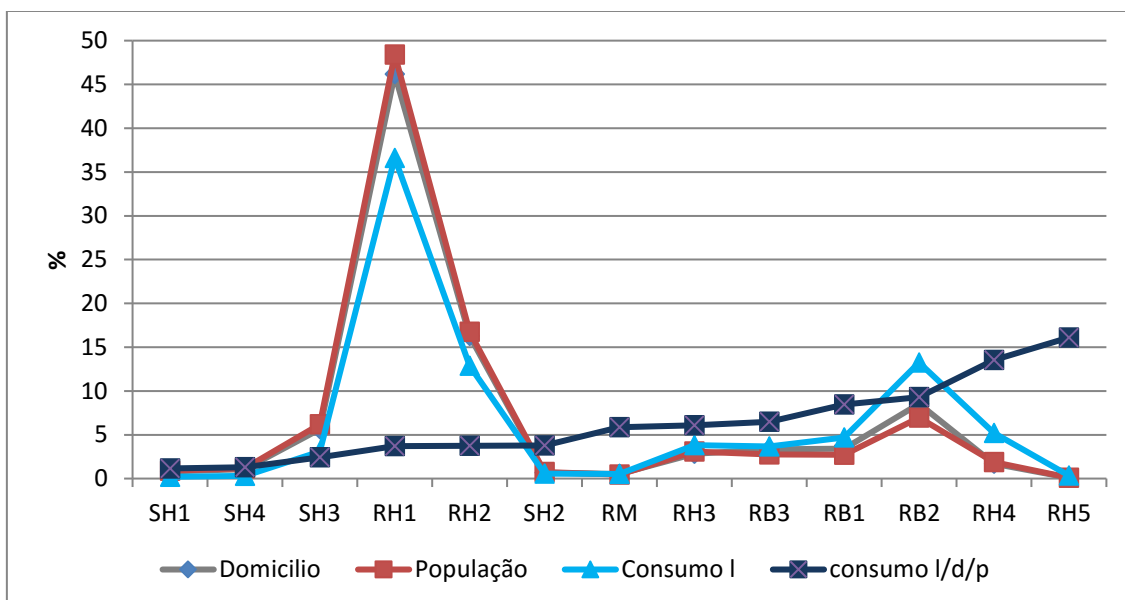


Figura 9.7: Gráfico com a porcentagem da população, domicílios, consumo em litros e consumo per capita litros/dia da área urbana do DF para o ano 2009.

De acordo com o gráfico da figura 9.7, a quantidade de domicílios e a população possuem um padrão uniforme seguindo a mesma tendência, para confirmar essa relação foi realizada uma análise de correlação, que demonstrou que essas duas variáveis possuem um alto grau de correlação, de 0,98. Apenas para as classes RB3, RB1, e RB2 é possível notar um maior distanciamento entre os dois segmentos, sendo que o percentual de domicílios supera o de moradores.

As classes RB1, RB2, e RB3 são estruturas do tipo apartamento sendo diferenciadas entre si pelo padrão estrutural, localizações e no último caso pelo número de andares (superior a seis) e características específicas da própria estrutura. Essas classes são as que possuem o menor número de pessoas por domicílio, juntamente com a classe RM, que é formada por casas e apartamentos, variando de 2,6 a 2,8 moradores/domicílio.

Nota-se que existe uma forte relação entre população e consumo (litros), onde apesar das duas retas não terem uma maior aderência em todas as classes, ambas possuem a mesma tendência. Isso pôde ser verificado por meio da análise de correlação, que resultou num valor de 0,66 e para a variável domicílio esse valor foi um pouco maior, 0,69. É possível notar que nas classes SH1, SH4, SH3, RH1, RH2 e SH2 o valor

percentual do consumo (litros) é inferior ao percentual da população. Já nas demais classes essa relação é oposta.

Assim, observando o valor percentual de população e o valor do consumo (litros/dia/pessoa) fica evidenciado que o consumo possui uma relação oposta com a população, onde excetuando as classes SH1 e SH4, que possuem valores de consumo (litros/dia/pessoa) e população muito próximos, para as demais classes onde o valor percentual da população é mais alto o valor do consumo é baixo e vice-versa.

Dessa forma, acredita-se que a renda ou o tipo de estrutura urbana é que controlam o consumo na área urbana do DF. Para tanto, o gráfico da figura 9.8 apresenta o consumo (litros/dia/pessoa) e o percentual de renda per capita por domicílio, considerando três faixas salariais, essas foram agrupadas para facilitar a visualização no gráfico.

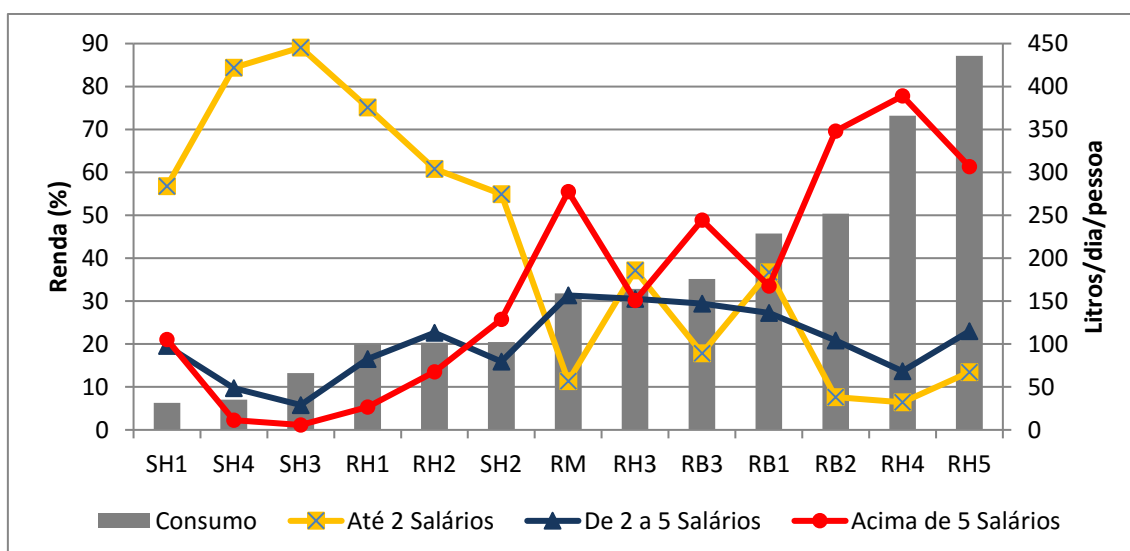


Figura 9.8: Gráfico com consumo (litros/dia/pessoa) por padrão de estrutura urbana e a porcentagem de domicílios para as faixas salariais per capita de até 2 salários mínimos, de 2 a 5 salários mínimos e acima de 5 salários mínimos da área urbana do DF para o ano 2009.

Todas as classes que possuem um consumo dentro do estabelecido pela OMS, ou seja, inferior a 110 litros/dia/pessoa (SH1, SH4, SH3, RH1, RH2 e SH2) possuem mais de 50% dos domicílios com faixa salarial per capita de até 2 salários mínimos. Essas classes possuem uma forte relação da renda com o consumo per capita diário. Nessas classes, o padrão residencial é unifamiliar, na maioria residências de tamanho mais compacto com no máximo 500 m<sup>2</sup>, com exceção da classe SH1 que possui lotes com 2000 m<sup>2</sup> podendo ser superior em alguns casos e da classe SH2 que possui um padrão heterogêneo com relação ao tamanho de área.



A classe RM possui mais de 50% dos domicílios na faixa acima de 5 salários mínimos por pessoa e cerca de 30% na faixa de 2 até 5 salários mínimos per capita e possui um consumo de 159 litros/dia/pessoa. Para a classe RH6 o consumo médio é bem parecido com o da classe RM, porém a maior parte da renda, 37% encontra-se na faixa per capita salarial mais baixa e 30% na faixa per capita mais alta.

Nesse caso, o padrão UST pode ser um importante fator que impacta diretamente no consumo, sendo que no padrão RM, a estrutura é uma mescla de casas com lotes compactos (de até 250 m<sup>2</sup>) sem quintal e apartamentos com no máximo seis andares, já a classe RH3 é constituída de bairros horizontais com lotes que variam de 500 a 2000 m<sup>2</sup>, sendo que a maioria possui jardins e piscinas.

Assim, a renda pode ser um fator que influencia para os valores de consumo na classe RH3 não serem muito mais elevados do que na classe RM, ao passo que o tipo de estrutura evidenciado na classe RH3 demanda um maior gasto de água o que aproxima o valor consumido nas duas classes.

Para as classes residenciais multifamiliares (RB1, RB2 e RB3) o consumo médio varia entre 150litros/dia/pessoa (RB3) e 250litros/dia/pessoa (RB2). Aparentemente o consumo não aponta claramente uma relação com a renda e nem com a estrutura. A classe RB3 possui um padrão com maior número de domicílios (apartamentos com mais de 6 andares) e grande parte possui áreas de lazer com jardins e piscinas, diferentemente dos outros que não possuem área de lazer, e ainda assim possui um consumo inferior.

Já as classes RB1 e RB2 apresentam estrutura morfológica similar (ambas com até 6 andares) e também um consumo médio semelhante 229 litros/dia/pessoa, porém a distribuição da renda é bem distinta, no padrão RB2 70% possuem a renda per capita de até 5 salários mínimos e no padrão RB1 a maior parte da população (37%) apresenta renda per capita na faixa de até 2 salários mínimos.

A relação entre renda e consumo é bastante acentuada nas classes RH4 e RH5, que possuem acima de 60% dos domicílios com renda superior a 5 salários mínimos por pessoa e possuem também o maior consumo per capita diário, acima dos 350 litros/dia/pessoa. Mesmo apresentando maior percentual de domicílios com a mais alta faixa de renda per capita a classe RH4 possui um consumo de 70 litros/dia/pessoa a menos que a classe RH5.

As classes RH4 e RH5 além de um alto poder aquisitivo, demonstrado pela renda, apresentam casas de luxo com jardins e piscinas, onde para a classe RH4 essas residências possuem de 1000 a 2000 m<sup>2</sup> situadas em área nobre e para a classe RH5 os

lotes possuem área superior a 2000 m<sup>2</sup> geralmente localizadas em condomínios fechados. Essa diferença de área, geralmente ocupada por jardins e área de lazer, pode ser o fator que demanda a maior quantidade de água verificada dessa classe em relação a classe RH4.

É interessante observar que as classes RB2, RM e RB3 também apresentam o maior percentual de seus domicílios na faixa de renda per capita mais alta, respectivamente, 70%, 56% e 49%, porém o seu consumo é inferior ao praticado nas classes RH4 e RH5, sendo que o consumo nessas classes chega a ser superior em até 300 litros/dia/pessoa.

A classe RB2, por exemplo, apresenta 9% a mais de domicílios na faixa de renda acima de 5 salários mínimos por pessoa que a classe RH5 e possui um consumo quase duas vezes inferior. É bastante evidente que essa diferença no consumo se deve ao tipo de estrutura dessas classes, sendo que as classes RB2 e RB3 são compostas por apartamentos, a classe RM por apartamentos e casas compactas e as classes RH4 e RH5 apresentam casas com áreas acima de 1000 m<sup>2</sup> com jardins e piscinas o que requer maior quantidade de água para suprir as necessidades desse padrão.

## CONCLUSÃO

Foi possível aferir que a relação entre consumo e população apresenta uma associação inversa, onde ficou evidenciado que os tipos de estruturas com maior população possuem um consumo menor ou o contrário.

Também pode-se perceber que as classes UST que apresentam características horizontais com tamanhos de seus lotes reduzidos (até 500 m<sup>2</sup>) apresentaram a maior porcentagem de domicílios nas faixas de renda mais baixas, apontando também que nestas classes essa variável possui um impacto significativo no consumo de água.

Cabe enfatizar que existe uma diferença significativa no consumo de água entre as classes que possuem caráter vertical e horizontal, mesmo possuindo uma renda similar, o que evidencia que o tipo de estrutura tem uma forte relação com o consumo de água.

## REFERÊNCIAS

- ADASA (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal). 2012. Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH/DF). Brasília. Julho 2012. v. 2, 965 p.
- ADASA, Agência Reguladora de Águas, energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. 2017. Níveis dos reservatórios. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/monitoramento/niveis-dos-reservatorios>>. Acesso em Outubro de 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: Resultados por estado. ANA/Engecorps/Cobrape - Brasília. v2. 90 p. 2010.
- ALMEIDA, R., & OLIVEIRA, N. (2013). Estudo preliminar das análises de pluviogramas de Brasília-DF. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. 1-4 p.
- ALMEIDA, D. L.; BENASSI, R. F. 2015. Crise hídrica e de energia elétrica entre 2014- 2015 na região Sudeste. Revista Hipótese, Itapetininga, v. 1, n.2, p. 65-76, 2015.
- ANA (Agência Nacional de Águas). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2013. 432 p.
- CARDIM, N. 2016. A pior crise hídrica no DF não tem data para acabar. Jornal Metrôpoles. Distrito Federal. Disponível em: <<http://www.metropoles.com/distrito-federal/meio-ambiente/a-pior-crise-hidrica-no-df-nao-tem-data-para-acabar>>. Publicado em: 16 de outubro de 2016. Acesso em: Novembro de 2016.
- CODEPLAN, Companhia de Planejamento do Distrito Federal. 2015. Anuário Estatístico 2015. Disponível em: <<http://www.codeplan.df.gov.br/areas-tematicas/anuario-estatistico-do-df.html>>. Acesso em: Novembro de 2016.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2015a. Mapeamento de objetivo específico do programa temático/ PPA 2016-2019. Disponível em: [https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos\\_pdf/arquivos\\_Lai/Plano\\_Plurianual\\_2016-2019.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos_pdf/arquivos_Lai/Plano_Plurianual_2016-2019.pdf). Acesso em Novembro de 2016.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2015b. Relatório da Administração 2015. Disponível em:<[https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos\\_pdf/RelatoriodaAdministracao\\_2015.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos_pdf/RelatoriodaAdministracao_2015.pdf)>. Acesso em Novembro de 2016.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2016. Escassez hídrica e tarifa de contingência. Disponível em: <[https://www.caesb.df.gov.br/images/seca\\_DF/apresentacaotarifa\\_de\\_contingencia2.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/seca_DF/apresentacaotarifa_de_contingencia2.pdf)>. Acesso em Novembro de 2016.
- CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2016. Relatório anual da administração. Disponível em:<[https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos\\_pdf/RelatoriodaAdministracao\\_2016.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos_pdf/RelatoriodaAdministracao_2016.pdf)>. Acesso em Julho de 2017.
- FRANÇA, V. O.; STRAUCH, J. C. M.; AJARA, C. 2014. Método dasimétrico inteligente: uma aplicação na mesorregião metropolitana de Belém. Revista Brasileira de Cartografia. n. 66/6. p. 1395-1411.
- HECHT, R.; HEROLD, H.; MEINEL, G.; BUCHROITHNER, M. 2013. Automatic derivation of urban structure types from topographicmaps by means of image analysis and machine learning. Leibniz Institute ofEcological Urban and Regional Development.Germany, Leibniz, Germany. 18p.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Censo Demográfico 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/pt/>>. Acesso em Setembro de 2014.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2013. Projeção da População do Brasil e Unidades da Federação por Sexo e Idade para o período 2000-2030. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. 21p.

- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2014. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Notas Metodológicas. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Diretoria de Pesquisas Coordenação de Trabalho e Rendimento, Rio de Janeiro, v. 1, 47p.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2016. Países Olímpicos: Brasil. Disponível em: <<http://paises.ibge.gov.br/#/pt/pais/brasil/info/sintese>>. Acesso em: Novembro de 2016.
- IPEA, INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. 2006. Urbanização - Métrópolis em movimento. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&view=article&id=994:reportagensmaterias&Itemid=39](http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=994:reportagensmaterias&Itemid=39)>. Acesso em Junho de 2015.
- IPEA, INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. 2013. Atlas do desenvolvimento humano no Brasil 2013. PNUD, IPEA, FJP, Brasília. 96 p.
- LORZ, C. ; ABBT-BRAUN, G. ; BAKKER, F. ; BORGES, P. ; BÖRNICK, H. ; FORTES, L. ; FRIMMEL, F. H. ; GAFFRON, A. ; HEBBEN, N. ; HÖFER, R. ; MAKESCHIN, F. ; NEDER, K. ; ROIG, H. L. ; STEINIGER, B. ; STRAUCH, M. ; WALDE, D. ; WEI, H. ; WORCH, E. ; WUMMEL, J. 2011. Challenges of an integrated water resource management for the Distrito Federal, Western Central Brazil: climate, land-use and water resources. Environmental Earth Sciences , v. Online, p. 1866-6280.
- MENNIS, J., HULTGREN, T. 2006. Intelligent dasymetric mapping and its application to areal interpolation. Cartography and Geographic Information Science. v.33, n.3, p.179-194.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. 2016. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p.
- MIRAGAYA, J. 2014. A indústria, o DF e seus mitos. Disponível em: <<http://www.codeplan.df.gov.br/noticias/artigos/item/3058-a-ind%C3%BAstria-o-df-e-seus-mitos.html>>. Acesso em Setembro de 2017.
- PAVIANI, A.; BRANDÃO, A. 2015. Consumo de água em Brasília: crise e oportunidade. Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, Texto para Discussão, n. 8, 28p., 2015.
- SEDUMA (Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente). Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. 2009.
- SILVA, W.T.P.; SOUZA, M.A.A. Modelo para o combate a crises de abastecimento urbano de água. Paranoá, Brasília, n. 10, p. 95-104, 2013
- TUCCI, C. E. M.; Hespanhol, I.; Netto, O. de M. C. 2000a. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a visão mundial da água. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol5 n 3. 31-43.
- TUCCI, C. E. M.; Hespanhol, I.; Netto, O. de M. C. 2000b. A gestão da água no Brasil: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025. Disponível em: <<http://rhama.net/download/artigos/artigo30.pdf>> Acesso em Julho de 2015.
- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro. - Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2013. 96 p. - (Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013). Incl. Bibl.