



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
IG / IB / IQ / FACE-ECO / CDS  
Curso de Ciências Ambientais

BEATRIZ FERRAZ DA COSTA

**ANÁLISE TEMPORAL DO POTENCIAL DE RECARGA DE  
AQUÍFEROS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO  
PARANOÁ, BRASÍLIA - DF**

Brasília - DF

2019

BEATRIZ FERRAZ DA COSTA

**ANÁLISE TEMPORAL DO POTENCIAL DE RECARGA  
DE AQUÍFEROS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO  
PARANOÁ, BRASÍLIA - DF**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Ambientais como requisito parcial à obtenção do título de Bacharela em Ciências Ambientais.

Professor orientador: Dr. Henrique Llacer Roig.

Brasília – DF

2019

BEATRIZ FERRAZ DA COSTA

**ANÁLISE TEMPORAL DO POTENCIAL DE RECARGA DE  
AQUÍFEROS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO  
PARANOÁ, BRASÍLIA - DF**

A Comissão Examinadora, abaixo identificada, aprova o Trabalho de Conclusão do Curso de Ciências Ambientais da Universidade de Brasília da aluna

**Beatriz Ferraz da Costa**

Dr. Henrique Llacer Roig  
Professor Orientador

Dra. Rejane Ennes Cicerelli  
Professora Avaliadora

Dr. Carlos Augusto Klink  
Professor Examinador

Brasília, 4 de julho de 2019.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ca Costa, Beatriz  
ANÁLISE TEMPORAL DO POTENCIAL DE RECARGA DE AQUÍFEROS NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO PARANOÁ, BRASÍLIA - DF / Beatriz  
Costa; orientador Henrique Roig. -- Brasília, 2019.  
50 p.

Monografia (Graduação - Ciências Ambientais) --  
Universidade de Brasília, 2019.

1. Recarga de Aquíferos. 2. UST. 3. Serviços  
Ecossistêmicos . 4. Morfologia Urbana. I. Roig, Henrique,  
orient. II. Título.

A todas as pessoas empenhadas em tornar o mundo um lugar melhor.

## **AGRADECIMENTOS**

Eu não poderia começar este trabalho sem agradecer em primeiro lugar à minha mãe e ao meu pai por investirem na minha educação e apoiarem os meus sonhos.

Às minhas irmãs, Débora e Adriana, por serem as melhores irmãs e amigas do mundo e estarem sempre disponíveis para me ajudar. E à toda minha família pelo apoio e amor incondicional.

À Raquel Madureira, por me acompanhar em todas as manhãs, tarde, noites e madrugadas de estudo; obrigada por tudo.

Ao meu orientador, professor Henrique Roig, pela dedicação, atenção e paciência ao longo de todo este trabalho. Agradeço também aos professores Gustavo Baptista, Isabel Schmidt e Rejane Cicerelli pelo apoio ao longo do curso; e a todos os professores e professoras que compartilharam seus ensinamentos comigo ao longo de minha vida.

À Luciana Vaz, pelo incentivo e compreensão nessa reta final.

À Denise Lima, por me ajudar a manter o equilíbrio emocional necessário para vencer os obstáculos.

Aos meus amigos, por sempre me colocarem para cima e por acreditarem em mim, em especial ao Pedro Carvalho, Nauê Bernardo, Camila Azcutia, Letícia Brito, Diego Monte e Emanuely Oppa. E a todos os meus amigos do curso de Ciências Ambientais.

A todos aqueles que contribuíram de toda e qualquer forma para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

À CAPES, pela bolsa de PIBIC que deu início a este trabalho.

À equipe do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, pela infraestrutura que possibilitou a realização deste trabalho.

## RESUMO

O potencial de recarga de aquíferos é responsável pela manutenção da disponibilidade hídrica, afetando diretamente a provisão de água para todos os seres. Considerando o potencial de recarga de aquíferos um Serviço Ecossistêmico (SE) de Provisão, o objetivo deste trabalho é avaliar a evolução desse Serviço antes e depois da urbanização da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá. Utilizando *software* de SIG – Sistema de Informações Geográficas, imagens de satélites e dados vetoriais, aplicou-se uma metodologia para o cálculo de capacidade de saturação de água no solo, disponibilidade hídrica potencial e potencial de recarga de aquíferos. Através dessa metodologia foi possível comparar o comportamento do uso e ocupação de solo de 1953, de 2009 e de 2016 para o potencial de recarga de aquíferos.

**Palavras-chave:** Recarga de aquíferos; Serviços ecossistêmicos; Morfologia urbana.

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ANA - Agência Nacional de Águas

CN - Curva-número

DF - Distrito Federal

DH - Disponibilidade Hídrica

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MEA - Millennium Ecosystem Assessment

PR - Padrões Rurais e uso e cobertura do solo

PRA - Potencial de Recarga de Aquíferos

RA - Regiões Administrativas do Distrito Federal

S - Capacidade de Saturação do Solo

SE - Serviço Ecossistêmico

Terracap - Companhia Imobiliária de Brasília

Unesco - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

UST - Urban Structure Type

SEDUH - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de solos presentes na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá (Fonte: elaborado pela autora).....	29
Tabela 2: Relações entre declividade e taxa de infiltração (Fonte: Gonçalves et al., 2009).....	30
Tabela 3: Porcentagem de Classes UST e PR entre 2009 e 2016 (Fonte: elaborada pela autora).....	40
Tabela 4: Valores médios de S, DH e PRA para os anos 1953, 2009 e 2016 (Fonte: elaborada pela autora).....	43

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ciclo Hidrológico simplificado (Fonte: COLLISCHONN; DORNELLES, 2013) .....	12
Figura 2: Consequências da diminuição da infiltração da água no solo (Fonte: Elaborado pela autora) .....	13
Figura 3: Ciclo Natural x Ciclo Urbano da Água (Fonte: SERAPHIM, 2018. Traduzido pela autora) .....	14
Figura 4: Regiões Hidrográficas do Distrito Federal e do Brasil .....	15
Figura 5: Localização da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá (Fonte: Elaborado pela autora) .....	16
Figura 6: Mapa Topográfico do Distrito Federal (Fonte: elaborado pela autora) .....	17
Figura 7: Interação entre rio e aquífero (Fonte: COLLISCHONN; DORNELLES, 2013) .....	18
Figura 8: Percentual de artigos publicados entre 2003 e 2015 sobre serviços ecossistêmicos em áreas urbanas. (Fonte: (Muñoz & Freitas (2017)) .....	19
Figura 9: Relação entre Serviços Ecossistêmicos e componentes do Bem-Estar humano (Fonte: MEA, 2005. Traduzido pela autora) .....	20
Figura 10: Análise escalar do espaço urbano (Fonte: Castro, 2017 - modificado de Wickop, 1998; Banzhaf & Höfer, 2008) .....	22
Figura 11: Tipos de UST mapeados (Fonte: CASTRO, 2017) .....	23
Figura 12: Metodologia utilizada baseada em Castro (2017) e Gonçalves et al., (2009) .....	25
Figura 13: Hierarquia das classes UST (Fonte: elaborado pela autora, com base em Castro (2017)) ..	26
Figura 14: Padrões Rurais de Uso e Cobertura do Solo (Fonte: elaborado pela autora) .....	27
Figura 15: Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2016 (Fonte: elaborado pela autora) .....	27
Figura 16: Tipos de Solo (Fonte: Elaborado pela autora) .....	28
Figura 17: Grupos Hidrológicos do Solo (Fonte: Elaborado pela autora) .....	28
Figura 18: Taxa de Infiltração de Água no Solo (Fonte: Elaborado pela autora) .....	31
Figura 19: Potencial de Recarga de Aquíferos para o ano de 2016 (Fonte: Elaborado pela autora) ....	32
Figura 20: Uso e Cobertura do Solo em 1953 na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá (Fonte: Elaborado pela autora) .....	33
Figura 21: Mapa de uso e ocupação do solo de 2009 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	34
Figura 22: Relação padrões urbano x rurais em 2009 (Fonte: Elaborada pela autora) .....	35
Figura 23: Mapa de uso e ocupação do solo de 2009 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	36
Figura 24: Relação padrões urbano x rurais em 2009 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	37
Figura 25: Porcentagem dos Padrões Rurais em 1953 (Fonte: elaborado pela autora) .....	38
Figura 26: Porcentagem das classes UST em 2009 (Fonte: elaborado pela autora) .....	38
Figura 27: Classes UST em 2009 (Fonte: elaborado pela autora) .....	39
Figura 28: Classes UST em 2016 (Fonte: elaborado pela autora) .....	40
Figura 29: Capacidade de Saturação dos Solos em 1953 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	44
Figura 30: Capacidade de Saturação dos Solos em 2009 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	44
Figura 31: Capacidade de Saturação dos Solos em 2016 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	44
Figura 32: Disponibilidade Hídrica em 1953 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	45
Figura 33: Disponibilidade Hídrica em 2009 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	45
Figura 34: Disponibilidade Hídrica em 2016 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	45
Figura 35: Potencial de Recarga de Aquíferos em 1953 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	46
Figura 36: Potencial de Recarga de Aquíferos em 2009 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	46
Figura 37: Potencial de Recarga de Aquíferos em 2016 (Fonte: Elaborado pela autora) .....	46

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. OBJETIVO.....	14
1.2. ÁREA DE ESTUDO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. CICLO HIDROLÓGICO.....	18
2.2. SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	18
2.3. MORFOLOGIA URBANA.....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1. UST.....	33
4.2. SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE RECARGA.....	41
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXO I: VALORES DE CN UTILIZADOS PARA CADA UST E PR DE ACORDO COM O TIPO DE SOLO.....	49

## 1. INTRODUÇÃO

Estiagens, secas, enxurradas e inundações representam a maioria dos desastres naturais ocorridos no Brasil. Dos 5.570 municípios brasileiros, 2.839 (48%) decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública, devido à seca ou à estiagem, ao menos uma vez entre 2003 e 2017. O Distrito Federal foi a unidade da federação com maior média de pessoas afetadas pela seca, devido à crise hídrica de 2017 que ocasionou o racionamento de água (ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018). O aumento da população, do uso e ocupação do solo de sem o devido planejamento e das atividades econômicas intensivas contribuem para a vulnerabilidade da segurança hídrica.

Como o Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água doce do mundo (ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018), os problemas hídricos muitas vezes são subestimados ou ignorados. Nesse sentido, o conceito de segurança hídrica é essencial ao debate sobre problemas hídricos. De acordo com o Plano Nacional de Segurança Hídrica

“A Segurança Hídrica, de acordo com o conceito da Organização das Nações Unidas (ONU), existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado à secas e cheias, devendo ser consideradas as suas quatro dimensões como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país (ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).”.

O comportamento global da água é explicado pelo ciclo hidrológico, demonstrado na Figura 1. A energia do sol aquece o ar, o solo e as águas superficiais, sendo responsável pela evaporação da água líquida e pela evapotranspiração da água do solo, através das plantas. O vapor de água é condensado no ar, formando nuvens. Em circunstâncias específicas de pressão e temperatura, o vapor condensado nas nuvens volta à superfície da Terra pela precipitação.

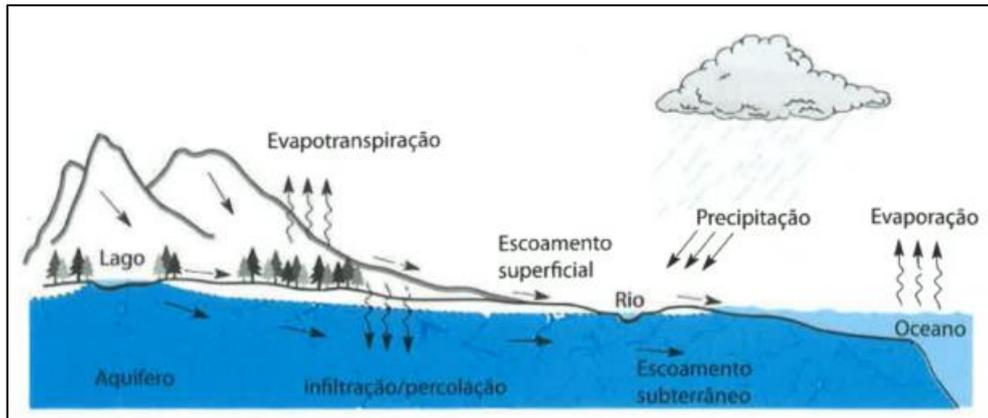


Figura 1: Ciclo Hidrológico simplificado (Fonte: COLLISCHONN; DORNELLES, 2013)

A água subterrânea é de extrema importância, pois corresponde a aproximadamente 30% das reservas de água doce do mundo. Desconsiderada a água doce na forma de gelo, a água subterrânea corresponde a 99% da água doce no mundo (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

A manutenção da qualidade e da quantidade de água disponível nos aquíferos é fundamental para a segurança hídrica, pois os aquíferos controlam a disponibilidade hídrica superficial nos rios e lagos. A Figura 2 ilustra as consequências da diminuição da infiltração da água no solo.

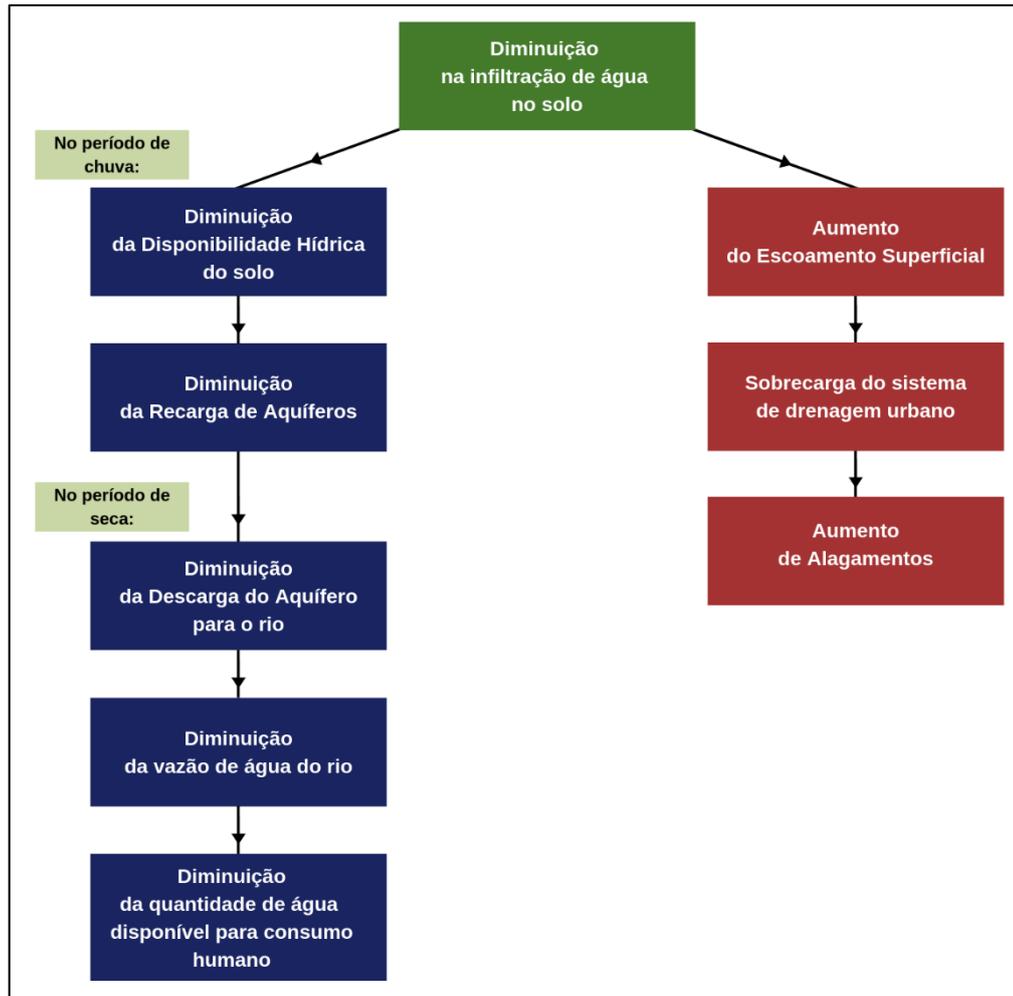


Figura 2: Conseqüências da diminuição da infiltração da água no solo (Fonte: Elaborado pela autora)

Ao perceber a extrema influência da urbanização no ciclo hidrológico, em relação à velocidade, proporção e qualidade com que ocorrem as fases do ciclo, alguns autores passaram a denominar um novo ciclo hidrológico: o ciclo urbano da água, conforme exposto na Figura 3 (McPhearson; Hamstead; Kremer, 2014 apud SERAPHIM, 2018).

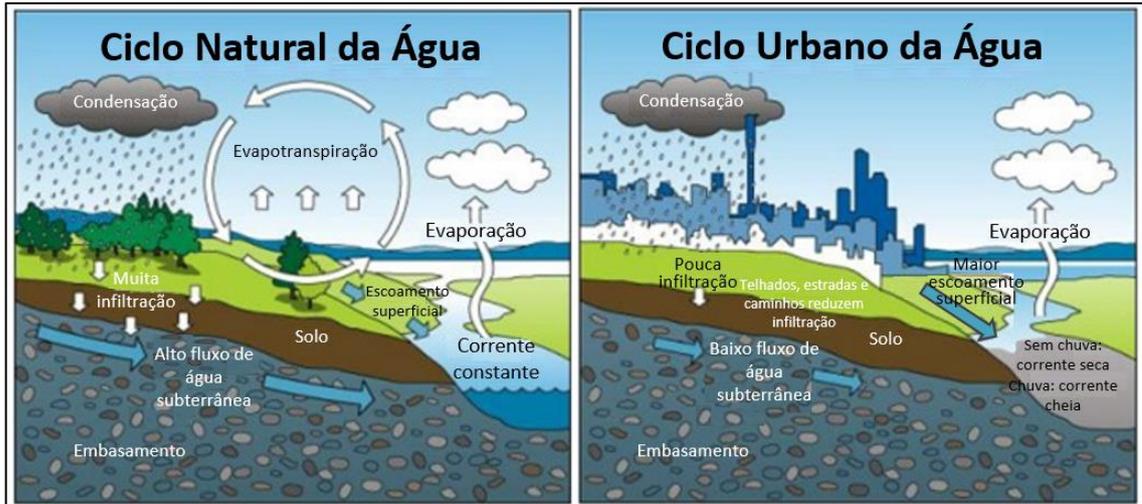


Figura 3: Ciclo Natural x Ciclo Urbano da Água (Fonte: SERAPHIM, 2018. Traduzido pela autora)

A vida humana depende diretamente do ciclo hidrológico e das funções que ele provê para o ecossistema. Segundo Daly & Farley (2004), são chamados Serviços Ecosistêmicos (SE) as funções providas pelo ecossistema que possuem valor para os seres humano. O (MEA, 2005) define Serviços Ecosistêmicos como “os benefícios que as pessoas obtêm do ecossistema”. Em ambas as definições, conclui-se que o ciclo hidrológico é responsável por prover inúmeros Serviços Ecosistêmicos.

Segundo o MEA (2005), o fornecimento de água está incluído nos Serviços de Provisão, que são essenciais para saúde, segurança e materiais básicos para a vida.

Neste trabalho será abordado o Serviço Ecosistêmico Potencial de Recarga de Aquíferos e a maneira como ele se comporta antes e depois do processo de urbanização, especificamente na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, em Brasília, Distrito Federal.

### 1.1.OBJETIVO

O objetivo geral da pesquisa é observar o comportamento do potencial de recarga de aquíferos na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, em, Brasília, Distrito Federal, antes e depois do processo de urbanização da cidade. Para viabilizá-lo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- I. analisar a alteração de uso e ocupação do solo entre os anos 1953, 2009 e 2016; e
- II. analisar em longo prazo (entre 1953 e 2009) e a curto prazo (entre 2009 e 2016) o comportamento do Serviço Ecosistêmico Potencial de Recarga de Aquíferos.

Ao longo do tópico 2 é realizada uma revisão bibliográfica que aborda os conceitos de ecossistêmicos e morfologia urbana, essenciais ao entendimento do trabalho. No tópico 3, são explicitados os materiais e as metodologias utilizados em cada etapa até a obtenção dos resultados propostos. O tópico 4 é destinado à exposição e à discussão dos resultados obtidos. As conclusões e as recomendações propostas constam no tópico 5.

## 1.2.ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal (DF), localizado na região Centro-Oeste do Brasil, possui área territorial de 5.779,997 km<sup>2</sup>, população estimada de 2.974.703 habitantes e densidade populacional de 444,60 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). O DF está localizado em uma área drenada por três das mais importantes bacias hidrográficas brasileiras: São Francisco, Tocantins/Araguaia e Paraná, denominadas Regiões Hidrográficas. A Figura 4 ilustra as Regiões Hidrográficas dentro do DF e dentro do Brasil.

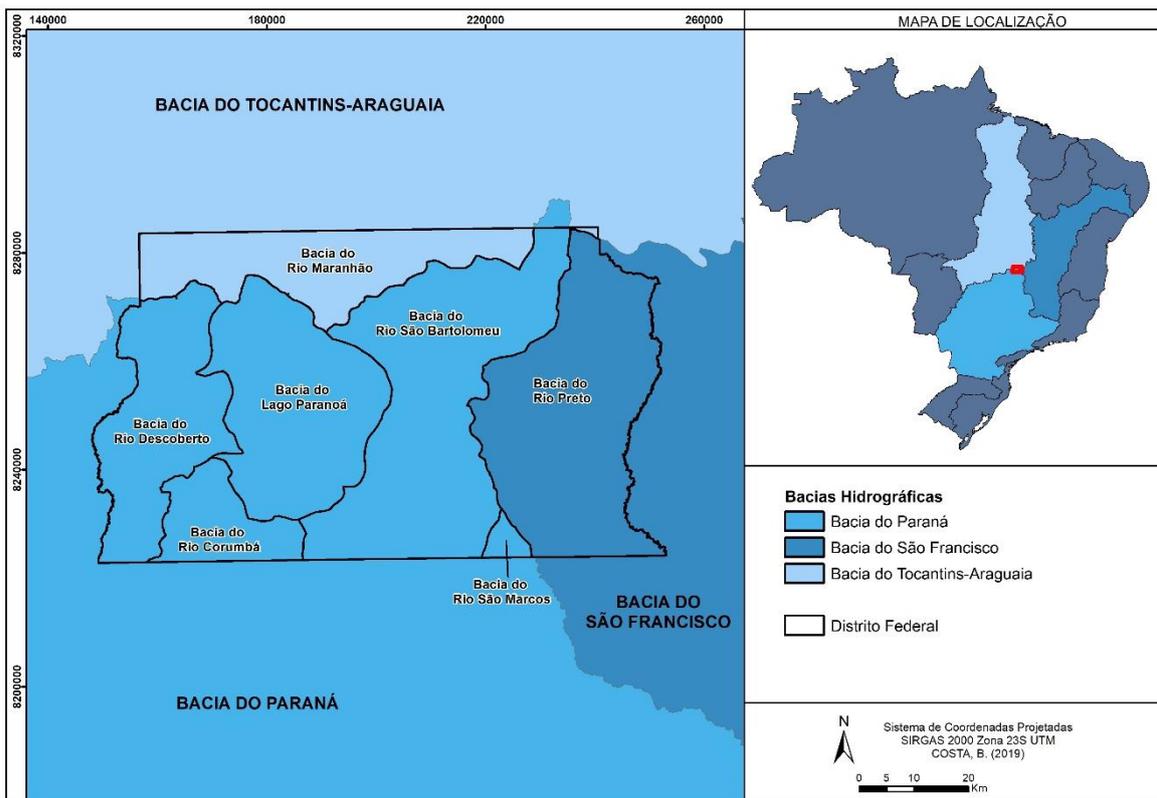


Figura 4: Regiões Hidrográficas do Distrito Federal e do Brasil

A área de interesse da pesquisa é a Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá localizada em Brasília – Distrito Federal, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, pertencente à Região Hidrográfica do Paraná e abrange uma área de aproximadamente 1.034,07 km<sup>2</sup>, que

corresponde a cerca de 18% do território do DF, envolvendo dez Regiões Administrativas: RA I - Brasília, RA XVI - Lago Sul, RA XVIII - Lago Norte, RA XI - Cruzeiro, RA VIII - Núcleo Bandeirante, RA XIX - Candangolândia, RA XVII - Riacho Fundo, parte da RA X - Guará, parte da RA III - Taguatinga, e a área urbana da RA VII - Paranoá. (FONSECA, 2001), como pode ser observado na Figura 5. A área da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá é separada pelo relevo local formando um grande planalto com poucas variações de altitude ao longo da bacia, com predomínio de relevo plano, suavemente ondulado e ondulado (Figura 6).

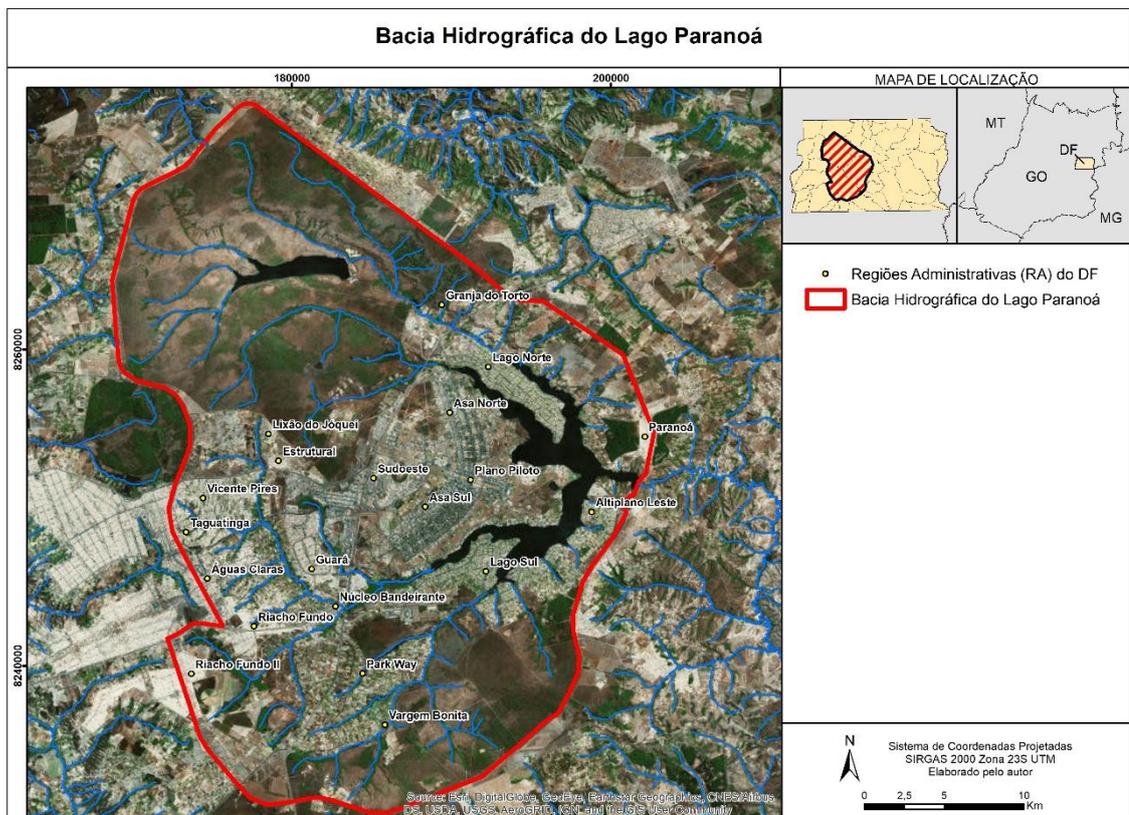


Figura 5: Localização da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá (Fonte: Elaborado pela autora)

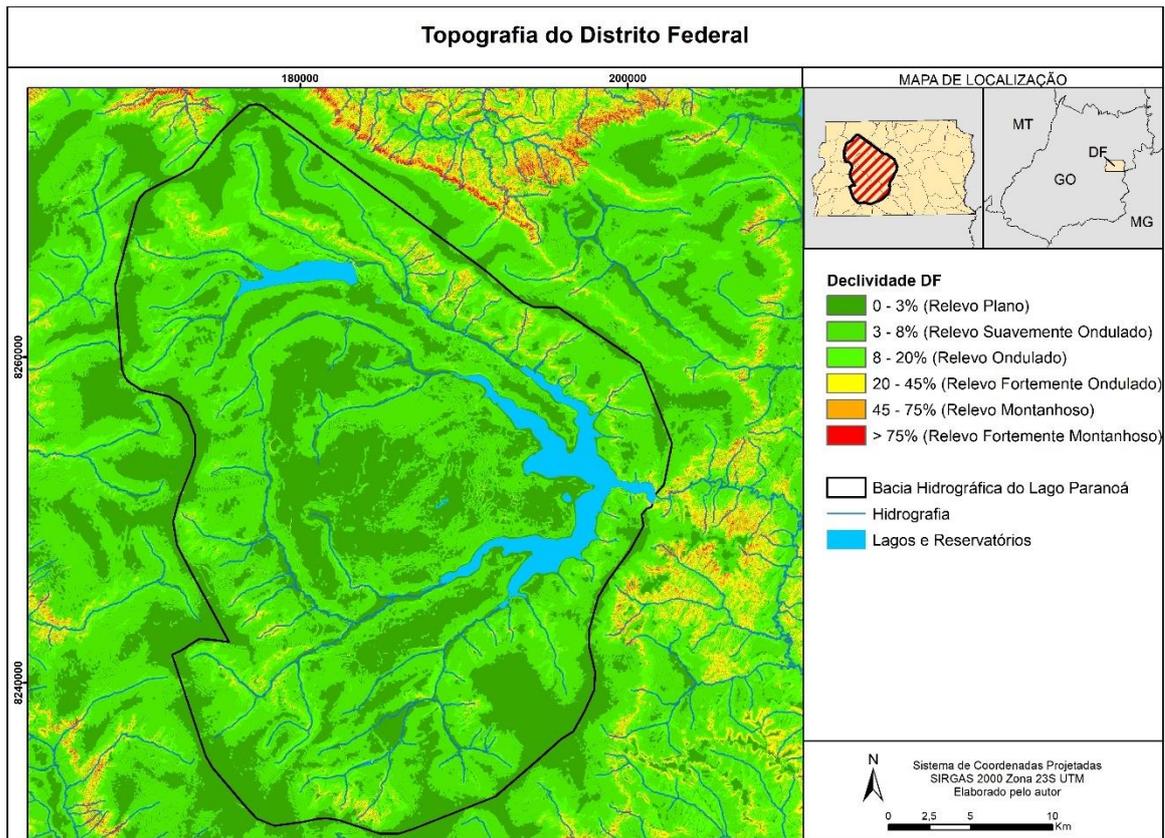


Figura 6: Mapa Topográfico do Distrito Federal (Fonte: elaborado pela autora)

Seu clima é caracterizado por uma sazonalidade com dois períodos distintos: o período seco, de maio a setembro, com baixas taxas de precipitação, baixa nebulosidade, alta taxa de evaporação e baixa umidade relativa do ar; e o período chuvoso, com altas taxas de precipitação e umidade relativa do ar, e altas temperaturas entre os meses de outubro e abril. A precipitação média anual varia entre 1.200 a 1.700 mm (FONSECA, 2001).

Dentro de uma bacia hidrográfica existem classificações de sub-bacias. A Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá é uma sub-bacia do Rio Paraná, que, por sua vez, é uma sub-bacia do Rio São Bartolomeu, e assim por diante até que seja alcançada a maior bacia hidrográfica, de 1ª ordem. Segue a ordem de classificação da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná até a área de estudo deste trabalho (FONSECA, 2001):

- Bacia Hidrográfica do Rio Paraná (1ª ordem)
- Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (2ª ordem)
- Bacia Hidrográfica do Rio Corumbá (3ª ordem)
- Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu (4ª ordem)
- Bacia Hidrográfica do Rio Paranoá (5ª ordem)
- **Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá (6ª ordem)**

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Abordando o potencial de recarga de aquíferos como um serviço ecossistêmico de provisão, o capítulo de Revisão Bibliográfica busca explicitar os conceitos necessários para a compreensão dos principais tópicos deste trabalho: serviços ecossistêmicos e morfologia urbana. Os SE são fornecidos por meio do bom funcionamento do ecossistema; e o ecossistema é drasticamente afetado pelo crescimento urbano, tornando a urbanização um componente que altera a capacidade do ecossistema de prover o serviço em questão.

### 2.1.CICLO HIDROLÓGICO

A precipitação que atinge a superfície pode infiltrar no solo ou escoar sobre o solo. A água que infiltra umedece o solo, alimenta os aquíferos e cria o fluxo de água subterrânea, enquanto a água que escoar pode chegar a um curso d'água ou ficar acumulada em depressões. Em escala global, o ciclo hidrológico é fechado.

No subsolo, a água fica contida em aquíferos, formações geológicas consolidadas ou não em que os poros estão saturados de água. A água que infiltra no solo e percola até zonas saturadas é chamada de disponibilidade hídrica e é ela que recarrega os aquíferos e permite sua manutenção. Durante épocas de chuva, os aquíferos são recarregados e durante as épocas de estiagem os aquíferos são responsáveis por manter a vazão dos rios, conforme demonstrado na Figura 7. Em regiões relativamente secas, o rio pode vir a abastecer o aquífero com água para manter reservas subterrâneas.

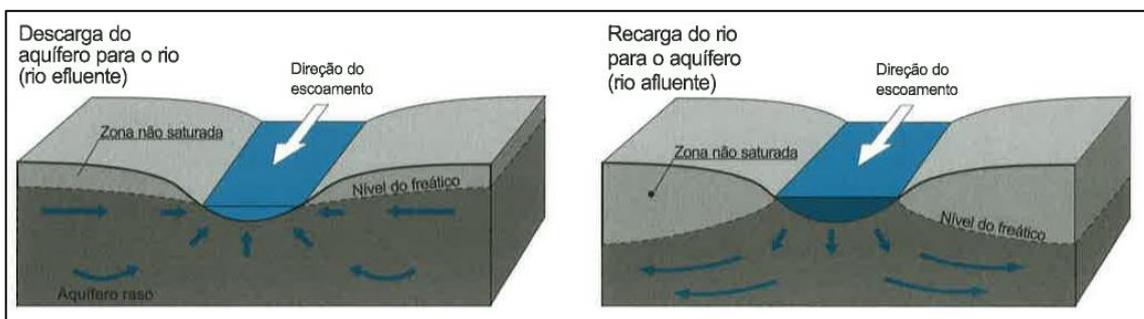


Figura 7: Interação entre rio e aquífero (Fonte: COLLISCHONN; DORNELLES, 2013)

### 2.2.SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Ecossistemas são formados por fatores bióticos, a saber, plantas, animais e microrganismos, e por fatores abióticos, isto é, elementos químicos, ar, água, solo e minerais.

Ecologistas dividem os ecossistemas em dois grupos igualmente importantes e mutuamente dependentes: estruturas ecossistêmicas e funções ecossistêmicas (Daly, Farley, 2004).

Estruturas ecossistêmicas são relacionadas aos indivíduos e à comunidade de plantas e animais, que, juntos, provêm as funções ecossistêmicas, tais como a ciclagem de nutrientes, a regulação de gases, a regulação climática e o ciclo hidrológico. Não se sabe ao certo como se dá essa relação de provimento das funções ecossistêmicas e muitas vezes não somos capazes sequer de numerar todas as funções exercidas pelas estruturas ecossistêmicas (DALY; FARLEY, 2004).

De todas as funções providas pelo ecossistema, chamamos Serviços Ecossistêmicos as que possuem valor para o bem-estar humano (DALY; FARLEY, 2004). Quanto mais saudável e equilibrado é o ecossistema, mais serviços são gerados e de melhor qualidade. Contudo, à medida em que há impactos negativos e degradação do ecossistema, seus serviços são afetados de maneira até então desconhecida, ou seja, há uma lacuna na literatura.

Serviços Ecossistêmicos é um tema que tem ganhado visibilidade mundial nas últimas duas décadas principalmente por possuir caráter integrativo, interdisciplinar e complexo (GRUNEWALD; BASTIAN, 2015a). Buscando compreender o panorama mundial de publicações acerca de Sistemas Ecossistêmicos voltados para o ambiente urbano, Muñoz & Freitas (2017) realizou uma revisão das publicações na base de dados Web of Science entre 2003 e 2015 para quantificar a porcentagem de artigos que trata do tema (Figura 8)

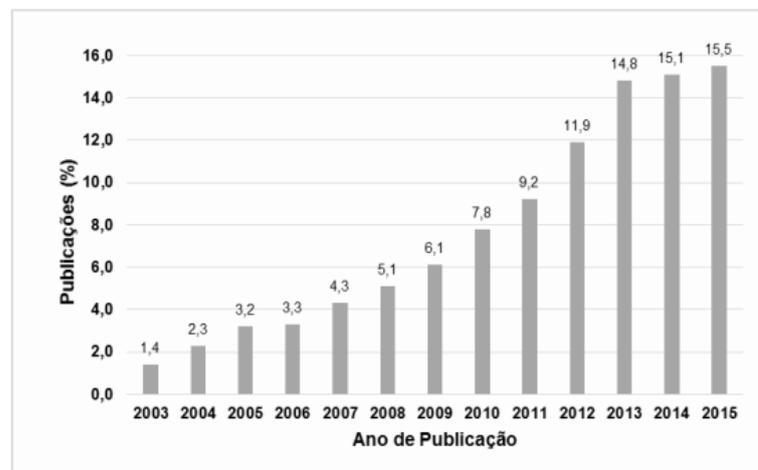


Figura 8: Percentual de artigos publicados entre 2003 e 2015 sobre serviços ecossistêmicos em áreas urbanas. (Fonte: (Muñoz & Freitas (2017)

De acordo com o *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), Serviços Ecossistêmicos são os benefícios que as pessoas obtêm do ecossistema. Esses Serviços podem ser divididos em quatro categorias: Serviços de Provisão, Serviços de Regulação, Serviços

Culturais e Serviços de Suporte. A Figura 9 ilustra a relação que os Serviços Ecossistêmicos têm com o bem-estar humano.

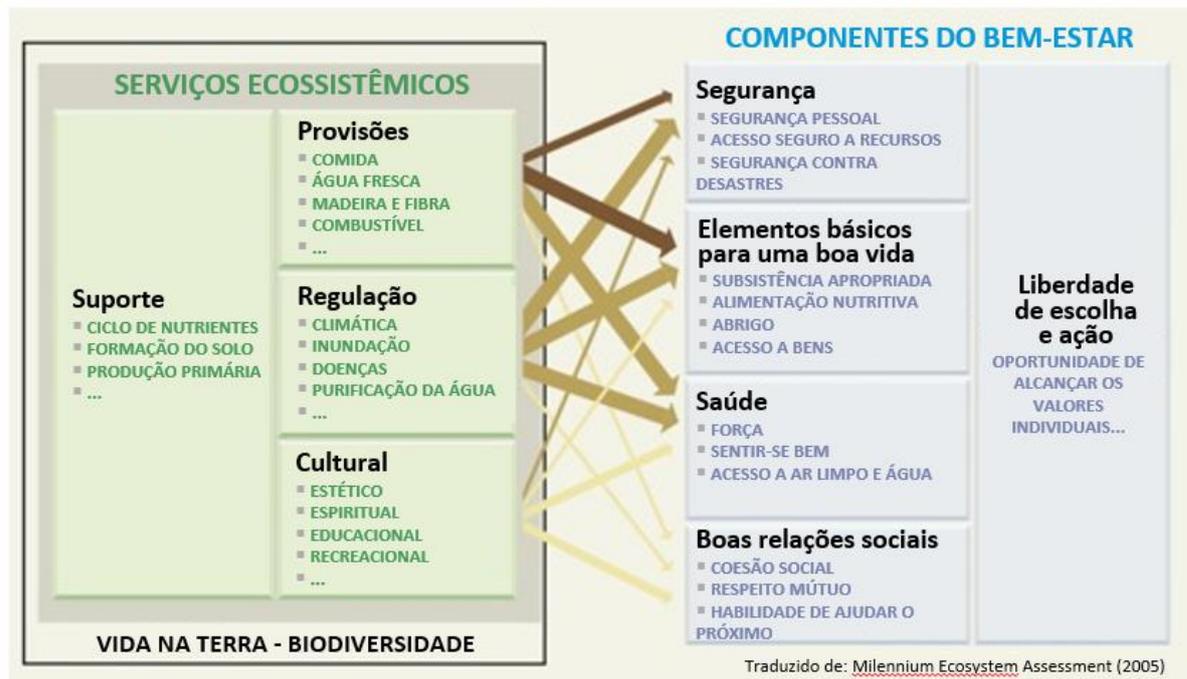


Figura 9: Relação entre Serviços Ecossistêmicos e componentes do Bem-Estar humano (Fonte: MEA, 2005. Traduzido pela autora)

Analisando as relações propostas por MEA (2005), é possível identificar que as setas mais escuras e mais grossas representam os Serviços de maior influência para o bem-estar humano, enquanto as setas mais finas e mais claras exercem menor influência. Na Figura 7 são colocados como Componentes do bem-estar: Segurança, Elementos básicos para uma boa vida, Saúde, Boas relações sociais e Liberdade de escolha e ação; e cada um dos componentes está relacionado a um ou mais Serviços. As relações estão estruturadas de maneira que caso um Serviço de Provisão, por exemplo, seja afetado, afetaria todos os Componentes do bem-estar com diferentes intensidades.

Logo os Serviços de Provisão estão apontados como sendo os de maior influência para o bem-estar, principalmente na área de Elementos básicos para uma boa vida, Segurança e Saúde. Serviços de Provisão são os responsáveis por prover para a humanidade desde os fatores mais básicos para a vida humana (água, comida) até fatores secundários, porém sem os quais a humanidade não conseguiria manter os padrões de vida atuais (madeira, combustível).

Neste trabalho iremos analisar o comportamento do Potencial de Recarga de Aquífero como um Serviço de Provisão de água essencial para a manutenção da disponibilidade hídrica.

Nos últimos 50 (cinquenta) anos, os seres humanos alteraram os ecossistemas de maneira mais rápida e extensiva do que em qualquer outro período da história da humanidade. Aproximadamente 60% dos Serviços Ecossistemas são degradados ou usados de maneira insustentável. Os impactos gerados por essa degradação são imensuráveis e diminuirão

substancialmente os benefícios que as futuras gerações vão obter dos ecossistemas (MEA, 2005).

Apesar de, em geral, a literatura mundial abordar o termo Serviços Ecossistêmicos com enfoque em áreas rurais, os Serviços em ambientes urbanizados estão diretamente associados à morfologia urbana (Heineberg, 2007; Haase & Rall, 2014, apud CASTRO, 2017). O aspecto ecossistêmico da morfologia urbana permite estudar a cidade sob aspectos visuais e estruturais e possibilita a exploração e sistematização da cidade enquanto objeto concreto, por meio da identificação de seus potenciais de prestação de SE (Heiden et al., 2012; Kruger, 1996, apud CASTRO, 2017)

Essa abordagem permite a definição de perdas ambientais e socioeconômicas, assim como a verificação dos padrões urbanos que tem ajudado na melhoria da qualidade de vida e do bem-estar humano (Haase et al., 2014; Beichler et al., 2017, apud CASTRO, 2017).

### 2.3.MORFOLOGIA URBANA

O termo morfologia vem de estudo (logia) das formas (morfo). Portanto, o estudo da morfologia urbana constitui um método que analisa os componentes físico-espaciais (lotes, ruas, casa, edifícios, áreas livres) e socioculturais (usos, apropriação, ocupação) da forma urbana e a maneira com que esses componentes variam ao longo do tempo (AMORIM; TANGARI, 2015).

Conforme Raith (2000), o mapeamento e delineamento do território de maneira convencional é limitado por não considerar a potencialidade de utilização das características de cada classe de uso e ocupação do solo. A Figura 10 ilustra as diferentes escalas de estudo do espaço urbano.

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	Amplio	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 10: Análise escalar do espaço urbano (Fonte: Castro, 2017 - modificado de Wickop, 1998; Banzhaf & Höfer, 2008)

A fim de possibilitar um melhor entendimento de como se estrutura a morfologia urbana e suas características pouco exploradas, criou-se o conceito de *Urban Structure Type* - UST (Tipo de Estrutura Urbana). Por se tratar de um conceito relativamente novo, ainda não há, na literatura científica, uma definição formal sobre o assunto. Entretanto, segundo Wickop et al., (1998) e Banzhaf & Höfer (2008) (apud CASTRO, 2017), a UST é capaz de agregar objetos únicos e fornecer informações mais específicas sobre esses objetivos, como quantidade e qualidade de espaços verdes, grau de impermeabilidade, tipo de construção e uso da terra.

UST é um tipo de classificação do uso do solo que visa facilitar a definição e a descrição de regiões espacialmente homogêneas em termos da relação entre os tipos de elementos básicos e outras características físicas, como tamanho da construção, taxa de ocupação e arranjo (Haggag & Ayad, 2002; Tang, 2007; Hetch et al., 2013 apud CASTRO, 2017). Na Figura 11 são ilustrados alguns tipos de UST mapeados ao longo deste trabalho.

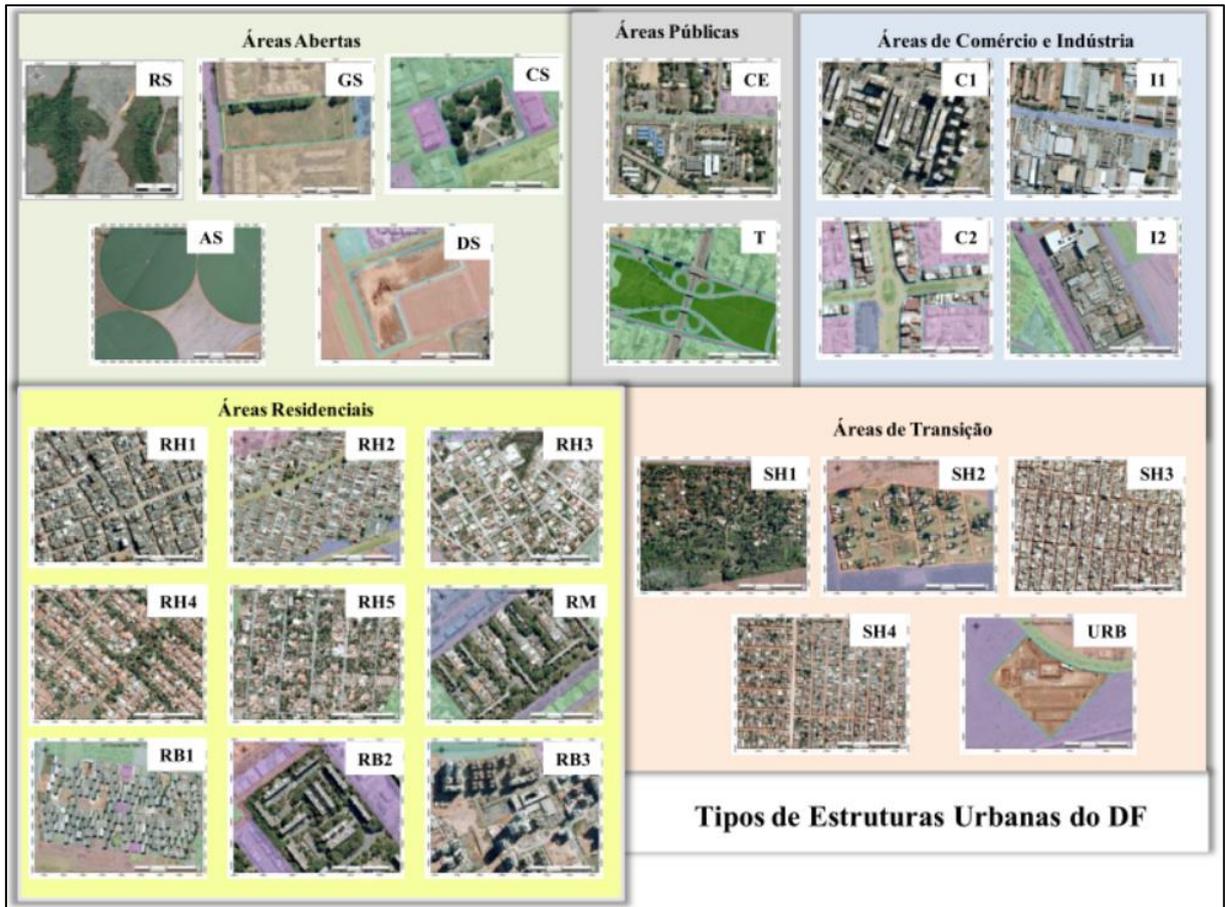


Figura 11: Tipos de UST mapeados (Fonte: CASTRO, 2017)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho foi dividida em duas partes: 1. classificação UST; e 2. geração do Serviço Ecossistêmico.

Para a realização deste trabalho foram utilizadas imagens plêiades e ortofotos com resolução de 0,25m; Mapa de Vegetação do Distrito Federal, com escala de 1:10.000; Mapa de Tipos de Solo, com escala de 1:100.000; Curvas de Nível com resolução de 5 metros; o mapeamento UST da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá para o ano de 2009, realizado por Castro (2017), possibilitando a geração de mapas de Potencial de Recarga de Aquíferos para os anos 1953, 2009 e 2016, com escala de 1:10.000.

O trabalho de Castro (2017) foi utilizado como base para a definição do Uso e Ocupação do Solo de cada Tipo de Estrutura Urbana (*Urban Structure Type* – UST), possibilitando a divisão do território da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá em 25 (vinte e cinco) UST e 9 (nove) padrões rurais de uso e cobertura do solo.

Por meio de estudos sobre Serviços Ecossistêmicos e morfologia urbana, com utilização *software* de Sistema de Informações Geográficas - SIG, este trabalho apresenta uma comparação quantitativa do Potencial de Recarga de Aquíferos (PRA) da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, localizada em Brasília, Distrito Federal, nos anos 1953, 2009 e 2016, gerando uma análise temporal que possibilita a comparação do Serviço antes e depois da construção de Brasília.

O passo a passo da metodologia pode está descrito nas 9 (nove) etapas a seguir, e se encontra resumido na Figura 12.

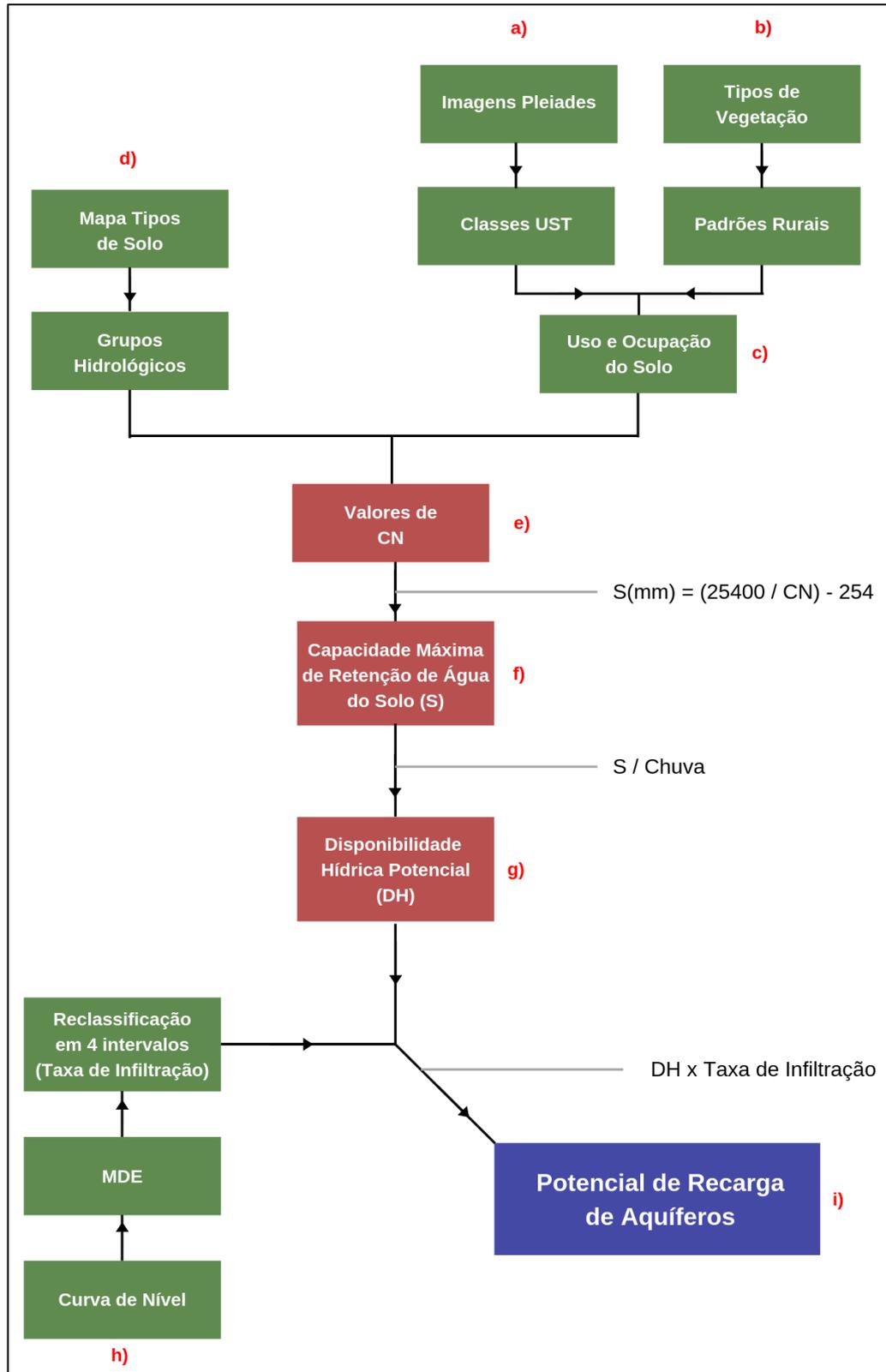


Figura 12: Metodologia utilizada baseada em Castro (2017) e Gonçalves et al., (2009)

(a) Mapeamento UST: O mapeamento das classes de Tipos de Estruturas Urbanas (UST) utilizando método semiautomático, realizado com base em imagens Pleiades e ortofotos.

A área urbana foi mapeada de acordo com a chave de classificação proposta por Castro (2017), considerando três níveis hierárquicos, de maneira que o primeiro nível é dividido pelas características físicas e funcionais do uso do solo, de maneira mais ampla, e o terceiro nível é dividido pelo tamanho do lote, taxa de ocupação, padrão construtivo e quantidade de área verde, de maneira mais específica. Na Figura 13 pode-se observar a chave de classificação utilizada.

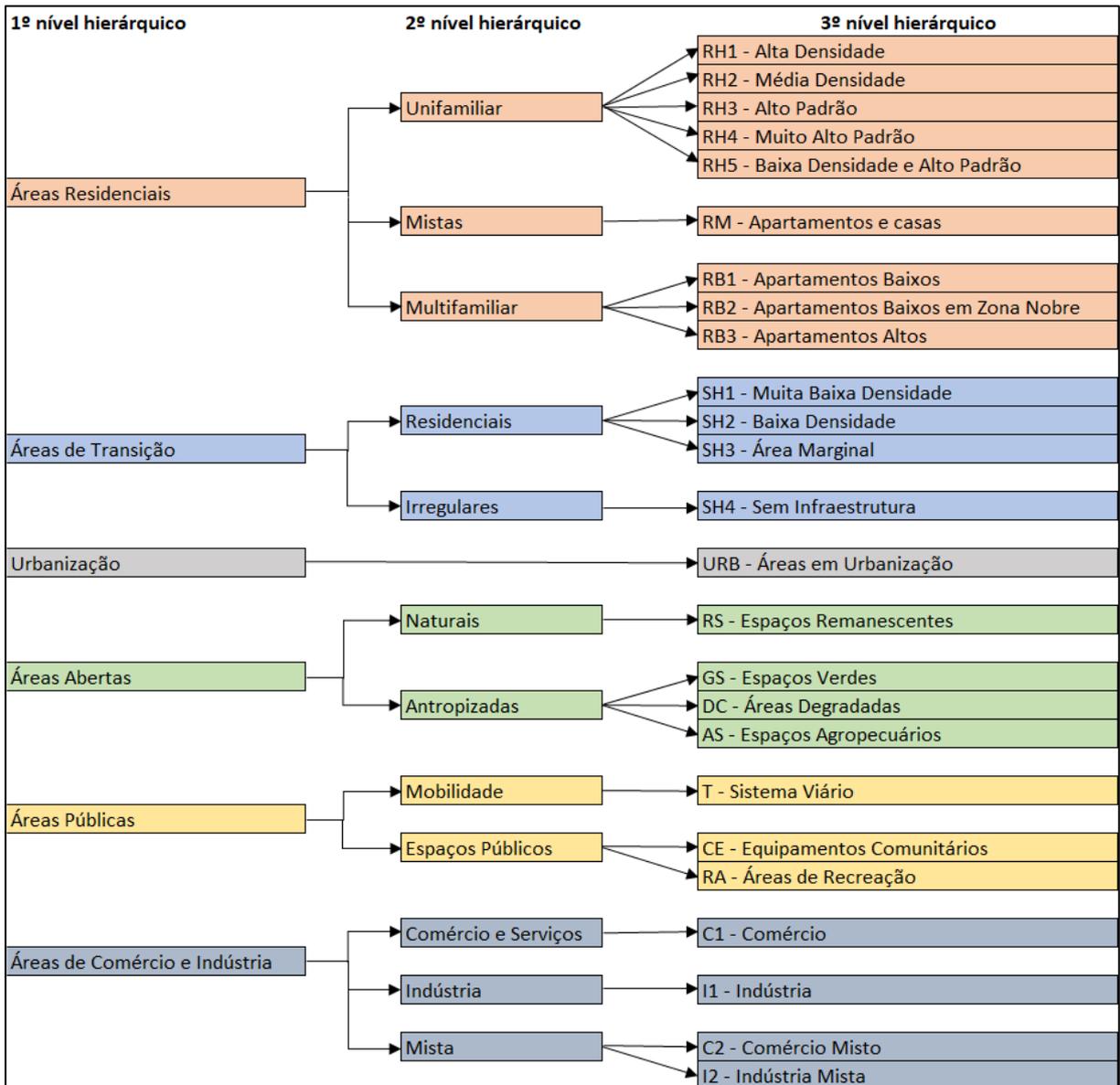


Figura 13: Hierarquia das classes UST (Fonte: elaborado pela autora, com base em Castro (2017)).

(b) Mapeamento Padrões Rurais: Primeiramente foi realizado o recorte da área urbana dentro da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá. A área remanescente foi classificada de

acordo com o mapa de tipos de vegetação da EMBRAPA, fazendo o uso de nove classificações de Padrões Rurais (PR). Na Figura 14 pode-se observar a chave de classificação.

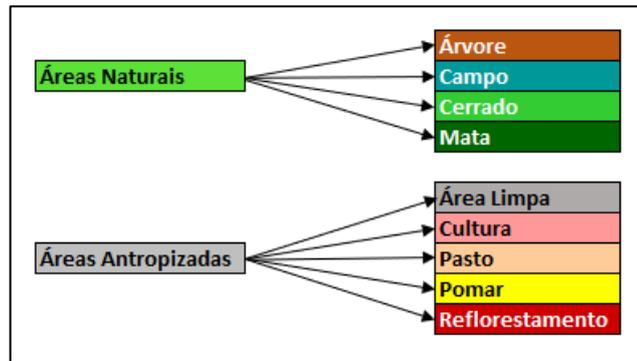


Figura 14: Padrões Rurais de Uso e Cobertura do Solo (Fonte: elaborado pela autora)

(c) Com a combinação dos mapas de UST e PR, tem-se o mapa final de Uso e Ocupação do Solo. A Figura 15 mostra o mapa final de Uso e Ocupação do Solo para o ano de 2016.

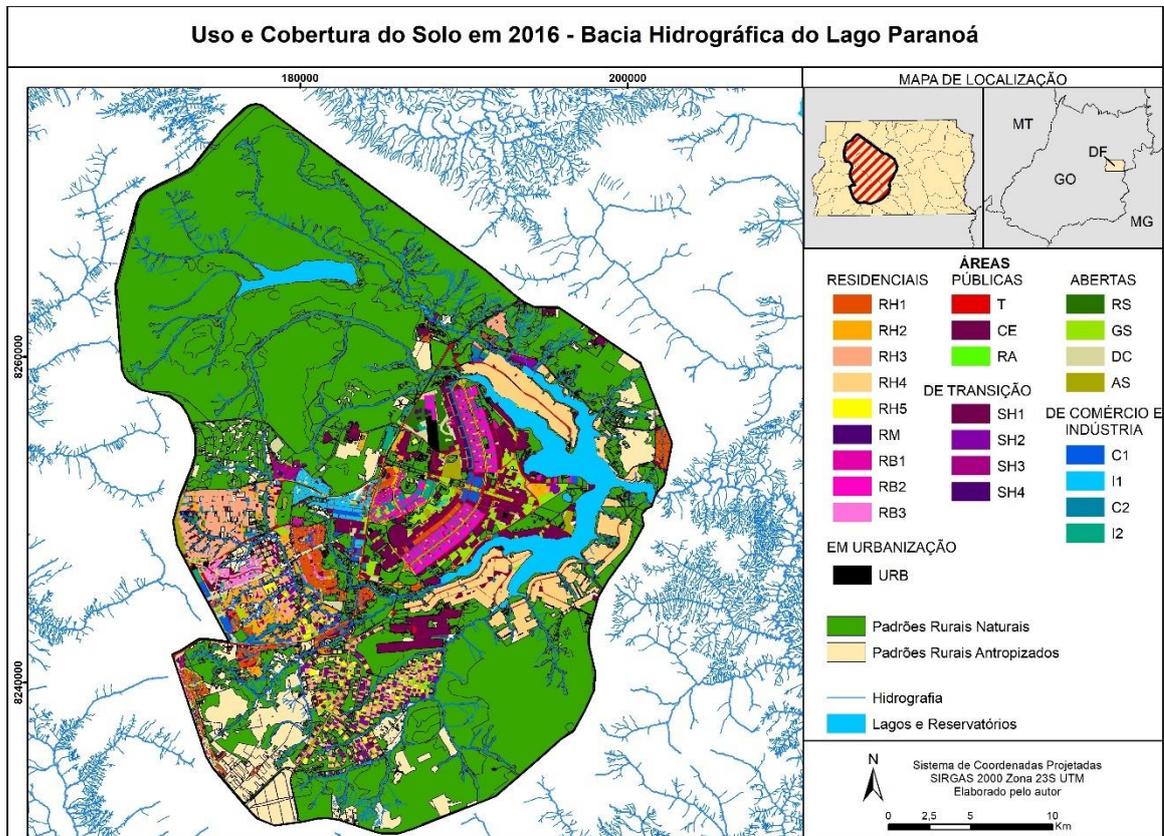


Figura 15: Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2016 (Fonte: elaborado pela autora)

(d) Grupos Hidrológicos do Solo: O Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos da América, ao observar que diferentes solos se comportam de maneira semelhante ao se tratar da relação infiltração/escoamento, propôs uma classificação que agrupa os solos em quatro Grupos Hidrológicos: Grupos A, B, C e D, sendo o grupo A com a maior taxa de infiltração e menor escoamento superficial e o grupo D com a menor taxa de infiltração e maior escoamento superficial (SARTORI; LOMBARDI NETO; GENOVEZ, 2005). A classificação leva em consideração as principais características do solo que condicionam o escoamento superficial e a erosão: profundidade, textura, razão textural entre o horizonte superficial e subsuperficial e a permeabilidade dos solos influenciada pela sua porosidade e pela atividade da argila.

Segundo informações obtidas no geoportal da SEDUH (SEDUH, 2019), os tipos de solo classificados na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá estão expostos na Tabela 1. Como pode-se observar, 72,91% dos solos pertencem ao Grupo Hidrológico A, sendo solos profundos, com alta taxa de infiltração e baixo escoamento superficial. A

Figura 16 ilustra os tipos de solos existentes na Bacia e a Figura 17 ilustra os tipos de solo classificados de acordo com os Grupos Hidrológicos.

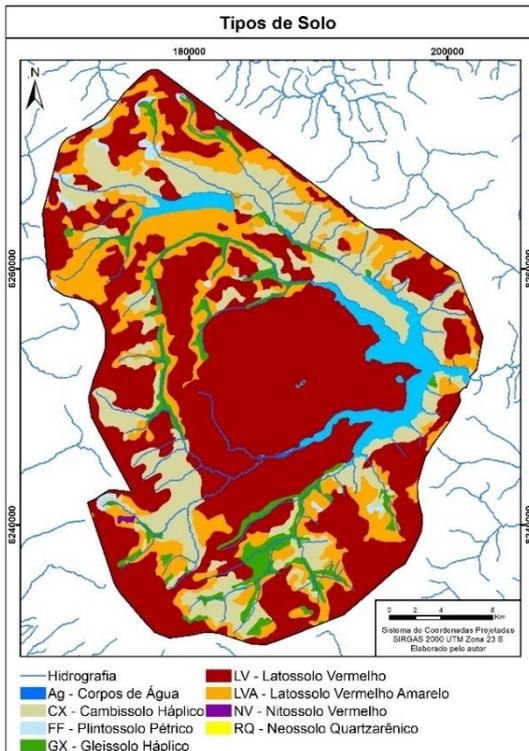


Figura 16: Tipos de Solo (Fonte: Elaborado pela autora)

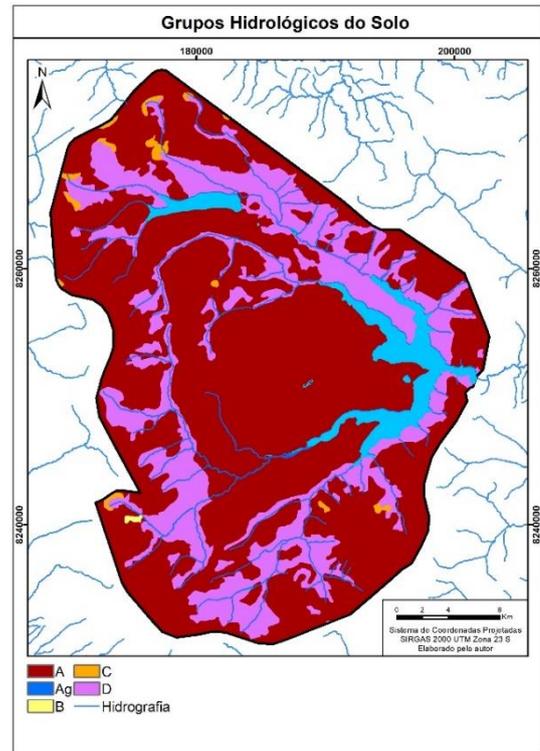


Figura 17: Grupos Hidrológicos do Solo (Fonte: Elaborado pela autora)

Tabela 1: Tipos de solos presentes na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá (Fonte: elaborado pela autora)

Tipo de Solo	Grupo Hidrológico	SIGLA	Área (%)
<b>Latossolo Vermelho</b>	A	LV	53,39
<b>Cambissolo Háplico</b>	D	CX	20,57
<b>Latossolo Vermelho Amarelo</b>	A	LVA	19,45
<b>Gleissolo Háplico</b>	D	GX	5,66
<b>Plintossolo Pétrico</b>	C	FF	0,85
<b>Nitossolo Vermelho</b>	B	NV	0,07
<b>Neossolo Quartzarênico</b>	A	RQ	0,02

(e) Valores de CN: Para determinar a quantidade de chuva que infiltra no solo e a quantidade de chuva que escoia superficialmente, foi utilizada a metodologia do Curva-Número (CN). O método foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo - SCS do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - USDA e sua primeira publicação data de 1954 (GONÇALVES; ROIG; CAMPOS, 2009). A popularidade do método está no fato de relacionar apenas três variáveis: precipitação, umidade antecedente do solo e complexo

hidrológico solo-cobertura. Os valores de CN retratam as condições do solo, desde uma cobertura permeável até uma cobertura completamente impermeável (variando de 0 a 100, respectivamente). Neste trabalho utilizamos valores de CN propostos por (GONÇALVES; ROIG; CAMPOS, 2009) e (MENEZES, 2010) para cada classe UST e PR, podendo ser consultados no Anexo I.

(f) Capacidade Máxima de Retenção de Água no Solo (S): A Capacidade Máxima de Retenção de Água do Solo também pode ser expressa como a Capacidade de Saturação dos Solos. Os principais fatores que influenciam o valor de S são os mesmos utilizados na elaboração de CN: retirada da cobertura vegetal, densidade de ocupação e forma desordenada do padrão do uso da terra, proporcionando a impermeabilização das superfícies, diminuindo as áreas com maior potencial de infiltração (consequentemente maior potencial de recarga de aquíferos) e aumentando a quantidade de escoamento superficial. A fórmula de S, explicitada na Equação 1, foi aplicada para cada classe de uso e ocupação do solo.

$$S \text{ (mm)} = 25400 / \text{CN} - 254$$

Equação (1)

(g) Disponibilidade Hídrica Potencial (DH): A relação entre Capacidade Máxima de Retenção de Água do Solo (S) e Disponibilidade Hídrica (DH) é diretamente proporcional, ou seja, quanto maior o valor de S, maior será a DH, independentemente da quantidade de chuva local.

Como o foco do trabalho é analisar as respostas dos padrões de uso e ocupação do solo acerca do Potencial de Recarga de Aquíferos, o valor da precipitação é indiferente para esta análise. Portanto, optou-se por utilizar o valor da média histórica anual (FONSECA, 2001), de 1.296 mm, para compor a metodologia.

(h) Taxa de Infiltração: pode ser definida como a porcentagem de DH que pode ser infiltrada no solo. Com base nas curvas de nível de 5 metros de resolução, foi gerado o mapa de declividade (Figura 6). A taxa de infiltração em função da declividade foi definida subjetivamente com base no funcionamento do fluxo superficial (Gonçalves et al., 2009), obedecendo à reclassificação da Tabela 2. A Figura 18 representa as Taxas de Infiltração de Água no Solo.

Declividade (%)	Taxa de Infiltração (%)
0 – 8	95
8 – 15	70
15 – 30	45
> 30	5

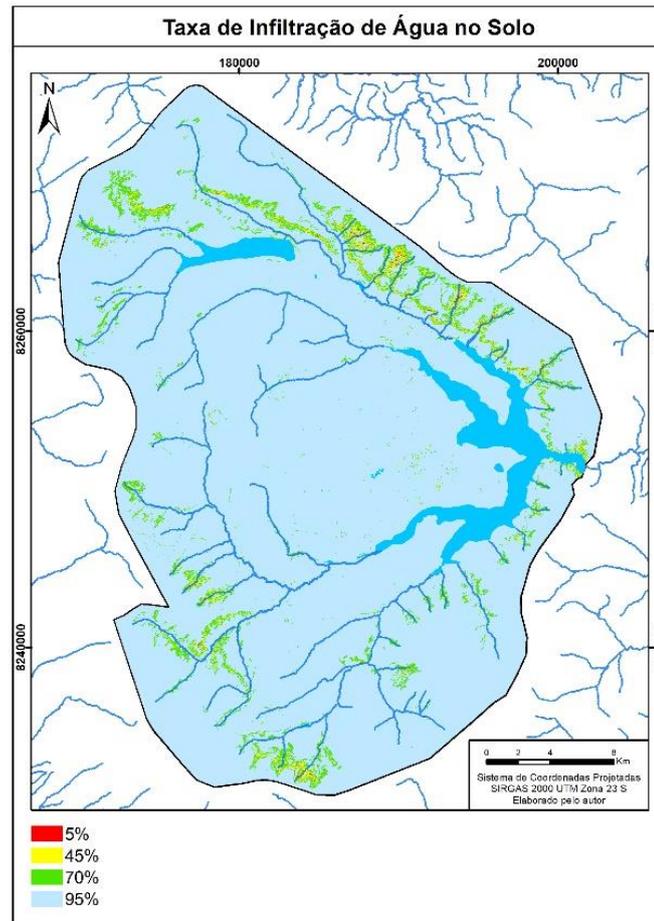


Figura 18: Taxa de Infiltração de Água no Solo (Fonte: Elaborado pela autora)

(i) Potencial de Recarga de Aquíferos (PRA): gerado a partir da relação direta entre DH e taxa de infiltração, o PRA gerado neste trabalho permite que seja avaliada a relação entre tipos de solo, tipos de cobertura do solo e declividade, observando quais são as combinações que influenciam positiva e negativamente a Recarga. A Figura 19 abaixo ilustra o PRA para o ano de 2016.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. UST

Na Figura 20 é possível visualizar o mapa de uso e cobertura do solo do ano de 1953, antes da construção de Brasília (que teve início em 1956), onde a área de estudos era totalmente coberta por cerrado, matas e campos.

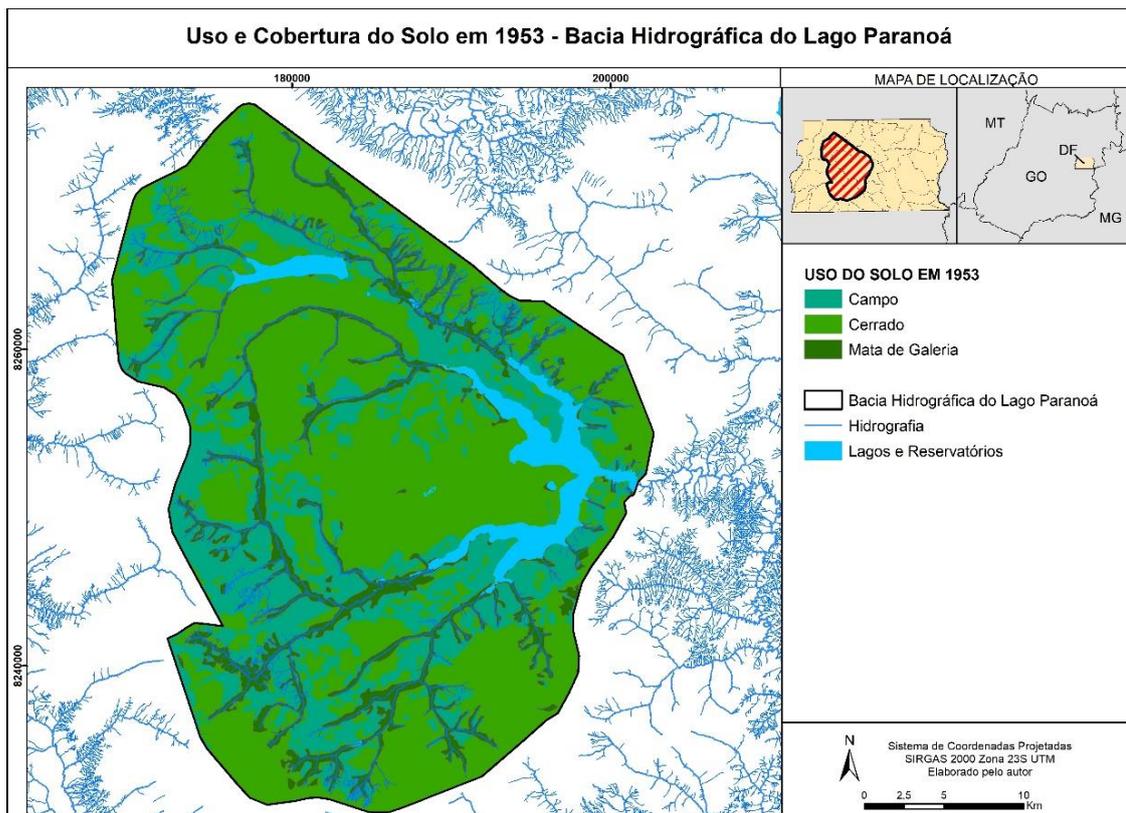


Figura 20: Uso e Cobertura do Solo em 1953 na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá (Fonte: Elaborado pela autora)

Após a construção de Brasília, houve um intenso processo de urbanização, que resultou em um local com diversos usos do solo distintos e ocupação desordenada nas áreas periféricas. A Figura 21 representa os padrões de uso e cobertura do solo, divididos pelas UST e Padrões Rurais referentes ao ano de 2009.

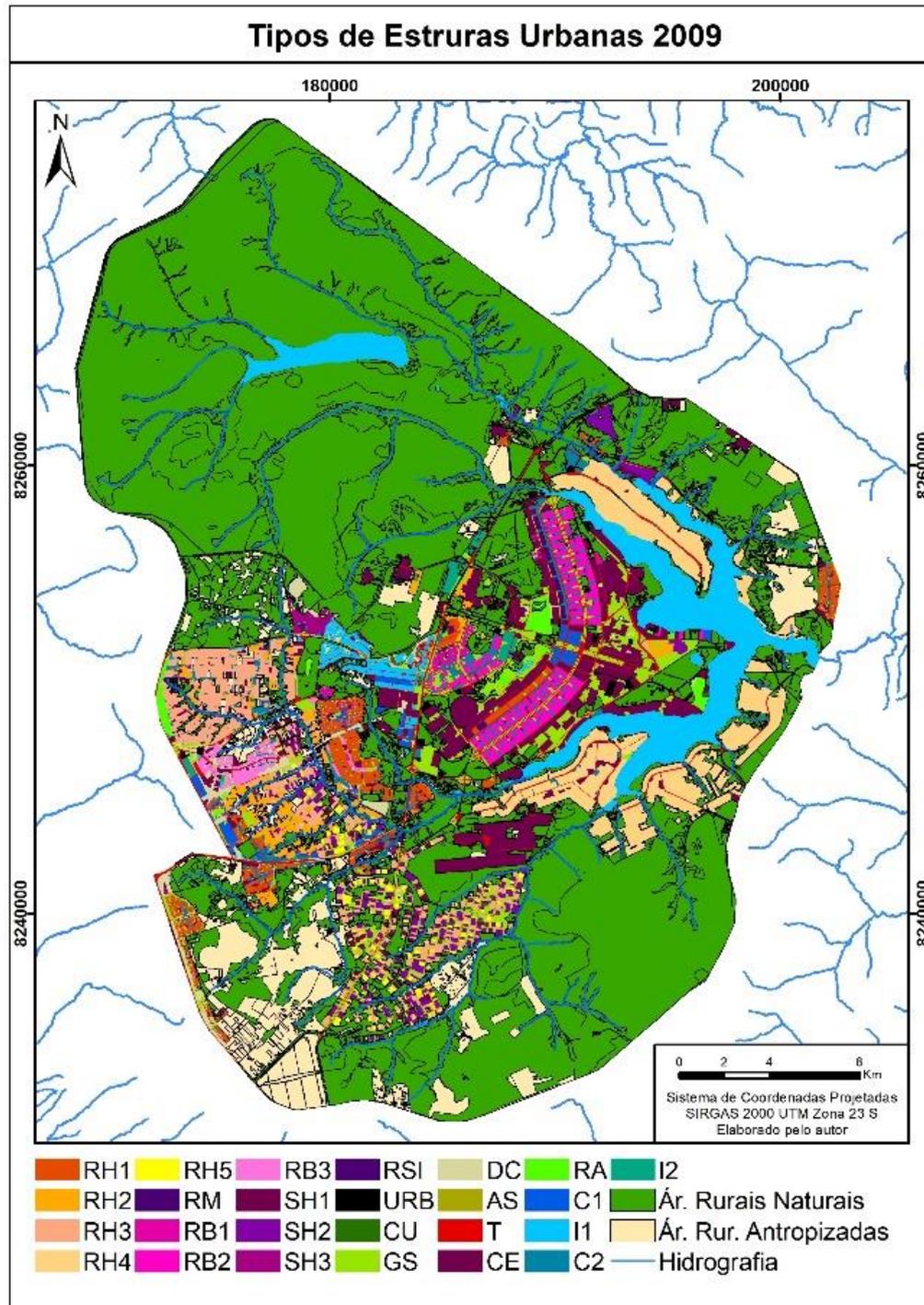


Figura 21: Mapa de uso e ocupação do solo de 2009 (Fonte: Elaborado pela autora)

É possível analisar a ocupação organizada na zona central da Bacia e as ocupações desordenadas com padrões diferentes de UST nas zonas periféricas. A preservação de duas grandes porções de áreas rurais naturais (uma ao norte e uma ao sul da Bacia) se dá devido às Unidades de Conservação e às Áreas de Preservação Permanente. A longo prazo, se observa

que a proporção entre padrões de uso e cobertura do solo urbanos e rurais é de 28,19% urbano e 71,81% rural, conforme ilustrado na Figura 22.

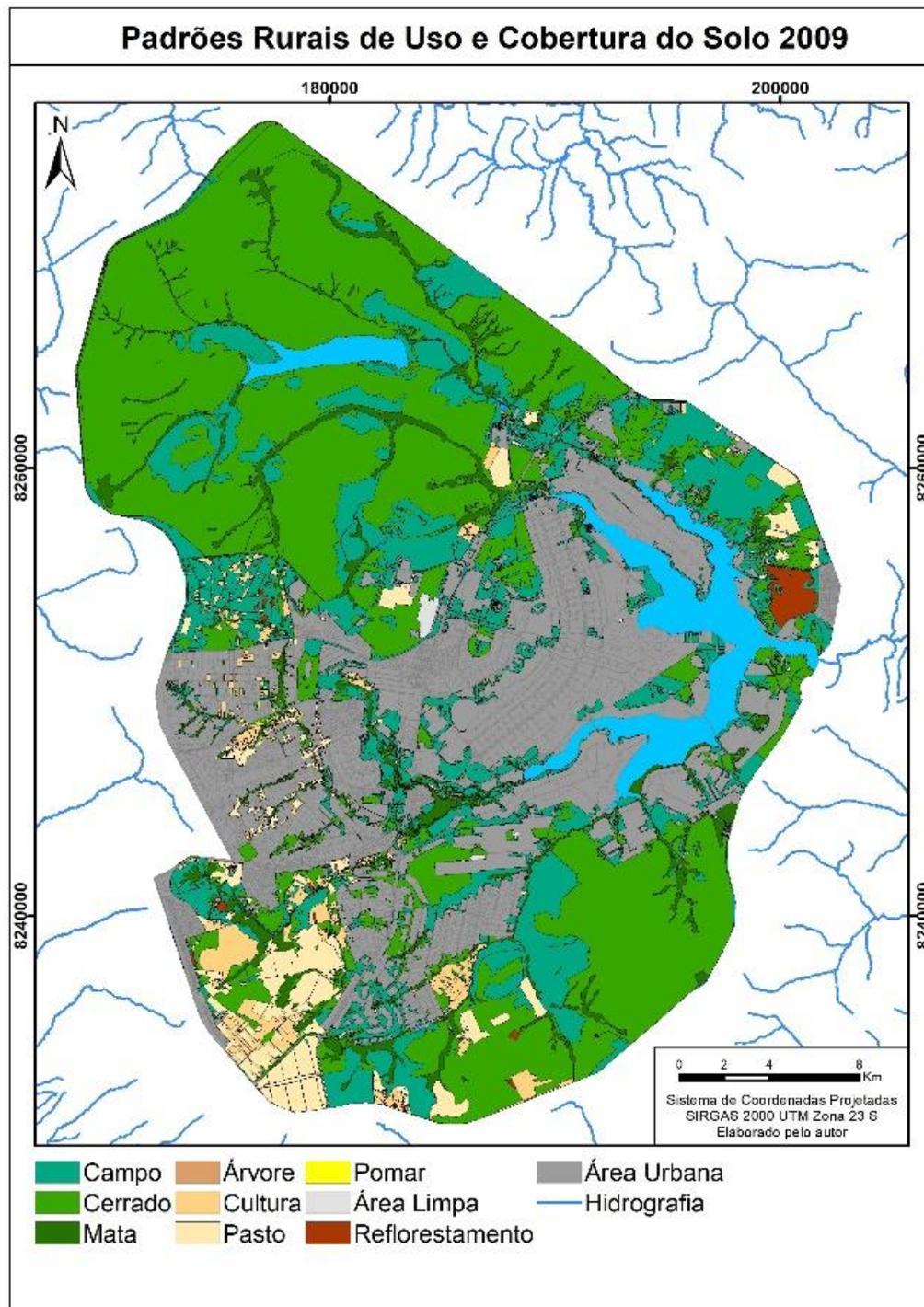


Figura 22: Relação padrões urbano x rurais em 2009 (Fonte: Elaborada pela autora)

Com a atualização do mapa de uso e ocupação do solo de 2009 com fotos de 2016, é possível analisar as mudanças a curto prazo, com sete anos de diferença. A Figura 23 representa o mapa de uso e ocupação do solo de 2016 com as divisões por UST e PR.



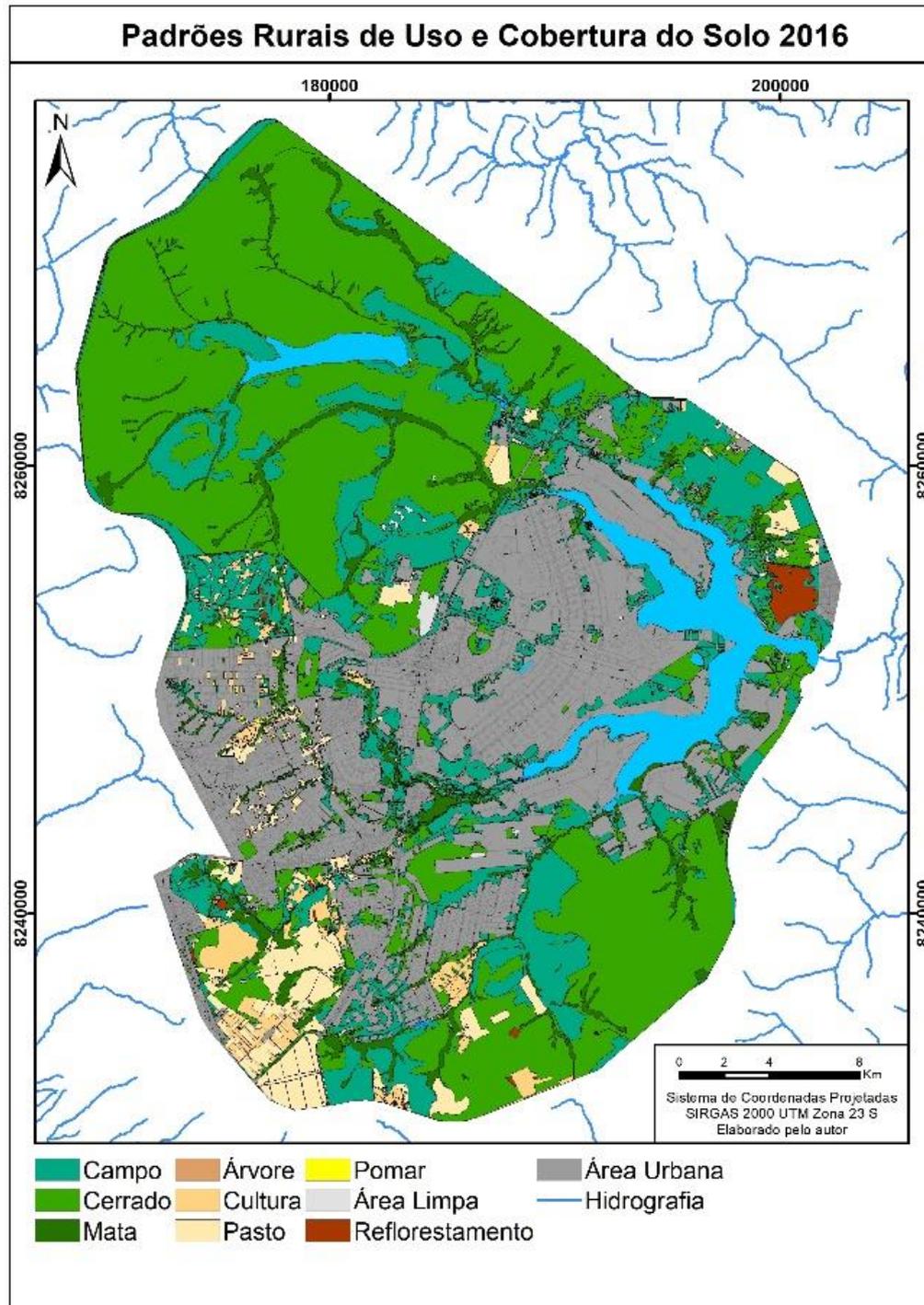


Figura 24: Relação padrões urbano x rurais em 2009 (Fonte: Elaborado pela autora)

### **Análise a longo prazo: 1953 - 2009 (56 anos)**

O uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, conforme visualizado na Figura 16, era composto totalmente por padrões rurais. A Figura 25 indica as proporções de cada padrão rural em porcentagem.

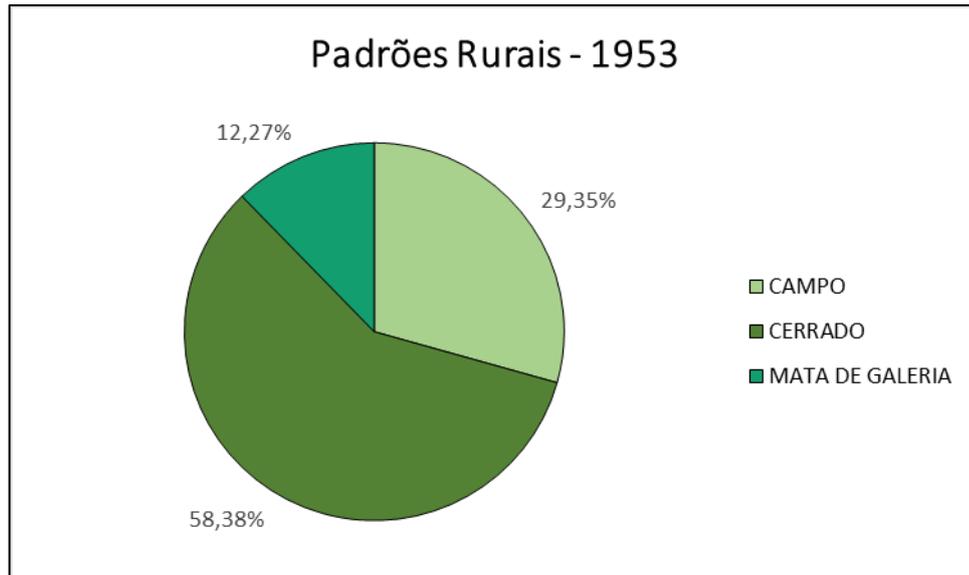


Figura 25: Porcentagem dos Padrões Rurais em 1953 (Fonte: elaborado pela autora)

No ano de 2009, a porcentagem de padrões urbanos e rurais na cobertura do solo era de 28,09% e 71,91%, respectivamente. 28,09% da área originalmente rural deu espaço para as 25 (vinte e cinco) classes de UST, distribuídas quantitativamente conforme Figura 26.

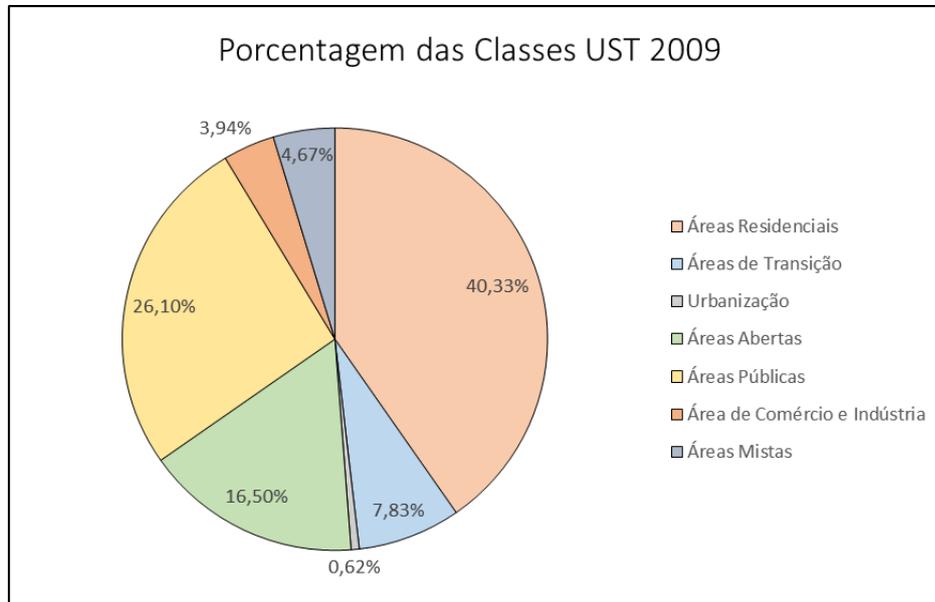


Figura 26: Porcentagem das classes UST em 2009 (Fonte: elaborado pela autora)

A maior parte da ocupação se deu para a consolidação de áreas Residenciais (40,33%), embora áreas públicas (26,10%) e áreas abertas (16,50%) também apresentem valores consideráveis. No intervalo analisado, de 56 anos, é necessário considerar que na cidade foi construída na área de estudo, justificando a intensa troca de padrões rurais para padrões urbanos.

### Análise a curto prazo: 2009 – 2016 (7 anos)

Diferentemente da análise a longo prazo, as observações realizadas a partir dos resultados entre 2009 e 2016 foram bastante sutis. Contudo, foram enriquecedoras na discussão acerca da ocupação do solo após a consolidação da urbanização e sobre quais setores e UST se desenvolveram ao longo desses sete anos.

A Figura 27 e a Figura 28 mostram a divisão entre classes de UST dos anos 2009 e 2016, respectivamente.

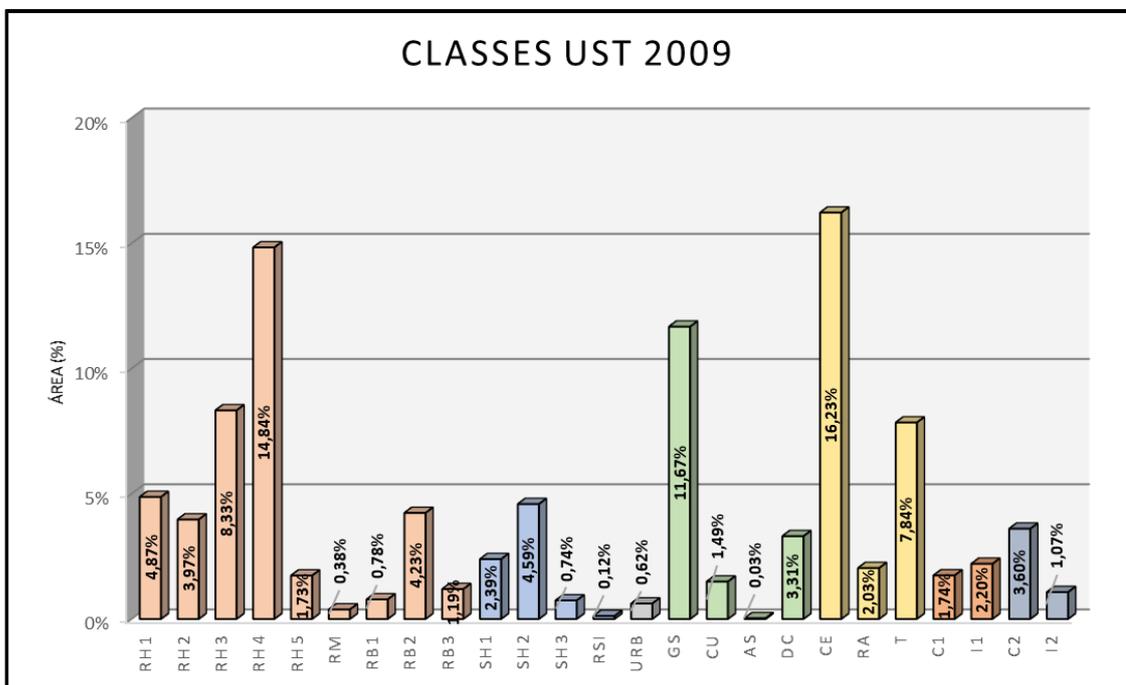


Figura 27: Classes UST em 2009 (Fonte: elaborado pela autora)

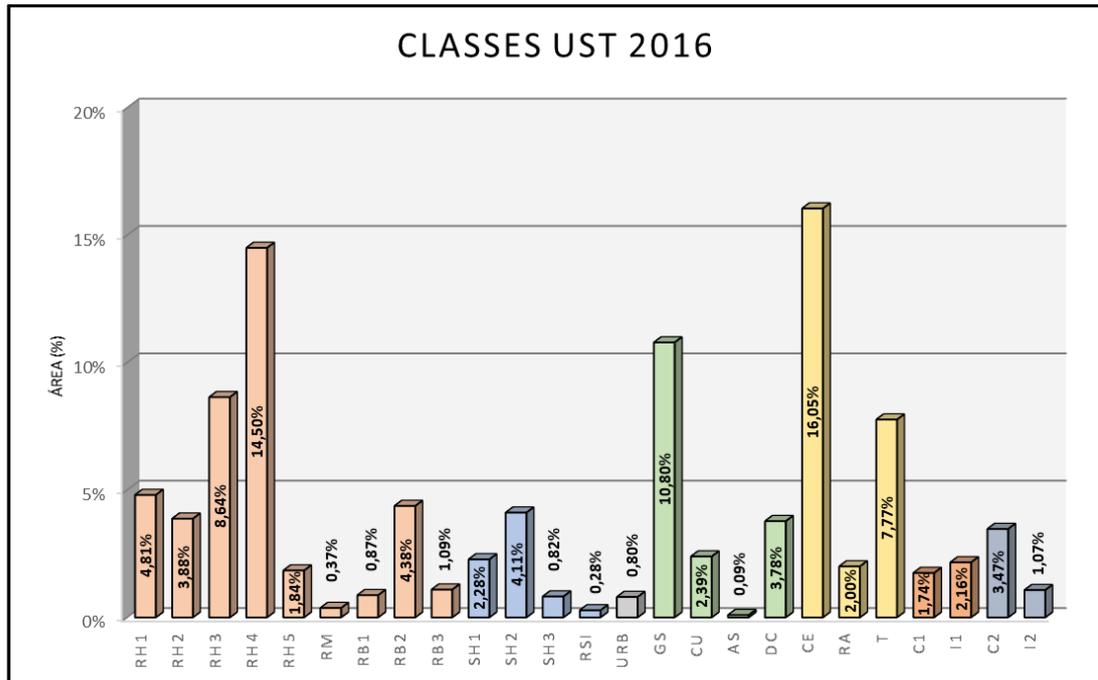


Figura 28: Classes UST em 2016 (Fonte: elaborado pela autora)

A Tabela 3 apresenta uma análise quantitativa da evolução da porcentagem de cada classe UST entre os anos 2009 e 2016.

Tabela 3: Porcentagem de Classes UST e PR entre 2009 e 2016 (Fonte: elaborada pela autora)

CLASSES (%)	2016	2009	DIFERENÇA
Áreas Residenciais	11,67	11,35	+0,32
Áreas de Transição	2,16	2,20	-0,04
Urbanização	0,23	0,17	+0,06
Áreas Abertas	4,93	4,64	+0,29
Áreas Públicas	7,46	7,34	+0,12
Área de Comércio e Indústria	1,13	1,11	+0,02
Áreas Mistas	1,31	1,32	-0,01
Áreas Naturais	65,30	66,1	-0,80
Áreas Antropizadas	7,18	7,13	+0,05

A diferença total entre 2009 e 2016 é de 0,85%. A maior redução de área foi a de áreas naturais, pois o crescimento urbano se dá pelo desmatamento e expansão de áreas anteriormente naturais. A quantidade de áreas de transição também apresentou uma queda, correspondendo à expectativa de afirmar que com o passar dos anos a cidade tem se consolidado cada vez mais. A classe com maior aumento foi a de áreas residenciais, justificada pelo crescimento populacional. O crescimento de áreas abertas se dá principalmente pelo aumento de áreas agropecuárias.

#### 4.2.SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE RECARGA

Foram gerados resultados de Capacidade Máxima de Saturação dos Solos (S), Disponibilidade Hídrica (DH) e Potencial de Recarga de Aquíferos (PRA) para os três períodos em questão. As Figura 24, Figura 29 e Figura 30 representam, respectivamente, os valores de S para 1953, 2009 e 2016.

Os valores de S são mensurados por milímetros de chuva por ano (mm/ano). Antes da urbanização de Brasília, o menor valor de S era 59,2322 mm/ano e, após a urbanização, o menor valor foi para 5,18369 mm/ano, devido à existência de áreas impermeáveis. Entre 2009 e 2016, o valor mínimo não diminuiu porque não foi construída nenhuma área mais impermeável do que já havia antes. Todavia, o valor médio de S entre os anos diminuiu. O valor máximo de S é igual para os três anos porque é referente à área do cerrado mais permeável, remanescente ao longo dos períodos analisados.

A Tabela 4 indica os valores médios de S para 1953, 2009 e 2016, onde é possível concluir que, de fato, o avanço da urbanização, no longo e curto prazo, fez com que a capacidade média de saturação dos solos diminuísse, levando a maiores índices de escoamento superficial.

As cores mais escuras representam locais com maior capacidade de saturação dos solos, ou seja, zonas com maior capacidade de reter a infiltração e que, conseqüentemente, ocasionam menos escoamento superficial. Em 1953, por exemplo, a área de estudo era capaz de reter, em média, 325,13 milímetros de chuva ao longo do ano. Isto é, se no ano de 1953 chovesse até 325,13 milímetros de chuva, não haveria escoamento superficial, pois o solo seria capaz de absorver toda a água. Este exemplo é meramente teórico, uma vez que na prática a resposta do solo vai depender da intensidade da precipitação, do estado de umidade que o solo se encontrava antes da precipitação e em quais locais se daria a precipitação, pois como explicado anteriormente, cada classe de uso e cobertura do solo e cada tipo de solo se comportam de maneiras diferentes perante a eventos hidrológicos.

Analisando as áreas urbanas nos anos de 2009 e 2016, é possível ver diferentes tons de alaranjado a depender da região. A área central, referente ao Plano Piloto, apresenta zonas mais escuras intercaladas com zonas mais claras. Esse efeito acontece devido à grande área verde entre as feições urbanas, ao contrário do que é visto nas zonas mais periféricas, onde a ocupação foi desordenada e intensa, apresentando tons predominantemente claros e grande densidade urbana.

Um exemplo claro da influência da relação dos tipos de solo com a capacidade de saturação é observada entre as áreas do Lago Sul e Lago Norte: regiões com classes UST semelhantes, entretanto o Lago Norte está em área de solo do grupo hidrológico D (menos permeável), enquanto o Lago Sul está em área de solo do grupo hidrológico A (mais permeável), apresentando maiores valores de S.

Através da Disponibilidade Hídrica é possível traçar uma estimativa do percentual das chuvas que potencialmente podem infiltrar em cada ponto da Bacia. Neste trabalho, a DH foi calculada através da multiplicação dos valores de S com a média história anual de precipitação do DF. Para análises hidrológicas mais aprofundadas, é aconselhado o uso de um mapa de isoietas, com indicação dos locais da Bacia com maior e menor índices de chuva anual, para que a realidade hídrica seja expressa de forma mais detalhada. Dado que o escopo deste trabalho é a comparação da resposta do uso e cobertura do solo em diferentes tipos de solo ao longo da Bacia Hidrográfica, a variação de precipitação atrapalharia a análise, sendo esse o motivo que levou à escolha de utilizar um só valor de precipitação para toda a área de estudos.

As Figura 32, Figura 33 e Figura 34 representam, respectivamente, a Disponibilidade Hídrica Potencial para 1953, 2009 e 2016. Os valores médios de DH, explicitados na Tabela 4, diminuem ao longo do processo de urbanização conforme esperado.

O resultado final deste trabalho foi o cálculo do Potencial de Recarga de Aquíferos, integrando os valores de DH com a taxa de infiltração em função da declividade. A declividade é de extrema importância ao se tratar de recursos hídricos, pois ela é responsável pela força física que atua facilitando ou dificultando o escoamento superficial, sendo, assim, inversamente proporcional à infiltração.

As áreas que apresentaram maior porcentagem de PRA em comparação foram as maiores porcentagem de DH e localizadas em relevos planos (entre 0 e 8% de declividade).

As Figura 35, Figura 36 e Figura 37 representam, respectivamente, os Potenciais de Recarga de Aquíferos nos anos 1953, 2009 e 2016. Em 1953 o valor médio de PRA, explicitado na Tabela 4, era de 23,53%, relativamente pequeno ao se tratar de áreas verdes. Os valores baixos no mapa de 1953 se dão pelo fato de que mesmo em áreas totalmente cobertas por vegetação natural, nem sempre os valores de infiltração e conseqüente recarga de aquíferos, serão exclusivamente altos, pois a interferência da declividade faz com que haja menores valores de infiltração independente da cobertura do solo.

Tabela 4: Valores médios de S, DH e PRA para os anos 1953, 2009 e 2016 (Fonte: elaborada pela autora)

	<b>1953</b>	<b>2009</b>	<b>2016</b>
<b>Potencial de Recarga de Aquíferos (%)</b>	23,53	17,56	17,40
<b>Disponibilidade Hídrica Potencial (%)</b>	25,08	18,74	18,58
<b>Capacidade de Saturação do Solo (mm/ano)</b>	325,13	249,91	240,84

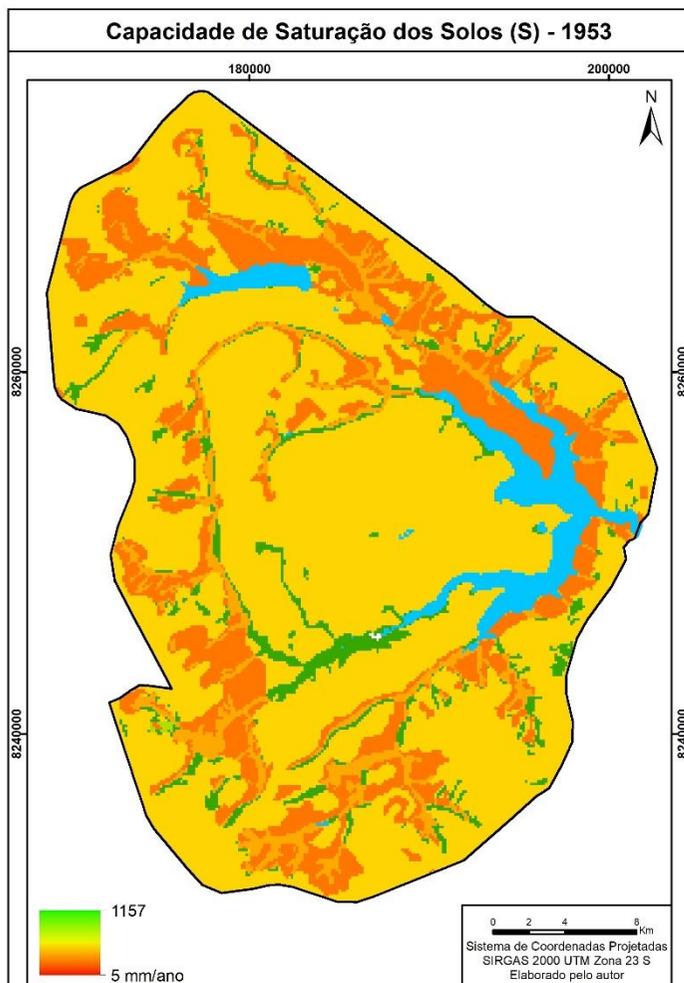


Figura 29: Capacidade de Saturação dos Solos em 1953  
(Fonte: Elaborado pela autora)

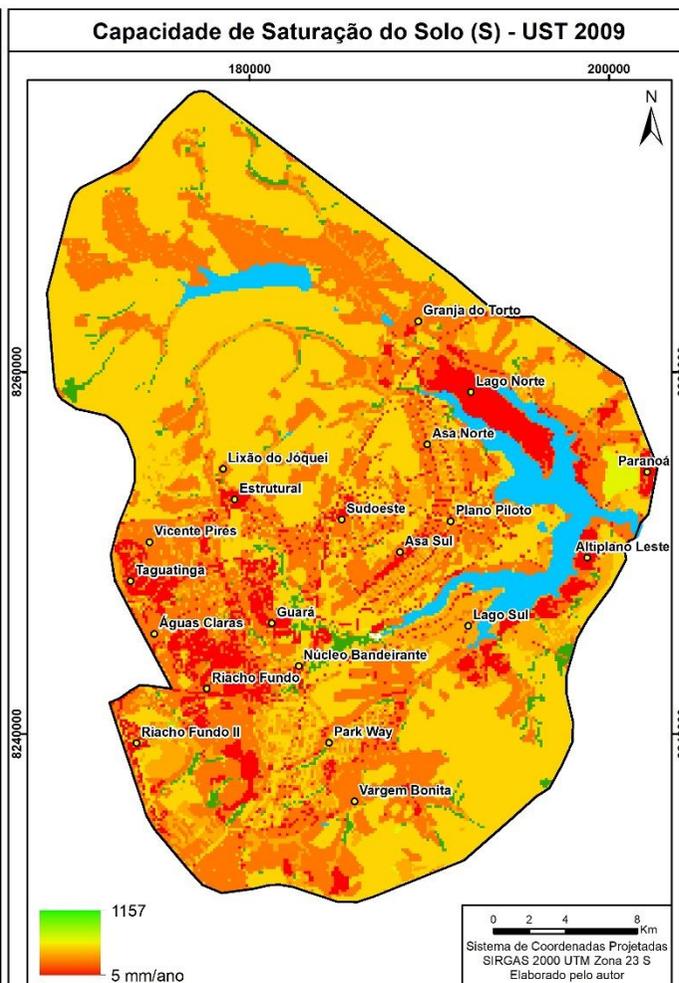


Figura 30: Capacidade de Saturação dos Solos em 2009  
(Fonte: Elaborado pela autora)

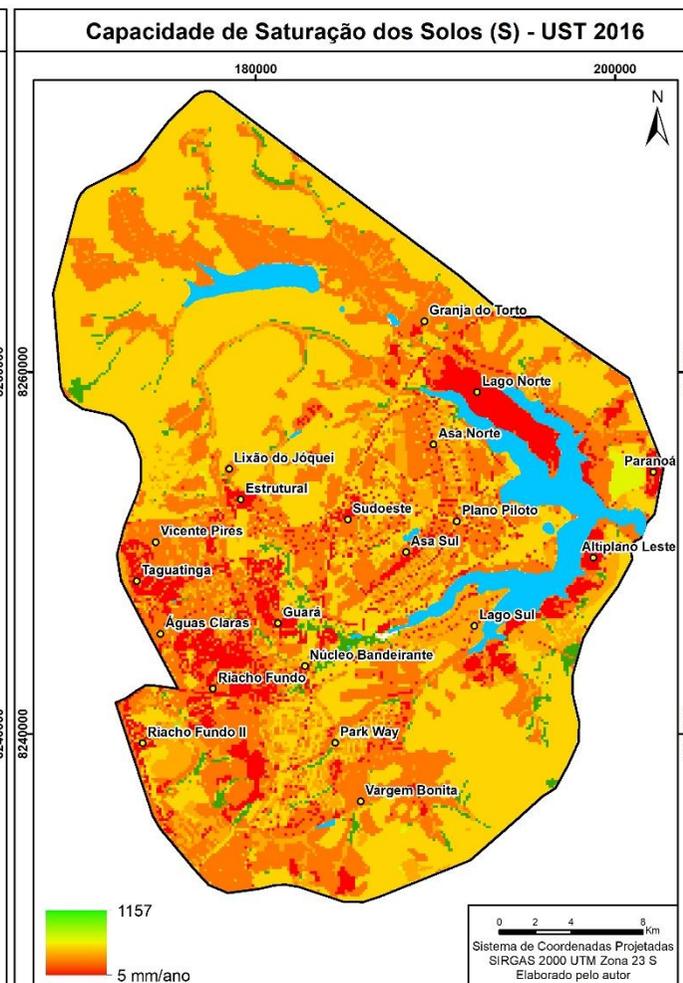


Figura 31: Capacidade de Saturação dos Solos em 2016  
(Fonte: Elaborado pela autora)

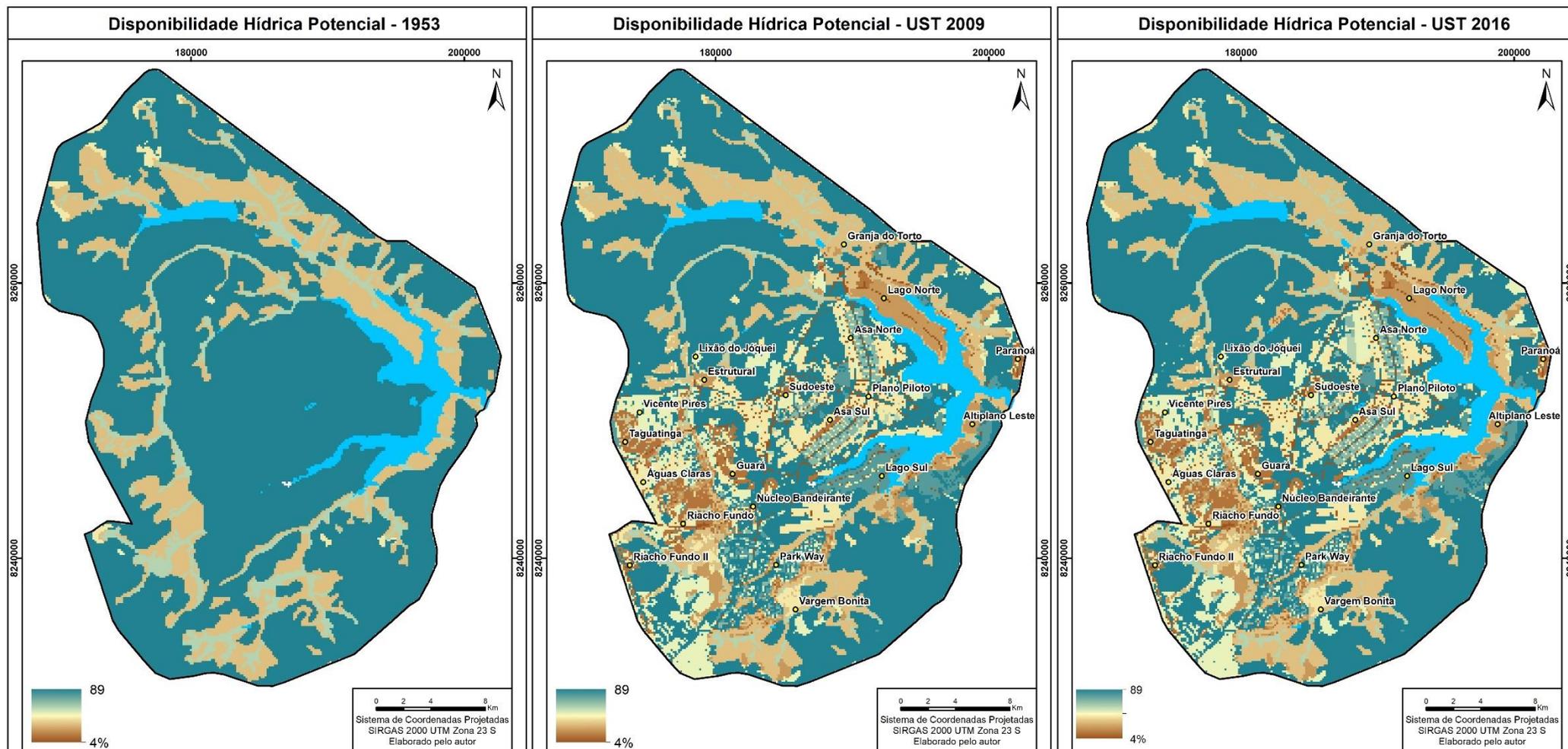


Figura 32: Disponibilidade Hídrica em 1953 (Fonte: Elaborado pela autora)

Figura 33: Disponibilidade Hídrica em 2009 (Fonte: Elaborado pela autora)

Figura 34: Disponibilidade Hídrica em 2016 (Fonte: Elaborado pela autora)

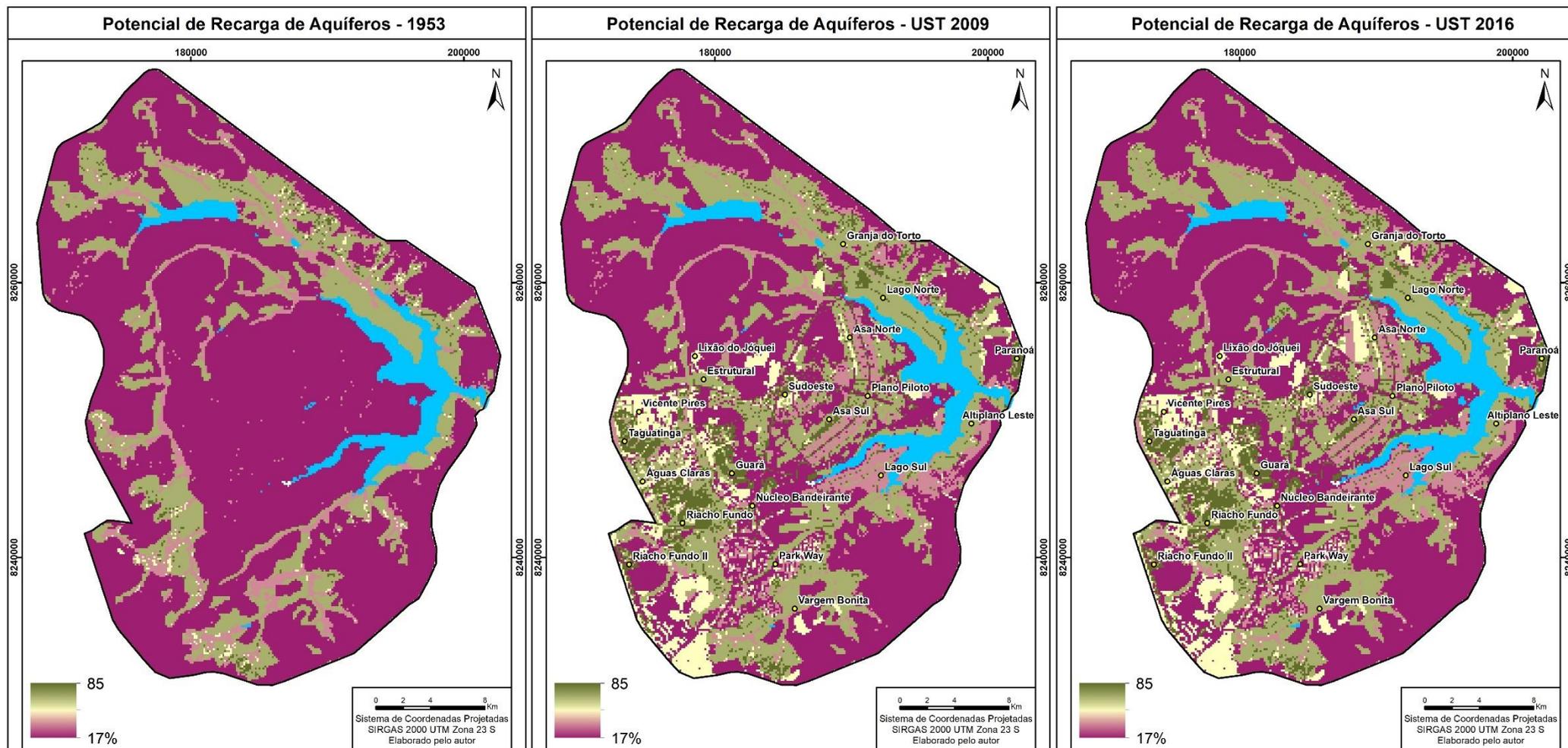


Figura 35: Potencial de Recarga de Aquíferos em 1953  
(Fonte: Elaborado pela autora)

Figura 36: Potencial de Recarga de Aquíferos em 2009  
(Fonte: Elaborado pela autora)

Figura 37: Potencial de Recarga de Aquíferos em 2016  
(Fonte: Elaborado pela autora)

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O crescimento urbano de Brasília, organizado no centro e desordenado nas periferias, ocasionou fortes mudanças no ecossistema local e afetou diretamente os Serviços Ecossistêmicos.

A longo prazo, entre 1953 e 2009, o valor médio de PRA diminuiu em 25,34%, o equivalente a uma queda de aproximadamente 0,45% ao ano, que reflete a intensidade das consequências da ocupação urbana na prestação de serviços do ecossistema. A diminuição de  $\frac{1}{4}$  (um quarto) da prestação do potencial de recarga de aquíferos em menos de seis décadas é alarmante, visto que inúmeros SE foram afetados além do Serviço analisado, causando danos irreversíveis ao ecossistema local.

A curto prazo, entre 2009 e 2016, houve poucas alterações significativas na morfologia urbana do Distrito Federal. A maior troca de uso do solo foi a construção do bairro Noroeste, na parte norte da cidade, que aumentou a impermeabilização do solo da região e intensificou os alagamentos na Asa Norte em eventos de intensa precipitação. Entre 2009 e 2016 o valor médio de PRA diminuiu em 0,91%, o que indica uma queda de 0,13% ao ano, apontando, em comparação à diferença entre 1953 e 2009, uma considerável diminuição da intensidade de diminuição de prestação de SE ocasionados pela urbanização da área de estudos.

A comparação realizada no uso e ocupação do solo entre 2009 e 2016 não deu resultados significativos, pois 0,77% de diferença ainda está na margem de erro do próprio mapeamento, não podendo ser considerado como uma mudança significativa.

Segundo ANA (2019), duas medidas são possíveis para reverter um quadro de Insegurança Hídrica: implantação de infraestrutura hídrica; e aperfeiçoamento da gestão de recursos hídricos (planejamento, controle do uso da água, monitoramento, operação e manutenção de sistemas hídricos).

O objetivo do trabalho de mapear o potencial de recarga de aquíferos como serviço ecossistêmico para os anos de 1953, 2009 e 2016 foi concluído com êxito. Para maiores conclusões e aprofundamentos seria necessário maior tempo de estudo para relacionar cada tipo de estrutura urbana com seu próprio potencial de recarga. É esperado que os resultados desse trabalho possam fomentar maiores debates na comunidade acadêmica e aumentar a literatura acerca dos temas abordados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, F. P.; TANGARI, V. Estudo tipológico sobre a forma urbana: conceitos e aplicações. **Paisagem e Ambiente**, n. 22, p. 61, 2015.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura Recursos Hídricos Brasil**. p. 72, 2018.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. p. 112, 2019.
- CASTRO, K. B. **Segurança Hídrica Urbana: Morfologia Urbana e Indicadores de Serviços Ecossistêmicos, Estudo de Caso do Distrito Federal, Brasil**. p. 207, 2017.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**, 2013.
- DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological Economics: principales and application**. p. 454, 2004.
- FONSECA, F. O. **Olhares sobre o Lago Paranoá**. p.425. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília - DF, 2001.
- GONÇALVES, T. D.; ROIG, H. L.; CAMPOS, J. E. G. **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, 2009.
- GRUNEWALD, K.; BASTIAN, O. **Ecosystem Services - Concept, Methods and Case Studies**. p. 305, 2015.
- IBGE. **Panorama de Brasília**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/panorama>>. Acesso em: 19 jun. 2019.
- MEA, M. E. A. **Ecosystem and Human Well-Being: Synthesis**. p. 137, 2005.
- MENEZES, P. H. B. J. A. DOS E. DAS A. A. NO P. DE E. S. E A. NA B. DO LAGO P. **Avaliação do Efeitos das Ações Antrópicas no Processo de Escoamento Superficial e Assoreamento na Bacia do Lago Paranoá**. p.117, 2010.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, p. 5–18, 2005.
- SEDUH - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação. **Geoportal Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE/DF**. Disponível em: <<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/>>. Acesso em: 19 jun. 2019.
- SERAPHIM, A. P. A. C. C. **Relações entre as áreas de recarga dos aquíferos e áreas destinadas a urbanização: estudo dos padrões de ocupação do solo da unidade hidrográfica do Paranoá - DF**. p.193, 2018

ANEXO I: VALORES DE CN UTILIZADOS PARA CADA UST E PR DE ACORDO COM O TIPO DE SOLO

Tipos de Estruturas Urbanas - UST	Grupo Hidrológico do Solo			
	A	B	C	D
I1	76,65	82,52	87,95	90,6
C1	77,14	84,75	89,36	91,52
C2	78,72	85,81	90,09	92,14
I2	75,81	84,13	89,12	91,54
CE	77,27	84,98	89,75	91,92
T	98	98	98	98
SH1	43,16	63,63	75,76	81,44
SH2	49,65	67,69	78,4	83,44
SH3	84,84	89,64	92,6	94,12
URB	58,08	73,23	82,1	86,44
SH4	78,95	86,03	90,31	92,46
RH1	88,73	91,94	94,01	95,03
RH2	69,21	79,9	86,29	89,35
RH3	67,95	79,1	85,77	88,94
RH4	55,56	71,27	80,65	85,03
RH5	56,12	71,65	80,91	85,24
RM	67,89	78,93	85,6	88,72
RB1	69	79,71	86,1	89,1
RB2	57,6	72,55	81,48	85,65
RB3	79,74	86,64	90,77	92,72
RS	41,57	62,67	75,15	81,02
GS	41,73	63,18	75,35	81,09
DS	63,57	76,98	84,65	88,36
AS	58,47	72,41	81,34	85,71
CS	51,67	69,11	79,4	84,3
<b>Padrões Rurais - PR</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Árvore	41,57	62,67	75,17	81,02
Campo	41,73	63,18	75,35	81,09
Cerrado	41,57	62,67	75,17	81,02
Mata	18	25	41	58
Área Limpa	65	80	88	92
Cultura	48	60	72	78
Pasto	65	70	78	85
Pomar	41,57	62,67	75,17	81,02
Reflorestamento	30	42	55	68