



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA DE GESTÃO E NEGÓCIOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E  
PLANEJAMENTO TERRITORIAL**

**WANESSA SILVA ROCHA**

**Atenuação dos impactos do adensamento urbano na dinâmica  
hidrográfica da sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO**

**Goiânia - GO  
2019**

**WANESSA SILVA ROCHA**

**Atenuação dos impactos do adensamento urbano na dinâmica hidrográfica da sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Planejamento Territorial - MDPT, da Escola de Gestão e Negócios da Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC Goiás, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Planejamento Territorial.

Linha de Pesquisa: Planejamento Urbano e Ambiental

Orientador: Dr. Antônio Pasqualetto

Coorientador: Dr. Elizon Dias Nunes

**Goiânia - GO  
2019**

Dados Internacionais de Catalogação da Publicação (CIP)  
(Sistema de Bibliotecas PUC Goiás)

R672a

Rocha, Wanessa Silva

Atenuação dos impactos do adensamento urbano na dinâmica hidrográfica da sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO / Wanessa Silva Rocha.-- 2019.

121 f.: il.

Texto em português, com resumo em inglês  
Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Desenvolvimento e Planejamento Territorial, Goiânia, 2019

Inclui referências: f. 110-117

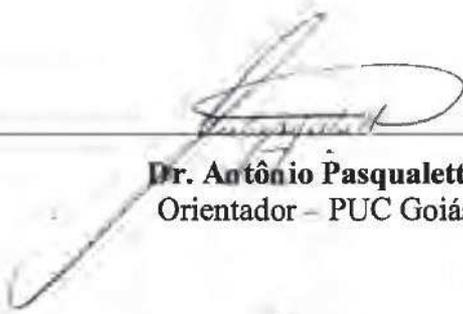
1. Planejamento urbano - Goiânia (GO). 2. Solo - Uso - Goiânia (GO). 3. Bacias hidrográficas urbanas - Goiânia (GO). 4. Goiânia (GO). 5. Urbanização - Goiânia (GO). I.Pasqualetto, Antônio. II.Nunes, Elizon Dias. III.Pontifícia Universidade Católica de Goiás. IV. Título.

CDU: Ed. 2007 -- 556.51(043)

**WANESSA SILVA ROCHA**

**ATENUAÇÃO DOS IMPACTOS DO ADENSAMENTO URBANO NA DINÂMICA  
HIDROGRÁFICA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO, GOIÂNIA, GO**

Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, defendida como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Planejamento Territorial. Aprovada em 13/03/2019 pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



---

**Dr. Antônio Pasqualetto**  
Orientador - PUC Goiás



---

**Dr. Francisco Henrique Oliveira**  
Examinador externo - UDESC



---

**Dr. Jales Teixeira Chaves Filho**  
Examinador interno - PUC Goiás



---

**Dr. Elizon Dias Nunes**  
Coorientador - UFG



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE G  
PRD-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQ

Av. Universitária, 1069 • Setor Universitário  
Caixa Postal 06 • CEP 74605-010  
Goiânia • Goiás • Brasil  
Fone: (62) 3946.1070 • Fax: (62) 3946.1070  
www.pucgoias.edu.br • proae@pucgoias.edu.br

## ATESTADO DE PARTICIPAÇÃO VIA WEBCONFERÊNCIA

Eu, Professor **Dr. Antônio Pasqualetto**, na qualidade de Presidente da Banca Examinadora da defesa pública da Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, intitulada **“ATENUAÇÃO DOS IMPACTOS DO ADENSAMENTO URBANO NA DINÂMICA HIDROGRÁFICA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO BOTAFOGO, GOIÂNIA, GO”**, apresentada e defendida pela candidata mestranda **Wanessa Silva Rocha**, **ATESTO** que o avaliador externo, **Professor Dr. Francisco Henrique Oliveira**, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC - esteve temporalmente presente durante a sessão de defesa supracitada, ocorrida no dia 13 de março de 2019, das 14h00 às 17h00, **POR MEIO DE WEB CONFERÊNCIA**. Sendo assim, transcrevo o julgamento transmitido de viva voz e assino os documentos pertinentes em lugar do referido professor e dou fé.

Goiânia, Goiás, 13 de março de 2019.

  
**Prof. Dr. Antônio Pasqualetto**  
Presidente da Banca

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ungir desde o princípio da minha existência e guiar meus passos.

Aos meus pais, Eulina da Rocha A. da Silva e José Maria da Silva, pelo amor incondicional e abraçar os meus sonhos em todos os momentos, sendo minha âncora, meu alicerce, minha força, meus amigos, meus amores e minha vida.

Ao meu namorado, Umarley Ricardo P. de Faria, pelo amor, companheirismo, motivação e amizade. Por nunca me deixar desistir nos momentos de dificuldades.

Ao meu orientador, Dr. Antônio Pasqualetto, por ter me incentivado a entrar no mestrado e proporcionar sua valiosa orientação, com conhecimentos transmitidos e pela harmoniosa convivência.

Ao meu coorientador, Dr. Elizon Dias Nunes, por aceitar o convite de coorientação voluntariada e me proporcionado valiosas contribuições e aprendizado.

À Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em especial ao corpo docente do Mestrado e Desenvolvimento e Planejamento Territorial, pelo aprendizado proporcionado.

À CAPES, pela bolsa de estudos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Universidade Federal de Goiás (UFG), especificamente ao Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF) pela disponibilização do espaço físico, computadores e software para realização desta pesquisa.

Ao professor da graduação, Me. Gitair Moreira dos Santos, por me incentivar a crescer profissionalmente e ensinar-me a sempre acreditar.

À professora de iniciação científica, Dr. Cleonice Rocha (*in memoriam*), por me ensinar os primeiros passos na área de pesquisa e por todo carinho, força e lições.

Ao secretário do mestrado, José Renato, pela atenção e incentivo.

Aos velhos amigos e familiares que em suas orações torceram por mim.

Aos novos amigos que aqui conheci e me ajudaram, inconscientemente, a não desistir.

Aos colegas de mestrado e bolsistas/taxistas, que compartilhei momentos e histórias eternamente guardadas agora.

Aos servidores da PUC Goiás, por tornarem este lugar tão acolhedor, desde a graduação ao mestrado.

Aos professores da banca, Prof. Dr. Francisco H. de Oliveira e Prof. Dr. Jales T. Chaves Filho, pela participação e contribuição nesta pesquisa.

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais,  
Eulina e José Maria,  
pelo incentivo e compreensão.  
Ao meu namorado,  
Umarley Ricardo,  
pelo companheirismo e confiança.

*“O que eu faço, é uma gota no meio de um oceano.  
Mas sem ela, o oceano será menor.”*

*Madre Teresa de Calcutá*

## RESUMO

Para compreender o processo de urbanização, face as transformações de caráter dinâmicas introduzidas no ambiente natural, que alteram o sistema hidrográfico em bacias urbanizadas, com impactos diretos na drenagem, necessita-se de avaliações técnicas com abordagem sistematizada da bacia como unidade de análise e planejamento. Objetivou-se avaliar a evolução na forma de cobertura e uso do solo e suas implicações diretas na dinâmica hidrográfica na sub-bacia do córrego Botafogo, localizada na região central da capital Goiânia (GO), bem como propor e testar a eficiência de diretrizes que possam resultar em cenários de modo a atenuar os impactos decorrentes destas alterações, considerando os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018. A metodologia estabelece a relação da evolução do uso e ocupação do solo nas últimas quatro décadas na sub-bacia hidrográfica do córrego Botafogo e faz correspondência com alterações na dinâmica hidrográfica na área estudada por meio da aplicação do método racional e modelagem hidrológica, apresentando alterações ocorridas nos processos e fenômenos hidrológicos espaço-temporais, como coeficiente de escoamento superficial, infiltração, precipitação efetiva e estimativas de vazão. Os dados foram processados por software específico de SIG para recorte espacial, dimensionamento e mapeamentos temáticos. A partir da aplicação do modelo estabelecido, frente a atender os objetivos propostos neste estudo, realizou-se a identificação das principais linhas de fluxo e o potencial de contribuição dos mesmos, de forma a confrontar com diretrizes propostas para atenuar os efeitos do adensamento urbano na bacia do córrego Botafogo. Como a pesquisa trata-se de representação de fenômenos espaço-temporais, com informações e resultados de caráter quantitativos e qualitativos, os mesmos são apresentados em formas de mapas e gráficos, bem como o confronto destes com a literatura e análise de sua importância frente ao planejamento urbano e ambiental. Os resultados demonstram que as transformações referentes a forma de uso e ocupação ocorridas nesta sub-bacia acarretou, ao longo do tempo, em diversas consequências ambientais, como: alto índice de impermeabilização do solo, supressão da cobertura vegetal, canalização e redução do potencial hídrico de drenagem natural do córrego, infraestrutura do sistema de drenagem mal dimensionado. Além disso, tem-se relação das alterações na dinâmica hidrológica (tempo de concentração, precipitação efetiva, infiltração, escoamento superficial, estimativas de vazões) devido a evolução de cobertura e uso do solo urbano, que associado as características físicas, acarretou na convergência de fluxo para o canal principal e tornando o mesmo suscetível à alagamentos e inundações.

**Palavras-chave:** Planejamento urbano; Modelagem espaço-temporal; Drenagem urbana; Uso e ocupação urbana.

## **ABSTRACT**

In order to understand the process of urbanization, in view of the dynamic character transformations introduced in the natural environment, which alter the hydrographic system in urbanized basins, with direct impacts on drainage, technical assessments are required with a systematized approach of the basin as a unit of analysis and planning . The objective was to evaluate the evolution in the form of land cover and use and its direct implications in the hydrographic dynamics in the Botafogo stream sub-basin, located in the central region of the capital Goiânia (GO), as well as to propose and test the efficiency of guidelines that may result in scenarios in order to mitigate the impacts resulting from these changes, considering the years 1988, 1998, 2008 and 2018. The methodology establishes the relation of the evolution of land use and occupation in the last four decades in the sub-basin of the stream Botafogo and corresponds to changes in hydrographic dynamics in the studied area through the application of the rational method and hydrological modeling, presenting changes in the processes and spatio-temporal hydrological phenomena, such as surface runoff coefficient, infiltration, effective precipitation and flow estimates. The data were processed by specific GIS software for spatial scaling, scaling and thematic mapping. Based on the application of the established model, in order to meet the objectives proposed in this study, the main flow lines and their contribution potential were identified in order to confront proposed guidelines to mitigate the effects of urban Botafogo stream basin. As the research is about the representation of spatiotemporal phenomena, with information and results of quantitative and qualitative character, they are presented in forms of maps and graphs, as well as the confrontation of these with the literature and analysis of its importance in relation to the urban and environmental planning. The results show that the transformations related to the use and occupation occurred in this sub-basin led, over time, to several environmental consequences, such as: high soil waterproofing index, suppression of vegetation cover, channelization and potential reduction natural drainage of the stream, infrastructure of the drainage system poorly dimensioned. In addition, changes in hydrological dynamics (concentration time, effective precipitation, infiltration, runoff, flow estimates) due to the evolution of urban land cover and use have been related, which associated with the physical characteristics, resulted in the convergence of flow to the main channel and making it susceptible to flooding and flooding.

**Keywords:** Urban planning; Spatial-temporal modeling; Urban drainage; Urban use and occupation.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>15</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>16</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1 – URBANIZAÇÃO E OS INSTRUMENTOS DE PLANEJAMENTO.....</b>	<b>21</b>
<b>1.1 Conceito de urbanização e suas características .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2 O processo de urbanização no Brasil pós década de 1950 .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3 Planejamento urbano e ambiental no Brasil.....</b>	<b>27</b>
<b>1.4 Planos Diretores como instrumentos de ordenamento territorial .....</b>	<b>30</b>
<b>1.5 Plano Diretor de Drenagem Urbana: o manejo de águas pluviais.....</b>	<b>34</b>
<b>1.6 Transformações na sub-bacia do córrego Botafogo no contexto histórico do planejamento de Goiânia .....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO 2 – O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES NOS SISTEMAS HIDROGRÁFICOS .....</b>	<b>41</b>
<b>2.1 Impactos da urbanização nas bacias hidrográficas.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2 Bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento .....</b>	<b>45</b>
<b>2.3 Definição de sistema hidrográfico e suas propriedades .....</b>	<b>49</b>
<b>2.4 Modelagem de processos e fenômenos em sistemas ambientais .....</b>	<b>50</b>
<b>2.5 Modelagem hidrológica em bacias hidrográficas .....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>55</b>
3.1.1 Características gerais da sub-bacia do córrego Botafogo.....	55
3.1.2 Características físicas: hipsometria, declividade e comprimento de fluxo ....	57
3.1.3 Geologia: unidades geológicas e litologias predominantes.....	60
3.1.4 Geomorfologia: características morfométricas, morfográficas e morfogénéticas .....	61
3.1.5 Pedologia: principais classes de solo, textura e profundidade .....	63
3.1.6 Clima: dinâmica atmosférica regional, intensidade, duração e frequência dos eventos pluviométricos .....	63
<b>3.2 Procedimentos Técnico-Operacionais.....</b>	<b>65</b>

3.2.1 Propósito da estrutura conceitual adotada.....	65
3.2.2 Preparação do banco de dados e mapeamentos.....	66
3.2.3 Método Racional: variáveis e equacionamento.....	67
3.2.4 Aplicação esquematizada do modelo hidrológico.....	71
<b>3.3 Modelagem hidrológica face aos cenários propostos para atenuação dos efeitos do adensamento urbano .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4 Forma de apresentação dos resultados.....</b>	<b>74</b>
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>75</b>
<b>4.1 Alterações da cobertura e uso do solo urbano na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia - GO.....</b>	<b>75</b>
<b>4.2 Dinâmica hidrográfica na bacia .....</b>	<b>79</b>
4.2.1 Grau de antropização (coeficiente K) e estimativas de velocidade de escoamento superficial .....	79
4.2.2 Tempo de concentração.....	83
4.2.3 Precipitação efetiva .....	85
4.2.4 Coeficiente de infiltração e coeficiente de escoamento superficial .....	90
4.2.5 Estimativa de vazão.....	94
<b>4.3 Avaliação das diretrizes propostas para atenuação dos efeitos do adensamento urbano .....</b>	<b>98</b>
4.3.1 Cenário 1: lotes na sub-bacia com 15% de área permeável .....	98
4.3.2 Cenário 2: Sugestão de locais para construção de bacias e barragens de contenção nas principais linhas de fluxo .....	102
4.3.3 Ações necessárias para melhorias dos instrumentos de planejamento urbano em face ao controle de águas pluviais e drenagem urbana.	105
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>108</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO 1 – Pontos críticos de alagamento em Goiânia – Defesa Civil.....</b>	<b>119</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Grau de urbanização brasileira ao longo das décadas: 1940 à 2010 ...	25
Figura 2	Mapas apresentados no Plano Diretor de Goiânia - Goiás (Versão Ano 2007): diagnóstico da rede hídrica e viária, políticas de desenvolvimento urbano e econômico.....	32
Figura 3	Evolução das alterações temporais ocorridas no canal fluvial do córrego Botafogo – Goiânia (GO) devido ao fluxo de energia.....	43
Figura 4	Exemplo de evolução temporal da urbanização e restauração ambiental associado ao planejamento - a sub-bacia do córrego Caveira, Goiânia (GO).....	47
Figura 5	Localização da sub-bacia hidrográfica do córrego Botafogo, Goiânia – Goiás .....	55
Figura 6	Parques urbanos existentes na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia – Go .....	57
Figura 7	Carta imagem, hipsometria, declividade e comprimento de fluxo da sub-bacia hidrográfica do córrego Botafogo, Goiânia – Goiás.....	58
Figura 8	Mapas geológico, geomorfológico e pedológico da sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia – Go .....	61
Figura 9	Roteiro geral adotado na pesquisa .....	65
Figura 10	Fluxograma metodológico para aplicação do modelo hidrológico.....	71
Figura 11	Mapas da evolução temporal da cobertura e uso do solo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.....	76
Figura 12	Evolução temporal da cobertura e uso do solo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO..	77
Figura 13	Evolução do grau de antropização para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.....	80
Figura 14	Estimativas de velocidade de escoamento superficial para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO .....	81
Figura 15	Tempo de concentração (tc) para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.....	84

Figura 16	Precipitação efetiva para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.....	88
Figura 17	Coeficiente de infiltração (S) para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO .....	91
Figura 18	Coeficiente de escoamento superficial (CES) para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO..	93
Figura 19	Estimativa de vazões máximas para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.....	96
Figura 20	Cobertura e uso, coeficiente de infiltração, precipitação efetiva e coeficiente de escoamento superficial para cenário com 15% de área permeável por lote na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia – GO.....	99
Figura 21	Estimativa de vazão para cenário com 15% de área permeável por lote na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia – GO.....	101
Figura 22	Estimativa de vazão e principais linhas de fluxo que convergem para o córrego Botafogo e locais indicados à construção de bacias ou barragens de contenção na sub-bacia estudada. (Ano: 2018).....	103

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Exemplos de medidas estruturais e não-estruturais que podem compor o sistema de drenagem urbana.....	34
Quadro 2	Proposição de medidas estruturais e não-estruturais a serem incluídas no Programa de Drenagem Urbana de Goiânia, GO.....	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classes de uso e ocupação do solo e respectivos números de escoamento superficial (CN).....	69
Tabela 2	Precipitação considerada na sub-bacia do córrego Botafogo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018.....	86
Tabela 3	Tabela 3: Classes de uso e ocupação do solo e respectivos coeficiente de infiltração (S), precipitação efetiva e coeficientes de escoamento superficial (CES).....	92

## LISTA DE SIGLAS

ANPUR	Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional
APP	Área de Preservação Permanente
CAU/BR	Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil
CF	Constituição Federal
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EC	Estatuto da Cidade
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção do Meio Ambiente) – USA (EUA)
ERH	Enquadramento dos Recursos Hídricos
EUA	Estados Unidos da América
FHA	<i>Federal Highway Administration</i> (Administração Federal de Autoestradas) – USA (EUA)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMMP	Intensidade média das máximas de precipitação
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LDO	Lei de Diretrizes Orçamentárias
MCidades	Ministério das Cidades
MUBDG	Mapa Urbano Básico Digital De Goiânia
NRCS	<i>Natural Resources Conservation Service</i> – USA (EUA)
OGU	Orçamento Geral da União
PD	Plano Diretor
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PRH	Plano de Recursos Hídricos
SCS	<i>Soil Conservation Service</i> (Serviço de Conservação do Solo) – USA (EUA)
SECTEC	Secretaria Municipal de Ciência, Tecnologia e Inovação
SEMDUS	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano Sustentável
SEPLAM	Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação – Goiás, Brasil
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

## INTRODUÇÃO

Na busca por compreender o acelerado processo de urbanização pelo qual as cidades passam, bem como as transformações de caráter dinâmica resultantes no ambiente natural, principalmente envolvendo a drenagem urbana, faz-se necessário avaliações técnicas que considerem as bacias hidrográficas como unidade de planejamento e análise.

Os diferentes tipos de uso e ocupação do solo urbano em bacias hidrográficas estão diretamente associados ao crescimento acelerado das cidades, com planejamento incipiente, ocupação desordenada e falhas na infraestrutura do sistema de drenagem urbana, com influência direta na redução da cobertura vegetal e aumento da compactação e impermeabilização do solo.

O reflexo da urbanização pode ser percebido pelas alterações nos processos naturais do meio ambiente, principalmente sobre o sistema hidrológico, alterando o balanço hídrico nas bacias hidrográficas, o que pode resultar em maior probabilidade de alagamentos e inundações.

Diante dessa realidade, é fundamental que o planejamento ambiental e urbano, por ser ferramenta legal e administrativa, seja priorizado, considerando as bacias como unidades de ordenamento e análise, com o objetivo de prever e minimizar os impactos negativos da urbanização, como a impermeabilização e a consequente redução da capacidade de infiltração dos solos.

Além disso, faz-se necessário a implementação de Planos Diretores de Drenagem Urbana, que possam solucionar os problemas perante a infraestrutura urbana destinada aos recursos hídricos e aos sistemas de drenagem, que, na maioria das cidades se mostram insatisfatórios.

O planejamento é essencial justamente para implantar medidas preventivas. Por isso, quando a bacia hidrográfica encontra-se no seu estado natural e o processo de urbanização inicia-se, é o momento de estabelecer os controles adequados no contexto do plano de drenagem urbana. Para Almeida e Stipp (2013), a ocupação urbana deve adequar-se à declividade do terreno, ao sistema natural de drenagem, condições de estabilidade dos taludes naturais ou artificiais, entre outros fatores.

Porém, nem sempre o planejamento inicial face à urbanização em bacias hidrográficas ocorre, fazendo com que medidas preventivas sejam substituídas por medidas corretivas com resultados temporários, frente aos impactos ocasionados pelas

alterações no sistema hidrográfico, paralelamente aos sistemas de drenagem mal dimensionados.

Assim, faz-se necessário compreender toda dinâmica dos processos e fenômenos que compõem a bacia em processo de urbanização, de forma a subsidiar o planejamento urbano, que possa atenuar os efeitos do adensamento urbano. Neste sentido, a modelagem hidrológica é uma ferramenta cada vez mais utilizada e confiável para realização de estudos que envolvam alterações do uso antrópico e suas implicações em bacias hidrográficas.

Seibt (2013) esclarece que os modelos hidrológicos permitem representar a fundamentação teórica, a disparidade espacial, e a variabilidade temporal, considerando as características da bacia, como o solo, a vegetação, a topografia e os eventos chuvosos, pois possibilita uma ampla abordagem sobre os principais mecanismos e interações que se desenvolvem no ambiente urbano.

A utilização de modelagem hidrológica a partir do uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite a realização de estudos práticos e confiáveis, além de auxiliar na aplicação do Método Racional, que trata-se de equacionamentos clássicos que estabelecem a relação entre precipitação (chuva) e o escoamento superficial.

Vários são os exemplos de bacias hidrográficas fortemente urbanizadas e que já foram objetos de diversos estudos. Portanto, ao se fazer um recorte espacial nas transformações urbanísticas ocorridas em Goiânia, a escolha pela sub-bacia hidrográfica do córrego Botafogo se dá pelo fato da mesma ser considerada um dos principais corpos hídricos existentes na faixa urbana da capital goiana, possuir relação direta com o sistema viário da capital goiana e ser formada por alguns dos setores mais antigos, centralizados e adensados.

Consequentemente, esta sub-bacia possui todo conjunto de transformações do uso e ocupação que resultam em diversas consequências ambientais, como: compactação e impermeabilização do solo, alteração da cobertura vegetal, canalização, redução do potencial hídrico de drenagem natural, alagamentos e diversos outros transtornos à população.

Para a formulação da presente proposta de pesquisa, partiu-se dos seguintes questionamentos: Como a expansão e o adensamento urbano vêm influenciando nos diversos problemas de drenagem na sub-bacia e ao longo do curso hídrico principal do córrego Botafogo? Quais os efeitos do adensamento urbano da sub-bacia do córrego

Botafogo no seu eixo fluvial (canal)? Quais são os fluxos de vazão que influenciam no efeito acumulativo no canal principal da sub-bacia? Quais diretrizes podem ser adotadas a fim de atenuar os impactos decorrentes da expansão e adensamento urbano no sistema hidrológico da sub-bacia?

Assim, este estudo tem como objetivo geral avaliar como a evolução temporal na cobertura e uso do solo urbano alterou a dinâmica hidrográfica na sub-bacia do córrego Botafogo, localizado em Goiânia, considerando os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018, e testar dois cenários propostos visando atenuar tais impactos no efeito acumulativo que causam alagamentos no canal principal.

Os objetivos específicos são: identificar e avaliar a expansão das principais classes de cobertura e uso e seus efeitos na velocidade do escoamento superficial, no tempo de concentração e na capacidade de infiltração de água no solo; verificar as alterações advindas do adensamento urbano na intensidade-duração-frequência das precipitações na sub-bacia; identificar as principais linhas de fluxo e correlacioná-los com os pontos de instabilidade ao longo do canal principal; propor e testar as diretrizes que possam reduzir os efeitos decorrentes do processo de compactação, impermeabilização e, conseqüente, redução da capacidade de infiltração de água no solo.

A escolha por este período, com abrangência de 30 anos, considerando os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018, se dá pela disponibilidade de imagens de satélite nos respectivos anos com resolução espectral que permite tais análises, bem como proporcionar um horizonte seguro, possibilitando alcançar os objetivos propostos.

A dissertação está estruturada em quatro capítulos. O primeiro capítulo discorre o processo de urbanização, especialmente no Brasil pós década de 1950, fazendo um paralelo sobre definições e aspectos legais do planejamento urbano e ambiental, apresentado o plano diretor como instrumento que auxilia no processo de ordenamento territorial, que deve incluir o plano diretor de drenagem urbana para prevenir e mitigar os efeitos decorrentes da expansão e adensamento urbano.

O segundo capítulo aborda os impactos da urbanização nas bacias hidrográficas, apresenta a bacia como sistema integrado e dinâmico e portanto define esta como melhor unidade para análise e planejamento, principalmente para compreender como o adensamento urbano altera os fluxos de energia espaço-temporal no sistema hidrográfico, além de apresentar processos e fenômenos em sistemas ambientais que podem ser compreendidos por meio da modelagem hidrológica.

O terceiro capítulo apresenta a caracterização da área de estudo, no caso, a bacia hidrográfica do córrego Botafogo, elencando características, como suas dimensões, usos do solo, geologia, geomorfologia, pedologia, clima e características do relevo (hipsometria, declividade e comprimento de fluxo). Também apresenta-se neste capítulo os procedimentos metodológicos, que demonstra ainda a estrutura conceitual e sistêmica adotada na pesquisa, considerando a bacia como unidade de análise, bem como a formulação da modelagem hidrológica utilizada, que baseia-se no método racional, com determinação das variáveis e equacionamento das mesmas, além de definir as diretrizes testadas para atenuação dos efeitos do adensamento urbano na bacia.

O quarto capítulo apresenta os resultados esperados, face a responder os questionamentos e objetivos desta pesquisa, bem como dois cenários propostos a reduzir o efeito acumulativo no canal principal, com devidas considerações para medidas mitigadoras. E posteriormente são apresentados as conclusões, referências e anexo.

# **CAPÍTULO 1 – URBANIZAÇÃO E OS INSTRUMENTOS DE PLANEJAMENTO**

## **1.1 Conceito de urbanização e suas características**

A urbanização pode ser entendida como um conceito geográfico que representa a formação e crescimento das cidades, evidenciado, principalmente, pela expansão urbana em extensão territorial quanto ao aumento populacional (MIRANDA, 2006).

Nessa lógica, evidencia-se que a urbanização não consiste em simples processo de transformação do espaço rural em espaço urbano. Essa transcurso, historicamente, se deu pela industrialização, que pode ser considerada como o motor para a formação inicial e o estabelecimento da urbanização ocorrida a nível mundial, ocasionando o chamado êxodo rural.

Constata-se que boa parte dos processos de produção continua no campo, entretanto, é na cidade que a maioria das trocas são articuladas, que as decisões são tomadas, que as reuniões de negócios acontecem, sendo que uma de suas principais finalidades é o traçado de estratégias.

Embora os meios de comunicação tenham avançado, permitindo a conexão em tempo real entre diversas partes do mundo, as reuniões de negócios ainda requerem a existência de ambientes reais, tendo em vista a eficiência da proximidade ou junção entre os aparatos técnicos, financeiros, jurídicos, governamentais, entre outros, para o bom funcionamento das cadeias produtivas e sistema econômico.

Além disso, o Estado possui papel relevante quanto ao processo atrativo que acontece no espaço urbano sobre o sistema. Conforme explica Carlos (2009) a atuação do Estado no tecido urbano parte de uma articulação profunda entre o poder público e os setores financeiros e se revela por intermédio de políticas urbanas que direcionam o orçamento público para a construção de uma infraestrutura necessária para que esse processo econômico se realize.

Nesse contexto, Sposito (2000) explica que a nível interurbano, o poder público escolhe para seus investimentos em bens e serviços coletivos, exatamente os lugares da cidade onde estão os segmentos populacionais de maior poder aquisitivo, ou que poderão ser vendidos e ocupados por estes segmentos, pois é preciso valorizar as áreas e atrair os setores financeiros.

Como consequência dessa relação entre o Estado e os setores econômicos, a urbanização contemporânea se evidencia pela valorização do espaço urbano e fortalecimento dos setores secundário e terciário da economia. Essa transcurso se consolida por meio de crescimento de núcleos de atração de fluxos, como produto da divisão espacial do trabalho nas cidades (SANTOS, 1993).

Portanto, o ambiente urbano favorece o ciclo econômico, fazendo com que os setores da economia passem a se fortalecer, valorizando as diversas possibilidades trazidas pelo mercado. A industrialização foi responsável por iniciar a formação das cidades, que passa a ser superada pelo capital financeiro. A urbanização pode assim ser entendida como aglomeração demográfica de alta densidade e possibilidade de novos investimentos em ocorrência da concentração demográfica e consequente surgimento de novas demandas e necessidades.

Nessa vertente, é evidente que o espaço urbano possui uma ocupação intencional nas chamadas áreas valorizadas. Assim, o setor imobiliário dita os rumos do mercado financeiro e o espaço urbano passa a ser comandado pelo valor da terra urbana, como explica Carlos (2009):

Por sua vez, por meio dos fundos imobiliários e do mercado financeiro, forma-se uma nova articulação entre os setores industrial e imobiliário, construindo edifícios que não serão destinados à venda. Na realidade, esse capital industrial/financeiro vai produzir edifícios corporativos direcionados ao novo setor da economia num momento em que as transformações do processo produtivo, ante as novas condições de competitividade do mercado, tornam impossível a imobilização do capital na compra do imóvel, pois isso oneraria os custos de produção. Assim, o capital não se imobiliza na compra do imóvel, sendo preferível alugá-lo, e é nesse movimento que o capital ganha mobilidade. A terra urbana muda de sentido para o capital, deixando de ser um lugar de fixidez para ser o lugar por meio do qual esse vai se realizar, apoiando-se no redirecionamento das políticas urbanas na direção de construir o ambiente necessário para que esse capital possa se realizar, transformando a metrópole. (CARLOS, 2009, p. 5).

Neste contexto, tem-se que o espaço urbano seja produtivo e valorizado pelo seu uso. Mesmo os espaços ditos vazios estão cheios de intencionalidades de usos, subordinados aos interesses de valor, que são criados de acordo com as possibilidades do mundo da mercadoria e são, ao mesmo tempo, valores de troca, que estão na base do processo de fragmentação do espaço (PENNA, 2002).

As maiores cidades passaram a ter o poder de atrair as pessoas, justamente pela ideia de oportunidades e melhorias de vida, o que na maioria das vezes não acontece. Então, o crescimento dessas metrópoles, ambiente no qual a desigualdade social é

escancarada, se dá também pela migração urbana-urbana. Isto é, de uma cidade menor para uma cidade média ou grande e vice-versa, contribuindo para o adensamento urbano e ocupação em áreas periféricas, decorrida dessa desigualdade de poder aquisitivo.

Toda a dinâmica trazida pela urbanização, seja pela supremacia do capital financeiro, dominação do mercado imobiliário, fluxo dos setores produtivos e do trabalho, como apresentado, acaba por gerar adensamento urbano acelerado, que ocorre, na maioria das vezes, sem planejamento adequado, trazendo impactos ambientais significativos.

Para Tucci (2008), esses impactos ocorrem em decorrência da falta de controle do espaço urbano, que produz efeito direto sobre a infraestrutura de água: abastecimento, esgotamento sanitário, águas pluviais (drenagem urbana e inundações ribeirinhas) e resíduos sólidos.

Dentre dos principais fatores decorrentes do processo de urbanização descontrolada, pode-se citar alguns exemplos, como: legislações equivocadas quanto ao controle do espaço urbano; incapacidade do poder municipal em planejar e até mesmo antecipar a urbanização; valorização imobiliária que geram tendências de ocupações em determinadas áreas da cidade, fazendo com que os investimentos em infraestrutura urbana se estabeleçam apenas na cidade formal, deixando áreas menos valorizadas de lado; uso e ocupação do solo urbano sem um devido delineamento, originando assim recortes no terreno que podem causar deslizamentos, além da impermeabilização, afetando diretamente o escoamento superficial, causando assim alagamentos e inundações.

Portanto, evidencia-se que a urbanização necessitando de planejamento urbano e ambiental, visando minimizar os impactos negativos e buscar o desenvolvimento sustentável.

## **1.2 O processo de urbanização no Brasil pós década de 1950**

A urbanização brasileira teve forte impulso no início no século XX, principalmente a partir da sua segunda metade, impulsionada pelo processo de industrialização, que funcionou como um dos principais fatores para o deslocamento da população da área rural em direção a área urbana. Para Gobbi (2018) esse deslocamento, também chamado de êxodo rural, provocou a mudança de um modelo agrário-exportador para um modelo urbano-industrial.

Conforme explica Miranda (2006), somente a partir da década de 1950 que a urbanização no Brasil tornou-se cada vez mais acelerada, devido, sobretudo, a intensificação da industrialização brasileira ocorrido na época, sendo a principal consequência, entre uma série de outras, da "política desenvolvimentista" do governo Juscelino Kubitschek.

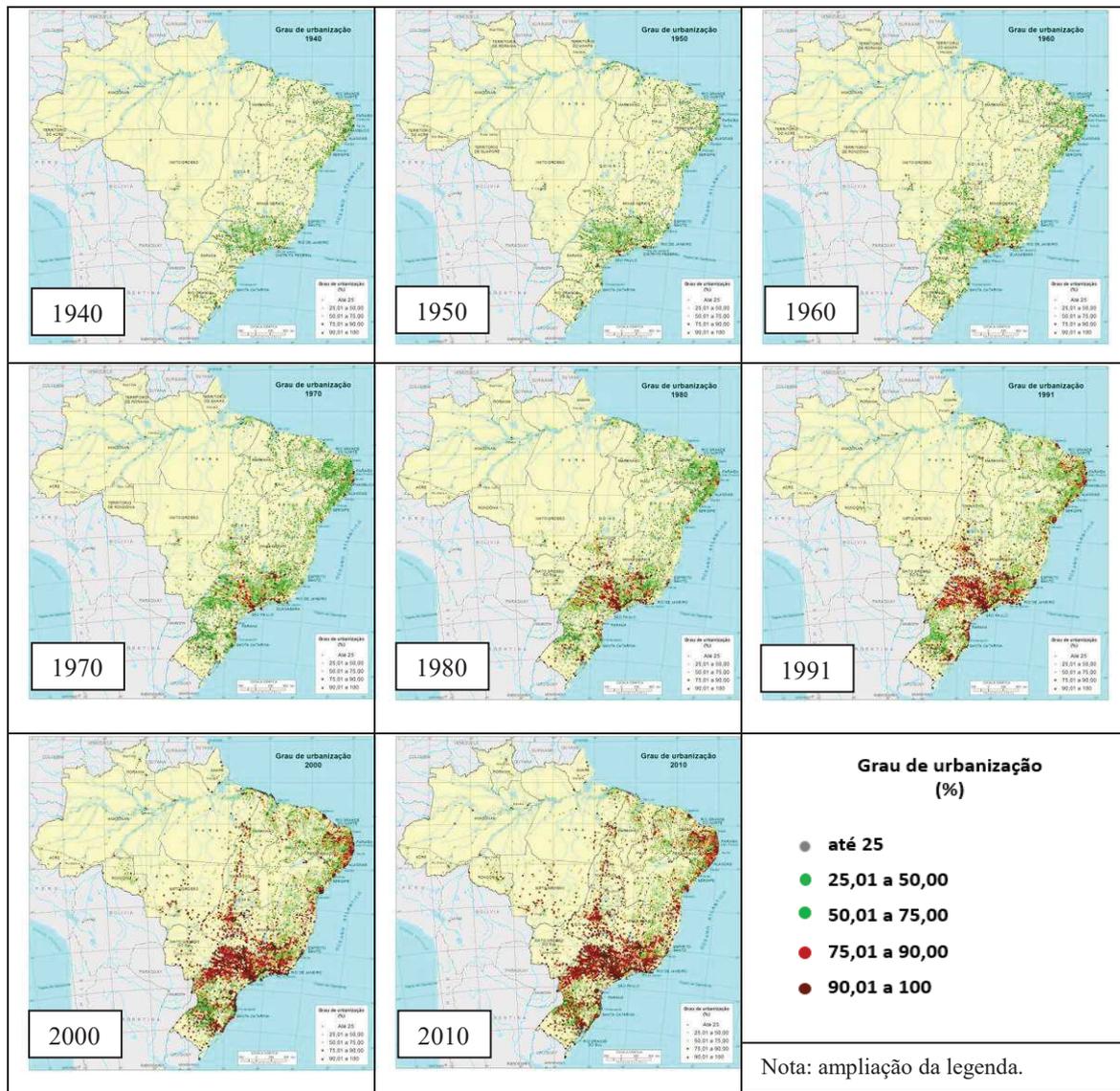
Ressalta-se que em meados dos anos 1950 o mundo passava pela fase pós-guerra e que na década seguinte, o Brasil entraria em longo período de ditadura militar, fatos estes que implicaram diretamente no processo de urbanização brasileira, como Santos (1993) ressalta:

O forte movimento de urbanização que se verifica a partir do fim da segunda guerra mundial é contemporâneo de um forte crescimento demográfico, resultado de uma natalidade elevada e de uma mortalidade em descenso, cujas causas essenciais são os progressos sanitários, a melhoria relativa nos padrões de vida e a própria urbanização. [...] Com golpe de Estado de 1964, todavia, aparece como um marco, pois foi o movimento militar que criou as condições de uma rápida integração do País a um movimento de internacionalização que aparecia como irresistível, em escala mundial. A economia se desenvolve, seja para atender a um mercado consumidor em célebre expansão, seja para responder a uma demanda exterior. O País se torna grande exportador, tanto de produtos agrícolas não tradicionais (soja cítricos), parcialmente beneficiados antes de se dirigirem ao estrangeiro, quanto de produtos industrializados. A modernização agrícola, aliás, atinge, também produções tradicionais como o café, o cacau, o algodão; alcança produtos como o trigo, cujo volume plantado e colhido se multiplica, implanta-se em muitos outros setores e se beneficia da expansão da classe média e das novas equações de um consumo popular, intermitente, com o desenvolvimento da produção de frutas, verdura e hortaliças. A população aumentada, a classe média ampliada, a sedução dos pobres por um consumo diversificado e ajudado por sistemas extensivos de crédito, servem como impulsão à expansão industrial. (SANTOS, 1993, p. 31 e 36).

Esse processo de urbanização brasileira difere-se daquele ocorrido no continente europeu. Nesse sentido, Miranda (2006), explica que na Europa esse processo é mais antigo, ou seja, com exceção da Inglaterra, único país que se tornou urbanizado na primeira metade do século 19, a maioria dos países europeus se tornou urbanizada entre a segunda metade do século 19 e a primeira metade do século 20. Além disso, nesses países a urbanização foi menos intensa, menos volumosa e acompanhada por uma melhor oferta de empregos urbanos, moradias, escolas, saneamento básico, etc.

Para demonstrar visualmente e resumidamente o grau de urbanização ocorrido no Brasil, ao longo das últimas oito décadas, a partir da segunda metade do século XX, apresenta-se a Figura 1.

Figura 1: Grau de urbanização brasileira ao longo das décadas: 1940 à 2010.



Fonte: Adaptado pela autora a partir de dados do IBGE - Censo demográfico 1940-2010.<sup>1</sup>

Por meio da Figura 1, observa-se claramente a evolução da urbanização no território brasileiro ao longo das últimas décadas. Nota-se o avanço no sentido do litoral para o interior do país, além do surgimento das regiões metropolitanas, principalmente ao entorno das capitais e onde ocorre o fortalecimento dos eixos econômicos mais atraentes, como os localizados no litoral nordestino, aos arredores da capital Brasília e fortemente estabelecido na região Sudeste.

<sup>1</sup> Taxa de urbanização em conceituação percentual da população residente em áreas urbanas, ou seja, Indica a proporção da população total que reside em áreas urbanas, segundo a divisão político administrativa estabelecida pelas administrações municipais. Método de cálculo: (População urbana residente/População total residente) x 100.

Santos (1993) explica que nos anos 50, a revolução urbana caracteriza-se pela aglomeração demográfica, e a partir dos anos 70, esse processo alcança novo patamar, tanto do ponto de vista quantitativo, quanto do ponto de vista qualitativo, ou seja, surge uma urbanização concentrada, com a multiplicação de cidades de tamanho intermédio, para alcançar nas próximas décadas o estágio de cidades milionárias e de grandes cidades.

O que ocorreu nas décadas seguintes no processo de urbanização brasileira, considerando os anos 80 e 90, assim como no início do século XXI, os anos 2000, a migração campo-cidade entrou em desaceleração, visto que a população urbana já era maior que a população rural. As cidades então passaram a crescer substancialmente, tendo migração entre as regiões, principalmente da Nordeste para a Sudeste.

Esse processo possibilitou a formação de mercado interno integrado, que permitiu atrair milhares de pessoas, sobretudo, para a região Sudeste do país, que possuía a maior infraestrutura e, conseqüentemente, a que concentrava o maior número de indústrias (GOBBI, 2018).

Posteriormente, as regiões metropolitanas passam a abrigar boa parte da concentração demográfica, uma consequência do maior número de indústrias e serviços, especialmente a partir dos anos 2000, ganhando força e multiplicando-se (GOBBI, 2018).

Evidencia-se que a partir da década de 2010 surge a chamada migração urbana-urbana, no qual as pessoas passam a migrar de uma cidade para outra, principalmente à procura de emprego ou formação escolar.

Toda essa evolução no processo de urbanização ocorrida no território brasileiro se reflete, sobretudo, pela existências de alguns fatores importantes, como: a configuração territorial foi formada por um conjunto de sistemas relacionados a engenharia, de maneira a permitir que se criassem as condições de trabalho próprias de cada época, com destaque ao desenvolvimento do sistema de transportes, de telecomunicações e energético.

No entretanto, o rápido e desordenado processo de urbanização ocorrido no Brasil trouxe uma série de consequências negativas. A exemplo disso é a falta de planejamento urbano.

Dentre os principais impactos negativos desse processo, principalmente, pela impermeabilização do solo, associado ao desmatamento, tem-se a ocorrência de inundações, enchentes e alagamentos na maioria das cidades brasileiras. Evidencia-se,

portanto, a relevância de entender que urbanização é um fenômeno mundial, e que, de forma geral, este processo requer planejamento, adaptações, e principalmente prognósticos de problemas.

### **1.3 Planejamento urbano e ambiental no Brasil**

Para Takeda (2013), o termo uso e ocupação do solo é definido em função das normas relativas à densificação, regime de atividades, dispositivos de controle das edificações e parcelamento do solo, que configuram o regime urbanístico.

Planejar o espaço urbano significa remeter ao futuro das cidades, buscando medidas de precaução contra problemas e dificuldades, ou ainda, aproveitando melhor possível os benefícios (VILLAÇA, 1998).

A partir da Constituição Federal (CF) de 1988, considerando os artigos 182 e 183, que estão as temáticas referentes a política urbana, e, portanto, a gestão das cidades passou a ocupar lugar de destaque em diversas esferas institucionais, políticas e sociais, em território brasileiro.

Posteriormente a este fato, no ano de 1992, ocorreu na cidade do Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que ficou conhecida como Eco-92 ou Rio-92. Neste grandioso e importantíssimo evento, segundo Antonucci et al. (2010), foi elaborada a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Agenda 21, que versava em torno da discussão sobre sustentabilidade do meio ambiente urbano, apresentando metas para promoção da qualidade de vida e equidade social nas cidades.

Esta Agenda 21 passou a ser o instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica (BRASIL, 1992).

Isso significa que, de acordo com o estudo de Honda et al. (2015), as políticas públicas que intervenham na área urbana deveriam buscar a sustentabilidade de acordo com a realidade destes centros urbanos, por meio de implementação de políticas urbanas que não ignorem as questões ambientais.

É importante salientar que em relação as principais consequências oriundas do crescimento urbano desordenado, tem-se a favelização, o desemprego, a criminalidade, as desigualdades sociais, o saneamento básico precário, as enchentes, as inundações e a poluição do ar, do solo e da água (MIRANDA, 2006).

Porém, de acordo com Honda et al. (2015), a realidade brasileira, ao final da década de 90, praticamente abandonou a Agenda 21 e as cidades passaram a crescer, se adensarem, sem de fato acontecer um prévio planejamento, escancarando assim as desigualdades sociais e a falta de infraestrutura básica.

Em 2001, finalmente, o Estatuto da Cidade (EC) foi criado pela Lei Federal nº 10.257/01, que regulamentou os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988.

O EC estabelece normas para a execução da política urbana no Brasil e tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante o direito a cidades sustentáveis, este entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 2001).

De acordo com Alves (2015), para garantir a convivência entre homem e o meio, bem como a manutenção da história urbana (local, regional ou nacional) o EC prevê a proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico.

Além do EC, em 2015, foi promulgada a Lei Federal 13.089, conhecida como o Estatuto das Metrôpoles, outro instrumento importante para o planejamento urbano brasileiro. Essa lei estabelece os condicionantes e as responsabilidades de administração e financiamento das regiões metropolitanas.

A principal relevância desse Estatuto das Metrôpoles está nas ações de planejamento e ordenamento territorial. A compreensão das regiões metropolitanas permite a execução de ações conjuntas entre legisladores municipais para questões de saúde, educação, transporte, economia, saneamento básico e violência urbana.

Diante dessas questões mencionadas, o que se ressalta neste estudo é a relevância destes instrumentos de planejamento a nível nacional, que trouxeram uma relação mais próxima entre o urbano e o ambiental.

Ressalta-se que esse planejar a cidade está diretamente relacionado ao processo de desenvolvimento de forma ordenada e igualitária, proporcionando à população o direito a moradia, emprego, acessibilidade, segurança, e, assim, garantir melhor qualidade de vida.

Estas políticas urbanas devem estabelecer toda infraestrutura e serviços de modo a garantir o bom uso e ocupação do solo e criação dos espaços públicos, assim

como também considerar os aspectos ambientais que compõem as cidades, como o relevo, os recursos hídricos e as áreas verdes.

Para Maricato (2008), os gestores precisam estar atentos a esse movimento, a fim de garantir condições satisfatórias para o desenvolvimento sustentável e para a redução da desigualdade social, aplicando as diretrizes do Estatuto da Cidade e do Plano Diretor<sup>2</sup>.

Portanto, o planejamento urbano possui estreita relação ao ambiental, tornando-se complementares na função de garantir que as cidades sejam sim planejadas, estruturadas e alinhem o crescimento com o desenvolvimento sustentável.

Resumidamente, o estudo de Honda et al. (2015) apresenta esta relação entre o planejamento urbano e ambiental:

O planejamento ambiental é o elemento básico para o desenvolvimento econômico e social voltado à melhor utilização e gestão de uma unidade territorial, cujas fases de inventário e de diagnóstico tornam-se caminho para a compreensão das potencialidades e das fragilidades da área. Assim, o planejamento ambiental é a base para o desenvolvimento sustentável, compreendido como a maneira possível para a qualidade de vida da população, principalmente para os países periféricos e subdesenvolvidos, ou a única possibilidade de sobrevivência para a humanidade. (HONDA et al., 2015, p. 65).

É evidente que ainda exista inúmeros desafios para implementação dos programas e das leis relativas ao planejamento urbano no Brasil. No entanto, é perceptível que já houve significativos avanços na efetivação do EC e Estatuto das Metrópoles.

Vale destacar que com a implementação desse conjunto de leis nacionais, visando garantir o planejamento do espaço urbano, houve também um certo fortalecimento da gestão ambiental nos municípios.

Para Alves (2015), não é suficiente apenas adotar medidas restritivas e de reduzida eficácia sem apontar caminhos para solucionar os problemas urbanos, esse processo de planejamento ambiental precisa contemplar as necessidades vitais da cidade, e não somente o ambiente natural.

---

<sup>2</sup> Com a criação do Estatuto da Cidade, um marco jurídico urbanístico, transformou também a função do plano diretor municipal, que passa a desempenhar papel de instrumento central da política urbana brasileira e, como tal, constitui a base para aplicação dos instrumentos urbanísticos, jurídicos e tributários do EC.

Portanto, o planejamento urbano deve ir além dos aspectos físicos e territoriais, encarando o ordenamento do território como um meio para cumprir objetivos maiores. Nesse sentido, no âmbito local, dentre os instrumentos da política nacional para o planejamento urbano e ambiental, tem-se o Plano Diretor (PD) como ferramenta essencial aos municípios para a implementação dos instrumentos previstos no EC.

#### **1.4 Planos Diretores como instrumentos de ordenamento territorial**

Ferramenta importantíssima ao estabelecimento das políticas públicas voltadas ao planejamento urbano é o plano diretor. Conforme já apresentado, o PD é instrumento estabelecido na Constituição Federal de 1988 e regulamentado pelos artigos 39º e 40º do Estatuto da Cidade, sendo ferramenta básica da política de desenvolvimento e expansão urbana (BRASIL, 2001).

Villaça (2005) apresenta a definição do que se entende como plano diretor:

Seria um plano que, a partir de um diagnóstico científico da realidade física, social, econômica, política e administrativa da cidade, do município e de sua região, apresentaria um conjunto de propostas para o futuro desenvolvimento socioeconômico e futura organização espacial dos usos do solo urbano, das redes de infraestrutura e de elementos fundamentais da estrutura urbana, para a cidade e para o município, propostas estas definidas para curto, médio e longo prazos, e aprovadas por lei municipal. Essa seria uma definição que acreditamos ser a mais consensual. Uma outra versão reduziria o plano diretor aos aspectos físico-territoriais do município. Nesse conceito, o diagnóstico abarcaria todos os aspectos da realidade urbana, municipal e mesmo regional, mas as propostas referir-se-iam apenas aos aspectos físico-territoriais, já que estes se caracterizam pelo fato de ser predominantemente da competência do governo municipal. (VILLAÇA, 2005, p. 238).

Cabe destacar que o EC mantém a divisão de competências do desenvolvimento territorial entre os três níveis de governo (Federal, Estadual, Municipal), concentrando na esfera municipal as atribuições de legislar em matéria urbana. Justamente por isso, o PD deve ser elaborado pelo Poder Público Municipal, pois o município é considerado o principal executor da política urbana.

Cabendo então ao poder público municipal a elaboração do PD, Prieto, Menezes e Galegari (2017), explicam:

O plano diretor tratar-se-á de uma lei municipal, que deve ser elaborada pelo poder executivo, e posteriormente deve ser aprovada pelo poder legislativo, que estabelecerá regras, parâmetros, incentivos e instrumentos para o desenvolvimento da cidade. Ele começa com o estabelecimento de um núcleo

gestor com participação de lideranças dos diferentes segmentos da sociedade (governo, empresas, sindicatos, movimentos sociais), segue com a realização de uma leitura (tanto da perspectiva técnica quanto da perspectiva comunitária) da cidade como é hoje, passa à elaboração e discussão de uma minuta de lei e, finalmente, a aprovação na Câmara Municipal. Ele atua em sentidos distintos, porém complementares: i. obrigando aos privados (empresas, cidadãos) o cumprimento de certas exigências (por exemplo, restringindo os usos permitidos para os terrenos ou imóveis); ii. incentivando ou induzindo os privados a tomarem certas ações (por exemplo, estabelecendo incentivos tributários para a instalação de empresas em certos locais). iii. comprometendo o poder público municipal a realizar investimentos, intervenções urbanas e afins (por exemplo, ampliando a infraestrutura urbana ou a oferta de equipamentos públicos em determinadas regiões). (PRIETO, MENEZES, CALEGARI, 2017, p. 4).

Ressalta-se que essa abordagem de como deve ser elaborado o PD está estritamente relacionado ao EC, que pressupõe a gestão democrática, com participação da população e de associações representativas dos vários segmentos da comunidade na formulação, execução e acompanhamento de planos, programas e projetos de desenvolvimento urbano (ALVES, 2015).

Nos últimos anos, a incorporação dessas boas práticas municipais às políticas nacionais reduziu algumas assimetrias regionais, principalmente pela formulação dos planos diretores, ampliando os resultados dessas políticas e universalizando direitos (CAU/BR, 2018).

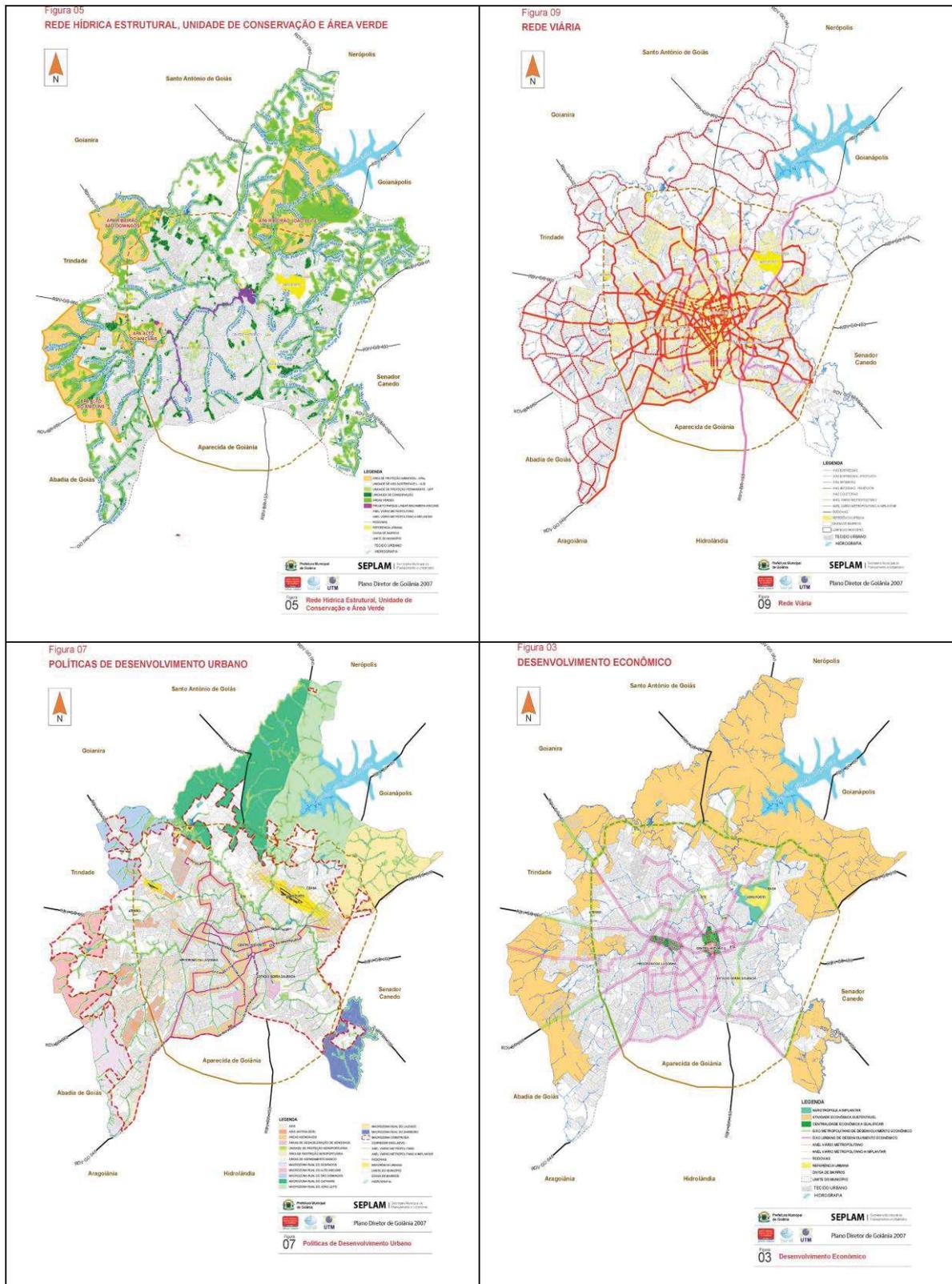
Verifica-se, portanto, que o objetivo geral do plano diretor é criar as bases técnicas para subsidiar o planejamento, de forma a cidade ser integrada, equilibrada, sustentável e que promova a qualidade de vida a todos os seus cidadãos, reduzindo os riscos do crescimento acelerado e distribuindo de forma justa os custos e benefícios da urbanização, e por isso deve ser instituído em forma de lei.

Na Figura 2 é apresentado alguns produtos gerados pelo Plano Diretor de Goiânia, Lei Complementar 171/2007<sup>3</sup>. Observa-se, de forma genérica, que esse tipo de diagnóstico aborda tanto os elementos fixos, que caracterizam-se pelo ambiente natural e construído, como a rede hídrica e rede viária, como também apresentam os fluxos, que são as atividades desenvolvidas no território, como o desenvolvimento econômico e políticas de planejamento.

---

<sup>3</sup> Lei Complementar nº 171 de 29 de maio de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município de Goiânia e dá outras providências.

Figura 2: Mapas apresentados no Plano Diretor de Goiânia - Goiás (Versão Ano 2007): diagnóstico da rede hídrica e viária, políticas de desenvolvimento urbano e econômico.



Fonte: Adaptado pela autora a partir do Plano Diretor de Goiânia – Lei Complementar nº 171/2007 (GOIÂNIA, 2007).

De acordo com o Estatuto da Cidade, a realização do PD é obrigatória para municípios com mais de 20 mil habitantes. Isso significa que para quase 31,6% dos municípios brasileiros o PD não é opção e sim obrigação e que pelo menos 84,2% da população do país vive em municípios que, em tese, deveriam ter seu desenvolvimento econômico, social e ambiental regido por um plano diretor (PRIETO, MENEZES, CALEGARI, 2017).

Em relação aos dados estatísticos da implementação de PD nos municípios brasileiros, o CAU/BR (2018) apresenta alguns dados:

As ações de fomento e incentivo promovidas pelo governo federal geraram resultados. Em 1996, metade dos municípios com mais de 500 mil habitantes contava com plano diretor, já em 2013, praticamente a totalidade destes informou tê-los. O maior avanço deu-se entre cidades menores: na faixa de população entre 100 mil e 500 mil habitantes, o número passou de 36%, em 1996, para a totalidade dos municípios em 2013. Também foi grande o avanço entre os Municípios com menos de 100 mil habitantes: apenas 5% deles tinham planos diretores em 1996; em 2006, eram 12% e, em 2013 chegou a 47%. Porém, o aumento de recursos e investimentos federais na política de desenvolvimento urbano a partir de 2003, não significou aumento correspondente na capacidade técnica e institucional dos municípios, que ainda apresentam dificuldades para desenvolver programas e projetos e propor soluções aos problemas urbanos. Em que pese tais dificuldades, pode-se apontar progressos em áreas específicas que expressam a capacidade técnica para gerenciar as cidades, tais como a presença de órgão municipal com atribuições em áreas correlatas ao planejamento desenvolvimento urbano. (CAU/BR, 2018, p. 5).

Evidentemente já houve avanços significativos no desenvolvimento deste instrumento para o planejamento urbano brasileiro, porém, assim como destaca Villaça (2005) que a questão relevante é que a maioria dos PD elaborados atualmente trazem apenas diagnóstico do território, deixando de incluir as questões do controle de uso e ocupação do solo urbano, o zoneamento, além dos planejamentos setoriais, que seriam a mobilidade, o saneamento básico, a drenagem urbana, entre outros aspectos importantíssimos.

Portanto, o principal desafio dessa importante ferramenta para a gestão e o planejamento territorial, é que seja elaborado com o compromisso de apresentar não somente a realidade do território, como também servir de base para implementação de diversos sub-planos, como Plano de Drenagem Urbano, Plano de Mobilidade, Plano de Saneamento, Plano de Arborização, dentre outros, por assim dizer, que possam de fato garantirem o planejamento urbano e ambiental, levando melhor qualidade de vida à população que vive nas cidades.

### 1.5 Plano Diretor de Drenagem Urbana: o manejo de águas pluviais

Vaz (2004) define drenagem urbana como o conjunto de medidas que realizam o gerenciamento da água pluvial que escoam no meio urbano, com o objetivo de minimizar os riscos à população, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento de forma harmônica, articulada e sustentável.

A gestão dos sistemas de drenagem urbana deve compreender, de acordo com Martins (2012) a operação e manutenção dos sistemas estruturais implantados, a execução do monitoramento, previsão de eventos e antecipação de extremos e a adoção de medidas não-estruturais, como campanhas de conscientização, capacitação e fortalecimento da máquina institucional encarregada do setor. As medidas estruturais e não-estruturais que devem compor o sistema de drenagem urbana, são apresentados pela Quadro 1.

Quadro 1: Exemplos de medidas estruturais e não-estruturais que podem compor o sistema de drenagem urbana.

<b>MEDIDAS ESTRUTURAIS</b>	<b>MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS</b>
Ampliação, modificação, retificação, revestimento, canalização dos cursos d'água naturais ou execução de galerias	Reserva de área para lazer e atividades compatíveis para os espaços abertos, margens e entorno de lagos e rios
Armazenamento ou desvio das águas a montante da região sujeita a inundações	Controle do uso do solo fora da área de inundação
Diques, muros e floodwalls	Securitização da área de risco de inundação
Alterações em pontes e travessias	Estruturas a prova de inundação e restrições de aproveitamento
Bacias de retenção, detenção e amortecimento	Sistema de Previsão, antecipação e alerta
Bacias de sedimentação, retenção de detritos e lixo	Tratamento das populações em encostas e áreas baixas
Wetlands e áreas de depuração in situ	Programa de manutenção e inspeção do sistema de drenagem
Parques lineares	Programa de ação emergencial
Repermeabilização e permeabilização artificial do solo	Manual de Drenagem e de gestão da drenagem
Relocação e demolição de estruturas	Educação Ambiental
Detenção em lotes, quadras, empreendimentos, jardins de chuva, telhado verde...	Institucionalização da drenagem urbana como serviço do estado

Fonte: MARTINS (2012).

As medidas estruturais dividem-se em sistemas de microdrenagem e macrodrenagem, e, conseqüentemente, devem ser considerados dois sistemas distintos, que se complementam, mas que são projetados sob critérios diferenciados.

Para Canholi (2014), os sistemas de microdrenagem incluem a coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias, e são obras em cujo projeto são adotadas vazões produzidas por eventos hidrológicos com 2, 5 e, no máximo, 10 anos de período de retorno.

Já os sistemas de macrodrenagem, de acordo com Gois (1998) *apud* Canholi (2014) destina-se ao escoamento final das águas escoadas superficialmente, inclusive as captadas pelas estruturas de microdrenagem e são compostos dos seguintes itens: sistema de microdrenagem, galerias de grande porte, canais e rios canalizados.

Porém, nem sempre estas medidas são aplicadas durante o planejamento e a gestão da drenagem urbana, implicando diretamente alguns dos transtornos vivenciados nas cidades. Portanto, a gestão e o controle da drenagem urbana assumem papel relevante, principalmente, diante do descontrole frente ao crescimento das cidades, em relação ao adensamento e impermeabilização do solo nas bacias em espaços urbanos.

Esclarece-se que há uma linha tênue que diferencia enchente, inundação e alagamento. Defini-se enchente quando há o aumento natural do nível da água em rios ou canais fluviais, porém sem que isso gere o transbordamento e é causada sobretudo pela elevada precipitação. Já a inundação é caracterizada pelo transbordamento que inunda determinada região quando o sistema de drenagem não suporta a vazão do canal natural. E no que diz respeito ao alagamento, ele é definido pelo acúmulo de água e sistema de drenagem sem eficácia ou até mesmo em falta.

É notável a constante a necessidade de se alinhar, o já obrigatório, Plano Diretor com um conjunto de diretrizes que determinem a gestão do sistema de drenagem, de forma a minimizar o impacto ambiental, garantindo o adequado escoamento das águas pluviais, sendo este denominado como Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU).

É importante estabelecer a relação entre o PD e o PDDU, que Tucci (1997) ressalva a importância de seguir as determinadas orientações para sua correta elaboração:

O Plano de Drenagem Urbana deve considerar: (i) planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infraestrutura para evitar

prejuízos econômicos e ambientais; (ii) controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições na áreas de alto risco e; (iii) convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco. Os condicionamentos urbanos são resultados de vários fatores que não serão discutidos aqui, pois parte-se do princípio que os mesmos foram definidos dentro do âmbito do Plano Diretor Urbano. No entanto, devido a interferência que a ocupação do solo tem sobre a drenagem existem elementos do Plano de Drenagem que são introduzidos no Plano Diretor Urbano ou na legislação de ocupação do solo. Portanto, o Plano de Drenagem Urbana (PDU) deve ser um componente do Plano Diretor de Planejamento Urbano de uma cidade. O PDU tem o objetivo de planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, controlar a ocupações das áreas de riscos de inundações e convivência com enchentes em áreas de baixo risco. (TUCCI, 1997, p. 9).

Segundo Carmo e Marchi (2013), a maioria dos municípios brasileiros ainda não dão a relevância necessária ao PDDU, e questões como inundações, alagamentos e poluição hídricas estão cada vez mais constantes nas cidades brasileiras.

A drenagem urbana faz parte do gerenciamento do espaço urbano e se realiza com observância ao PD, cuja exigência está regulamentada pelo Estatuto das Cidades e pela Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), Lei Federal nº 11.445/2007.

A PNSB exige que todos os municípios brasileiros elaborem seus planos de saneamento, inclusive o de PDDU, em articulação com as políticas de desenvolvimento urbano, de habitação, de combate à pobreza, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante (BRASIL, 2007).

Mesmo a partir da regulamentação e incentivo, por parte do poder federal, a implementação dos sistemas de drenagem urbana, por meio do PDDU, ainda não é realidade na maioria dos municípios brasileiros.

De acordo com o estudo de Carmo e Marchi (2013), o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apresenta dados estatísticos importantes referente a implementação dos sistemas de drenagem nos municípios brasileiros:

Segundo o IBGE, censo de 2010, demonstra que 73,4% dos municípios não possuem instrumentos reguladores do sistema de drenagem urbana. De acordo com mesmo documento, dos 5.570 municípios brasileiros, apenas 841 possuíam PDDU (15,3%), sendo que destes, apenas 489 com data posterior a 1990 (8,9%). Se forem considerados apenas os municípios com mais de 20.000 habitantes, 485 possuem PDDU de um total de 1.483 (32,7%). De acordo com estes dados, os municípios menos povoados estão mais organizados no quesito planejamento, se comparados com aqueles densamente povoados e que possivelmente possuem mais problemas urbanos. (CARMO E MARCHI, 2013, p. 9).

Portanto, é evidente que são muitos os desafios para a real efetivação do PDDU nos municípios brasileiros. Para Martins (2012), é preciso:

Do lado legal e administrativo o paradigma é a ausência de fontes de investimento e custeio para a gestão da drenagem, tanto no âmbito dos municípios como das unidades da federação, além da falta de conectividade entre os organismos de regulação de uso do solo, operacionalização dos sistemas de saneamento e transportes. Deve-se considerar também que não existe formação técnica específica para capacitação de gestor urbano em drenagem e, mesmo naqueles currículos mais ligados ao tema, a engenharia civil e ambiental, a discussão formativa é ainda incipiente e restrita aos aperfeiçoamentos e especializações, o que limita muito sua institucionalização prática. Além do mais, é necessário criar uma visão mais holística, no qual a bacia hidrográfica deve ser considerada como a unidade para o planejamento do sistema de drenagem (MARTINS, 2012, p. 1).

Exemplo de cidade que implementou o PDDU, de acordo com Tucci (2007) tem-se Porto Alegre no Rio Grande do Sul, que em 2009 deu início para os estudos do Plano, que visava fornecer diretrizes técnicas e ambientais para a solução dos problemas de drenagem, estudando as 27 bacias hidrográficas do município. Os sistemas de macrodrenagem dessas bacias foram simulados para diferentes cenários de ocupação do solo, permitindo a detecção dos principais pontos críticos de alagamentos e a análise de possíveis soluções para os problemas verificados, soluções propostas como o amortecimento das vazões de pico, através da implantação de reservatórios de retenção em lugares estratégicos.

Já em Goiânia, estado de Goiás, é um exemplo de cidade que possui PDDU, por meio da Lei Municipal nº 9.511/2014, que estabelece regras teóricas para o controle de águas pluviais e de drenagem urbana, porém não define medidas estruturais e não estruturais, deixando o plano incompleto, pouco usual e com necessidade de revisão e complementação.

Enfim, enquanto a cidade cresce, os impactos ambientais acompanham este crescimento, aflorando também os problemas de drenagem urbana, que estão diretamente relacionados a forma do uso e ocupação do espaço urbano. É imprescindível que os PD comecem a incluir e implementar a gestão das águas, com o PDDU, estabelecendo metas para o uso racional e sustentável, principalmente aos considerar as bacias hidrográficas como principal unidade de planejamento dos sistemas de drenagem.

## 1.6 Transformações na sub-bacia do córrego Botafogo no contexto histórico do planejamento de Goiânia

Goiânia surgiu no período desencadeado pela intervenção da Era Vargas nos estados brasileiros, e assim permitiu que o interventor Pedro Ludovico anunciasse a mudança de capital do Estado de Goiás, surgindo uma cidade planejada e projetada partindo do interesse de colocar o estado no caminho do desenvolvimento (MARQUES, 2009).

Ainda segundo Marques (2009), fundada em 1933, com plano original elaborado por Atílio Correia Lima, Goiânia foi esboçada para atingir apenas 50 mil habitantes, envolvendo a criação de um centro de decisões políticas e administrativas.

Para Zaraté e Pantaleão (2014), quando Goiânia foi idealizada, o córrego Botafogo foi caracterizado como limite municipal por Atílio Côrrea, pelo Plano de 1933, propondo uma rede de parques lineares que acompanhavam as margens dos córregos Botafogo e Capim Puba, provendo a capital de áreas verdes com função recreativa.

Para o melhor entendimento sobre parques lineares, a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2013) define que:

Os parques lineares são obras estruturadoras de programas ambientais em áreas urbanas, sendo muito utilizados como instrumento de planejamento e gestão de áreas degradadas, buscando conciliar tanto os aspectos urbanos e ambientais como as exigências da legislação e a realidade existente. Eles se constituem de áreas lineares destinadas tanto à conservação como à preservação dos recursos naturais, tendo como principal característica a capacidade de interligar fragmentos de vegetação e outros elementos encontrados em uma paisagem, assim como os corredores ecológicos. (ABCP, p.3, 2013).

Este projeto audacioso para a época, meados da década de 30, revela que os córregos e rios podem ser considerados como elementos estruturantes do espaço urbano, por associar o espaço público para as pessoas, o espaço para mobilidade dos veículos, assim como o espaço para a preservação ambiental, com influência direta no sistema hidrológico da sub-bacia.

Os parques lineares ou os parkways, em sua concepção original trazida pelo projetista da nova capital goiana, deveriam acompanhar as margens dos córregos Botafogo e Capim Puba, deixando 50 m de área preservada para cada lado, a partir dos eixos.

Este planejamento inicial para Goiânia não foi de fato colocado em prática e esta faixa destinada à preservação, na realidade, foi ocupada, principalmente em função da proximidade com o núcleo original planejado para a nova capital goiana.

De acordo com Zaraté e Pantaleão (2014), a partir destas apropriações ao longo do córrego Botafogo, teve-se o início da expansão em Goiânia para o leste e o oeste, e o espaço urbano ultrapassou os córregos, ocasionando evolução histórica do adensamento urbano. Paralelamente, ocorreu a formação e consolidação dos setores que formam a sub-bacia do córrego Botafogo, entre a década de 1930 à 1950.

Ainda segundo o trabalho de Zaraté e Pantaleão (2014):

Já existia a previsão de que a cidade cresceria para além do limite natural dos cursos d'água, mas desde o momento da concepção foi apontada a necessidade de se evitar a ocupação das áreas às margens dos córregos. Esta diretriz encaminharia o crescimento horizontal da cidade para o sul, única direção livre de barreiras hidrológicas, deixando preservado o córrego Botafogo, cujas águas foram represadas para o abastecimento da cidade. (ZARATÉ E PANTALEÃO, p.142, 2014).

Porém, mais uma vez o planejado não foi de fato consumado. É importante ressaltar que a ocupação urbana deve adequar-se ao sistema natural de drenagem e declividade do terreno.

O plano seguinte, realizado para Goiânia, foi projetado pelo urbanista Luís Saia, no início de 1960. Neste sentido, Ribeiro (2004), explica:

Saia propôs que fossem abertas alamedas margeando os córregos Botafogo e Capim Puba, respeitando os 50 metros de preservação da mata de galeria, reconhecendo nesses eixos a capacidade articuladora entre as regiões norte e sul da cidade. Além disso, observou que os cursos d'água fragmentavam o tecido a leste e oeste de seu eixo e sugeriu passagens a cada 500 ou 1000 metros cruzando o veio hídrico para promover a integração entre os dois lados. (RIBEIRO, p.65, 2004).

Para Zaraté e Pantaleão (2014), a variedade de leituras morfológicas para o córrego Botafogo reafirma seu potencial como elemento de estruturação urbana, mesmo as propostas de Saia não terem sido implantadas em função do golpe militar de 1964.

O próximo projeto para Goiânia foi a proposta de Wilhelm, em 1968, que tinha o objetivo de estruturar o território da capital, por meio do sistema viário, e o córrego Botafogo se inseria nesse processo. Ribeiro (2004) revela que:

O elemento natural, a preservação ambiental e o potencial espaço público que poderia apresentar o córrego Botafogo não foi considerado relevante no plano de Wilhelm. Houve a retificação, dragagem e canalização do Córrego Botafogo, além da proposta de ocupação das áreas verdes de preservação. Por

outro lado, o plano tratava de dotar as áreas adjacentes aos cursos d'água de alguma atividade produtiva, para que desempenhassem uma função social importante. (RIBEIRO, p.65, 2004).

Consolidando a total descaracterização inicial planejada para o córrego Botafogo, o Plano Diretor elaborado pela Engevix Engenharia S. A. em 1992, de acordo com Brandão (2013), ressaltava a importância do direcionamento da expansão urbana por meio da abertura de vias, estimulando a consolidação do projeto da Marginal Botafogo para a conexão norte-sul.

Então, após a canalização do córrego, realizada na década de oitenta, em seguida teve a transformação em via expressa, em 1992 ocorreu a construção da Marginal Botafogo. Pode-se afirmar que esta via repercutiu fortemente na fragmentação ambiental do córrego (SEPLAM, 2018).

Reforçando esta situação, para Queiroga (2010) diretrizes surgiram para regular a ocupação lindeira à via, que visava garantir que fosse configurada uma avenida de circulação rápida, exclusiva à passagem e vetada ao acesso local e, por isso, não podia ser dotada de pistas de desaceleração e de pedestres.

Portanto, verifica-se que os principais fatores ambientais que contribuíram para as transformações na sub-bacia do córrego Botafogo estão diretamente relacionado à descaracterização do planejamento inicial para o mesmo, o que acarretou na canalização, supressão da vegetação e impermeabilização.

## **CAPÍTULO 2 – O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES NOS SISTEMAS HIDROGRÁFICOS**

### **2.1 Impactos da urbanização nas bacias hidrográficas**

Apoiando-se nas definições de Gorniack (2014), pode-se definir a bacia hidrográfica ou de drenagem como uma área da superfície terrestre que capta a água advinda das precipitações, drenando-a, juntamente com sedimentos e materiais nela dissolvidos ou não, para um ponto comum, chamado de exutório.

Nessa lógica, é possível constatar que as ocupações desordenadas em bacias inseridas em ambiente urbano e trazem consequências à drenagem urbana das cidades, justamente por diminuir, ou até mesmo extinguir, as áreas naturais de armazenamento e escoamento.

A partir deste contexto, é importante destacar que a população tem também sua parcela de culpa pelos sistemáticos problemas causados pelas canalizações equivocadas. Lemos et al. (2014) esclarece que em alguns casos, a própria população exige a canalização para evitar as inundações, para esconder o córrego que se encontra poluído, solicitando a construção de avenidas sanitárias na ilusão de que, com isso, estariam alcançando algum tipo de desenvolvimento local.

Ressalta-se que não apenas a ocupação em áreas mais baixas das bacias hidrográficas em ambiente urbano é responsável por impactos na drenagem. As regiões mais planas, inseridas entre o topo da bacia e seu exutório, são consideradas mais propícias à urbanização, pelo estabelecimento da malha urbana mais valorizada, como os condomínios horizontais e verticais, e, conseqüentemente, geram altas taxas de impermeabilização e escoamento superficial, direcionando as águas pluviais, sem o devido controle de velocidade, diretamente aos canais fluviais.

Nesta acepção, constata-se claramente que as áreas mais planas das cidades possuem fácil ocupação, com alta acessibilidade, infraestrutura ampla e proximidade ao centro, e, portanto, são as mais valorizadas e com maiores índices de adensamento urbano.

Diante do exposto, segundo Gorniack (2014), as alterações dos elementos da bacia no processo de urbanização altera significativamente o percentual dessas duas variáveis (relação entre infiltração x escoamento superficial) do ciclo hidrológico, e

ainda, traz como consequência a impermeabilização do solo por selagem ou por diminuição das áreas permeáveis (edificação, calçadas, acessos).

Portanto, de acordo com Araújo, Almeida e Guerra (2008), quando acontece o processo de urbanização, os espaços permeáveis, inclusive as áreas com presença de vegetação, são submetidas a diferentes tipos de usos, os quais tendem a impermeabilizar a superfície, causando um aumento no escoamento superficial e deixando os cursos hídricos suscetíveis à alagamentos e inundações.

A exemplo do exposto, a Defesa Civil Municipal de Goiânia (2017) divulgou um relatório no qual elenca um total de 40 pontos críticos de alagamentos na capital goiana. (Ver em anexo). Da leitura do documento, constata-se justamente o fato em comum em que todos os respectivos pontos inserem-se em bacias que estão fortemente adensadas e impermeabilizadas a montante. Este exemplo demonstra a importância do sistema de drenagem urbana bem dimensionado e conservado que garanta a amortização e amenização do fluxo de água que é direcionado a jusante das bacias em ambientes urbanos.

A urbanização também pode gerar alterações sobre o ciclo hidrológico em bacias, conforme Tucci (2005) explica:

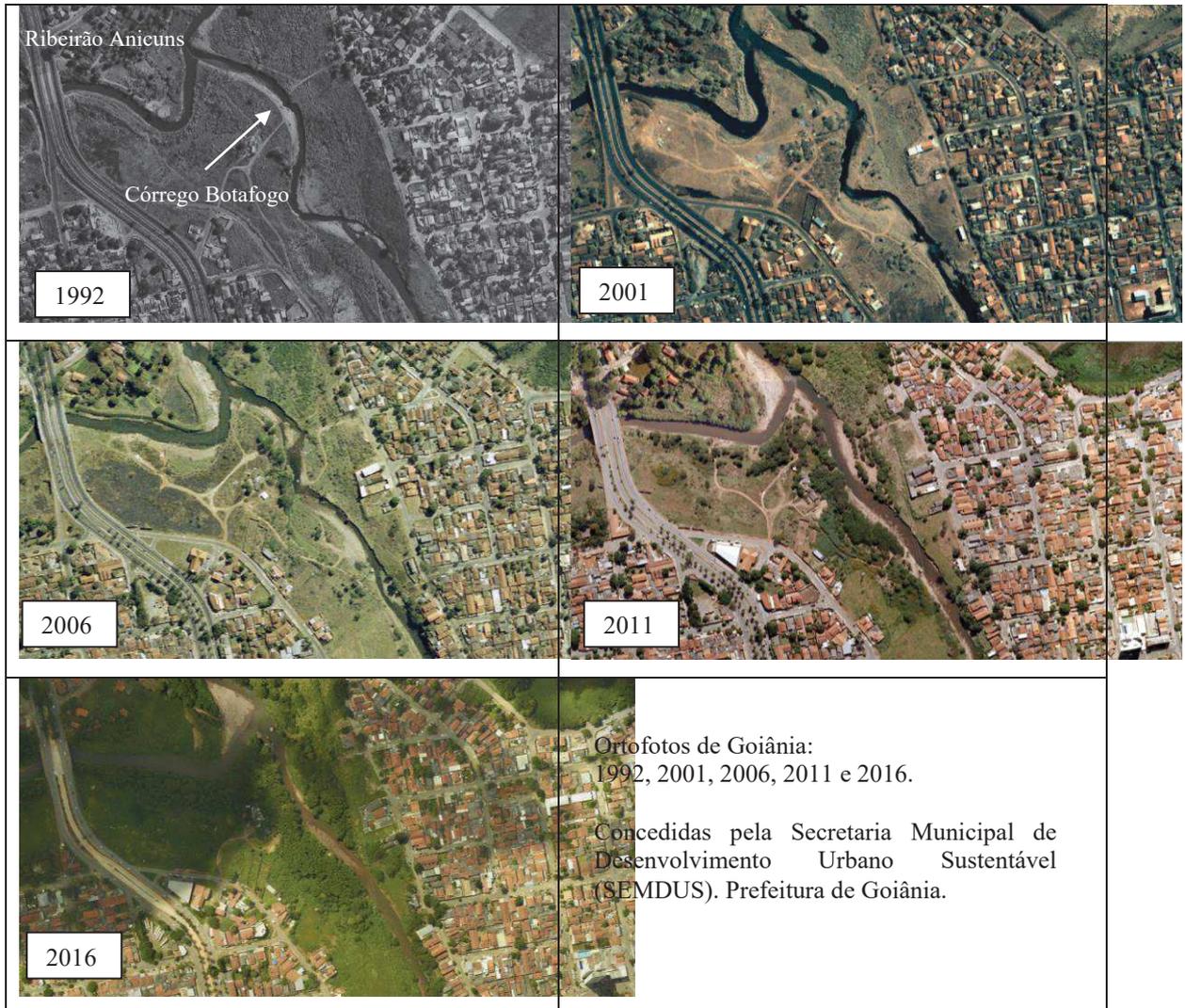
Com a urbanização, a cobertura da bacia é alterada para pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando as seguintes alterações no referido ciclo: i) Redução da infiltração no solo; ii) O volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial. Além disso, como foram construídos condutos pluviais para o escoamento superficial, tornando-o mais rápido, ocorre redução do tempo de deslocamento. Desta forma as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo; iii) Com a redução da infiltração, o aquífero tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação (principalmente quando a área urbana é muito extensa), reduzindo o escoamento subterrâneo. As redes de abastecimento possuem vazamentos que podem alimentar o aquíferos, tendo efeito inverso do mencionado (...). (TUCCI, 2005, p. 47-48).

Analisando assim os diferentes tipos de uso aos quais a bacia está submetida, inserida em ambiente urbano, e verificando esta com uma visão sistêmica de matéria, é possível entender como se dá a convergência de fluxos de energia.

É fato que a declividade, as diferenças geológicas, pedológicas, geomorfológicas e climáticas, além do tipo de uso e ocupação do solo urbano a montante, em cada bacia, irão ser determinantes para a convergência de fluxo de água,

que associado aos picos de chuva, podem alterar, inclusive, os canais fluviais a jusante, como demonstrado na Figura 3.

Figura 3: Evolução das alterações temporais ocorridas no canal fluvial do córrego Botafogo – Goiânia (GO) devido ao fluxo de energia.



Fonte: Adaptado pela autora, 2018.

A Figura 3, apresenta-se as alterações temporais ocorridas no canal fluvial do córrego Botafogo, localizado em ambiente urbano na cidade de Goiânia – Goiás, principalmente em seu exutório final, local em que deságua no ribeirão Anicuns. O canal do corpo hídrico em questão, ao longo do tempo, perdeu a formação curvilínea, ficando mais retilíneo, na mesma proporção em que a urbanização avançou. Assim, fatores como o grau de ocupação da bacia associado à impermeabilização e ocorrência dos picos de chuva permitiram que o fluxo de energia da água impulsionasse tais transformações.

Porém, não apenas as inundações e os alagamentos que estão presentes nas cidades. Diante destes fatores expostos, tem-se diversos impactos relacionados com a infraestrutura precária de drenagem no ambiente urbano, como: i) Ineficiência ou falta de tratamento de esgoto, que na maioria das cidades brasileiras lançam os efluentes na rede de esgotamento pluvial, que escoam pelos rios urbanos, causando poluição hídrica; ii) Ocupação do leito de inundação dos rios e córregos urbanos, áreas propícias a alagamentos; iii) Impermeabilização e canalização dos corpos hídricos urbanos, com aumento da vazão e, conseqüentemente, de inundações; iv) Aumento da carga de resíduos sólidos; v) Ocupações em áreas de reservatórios para abastecimento urbano, que assim suscetíveis à deteriorização, poluição e eutrofização, gerando riscos à saúde da população. vi) Carência de gestão organizacional que integre o solo urbano a sua infraestrutura.

Tucci (2005) apresenta exemplos de cidades brasileiras que convivem cada vez mais com enchentes, alagamentos e inundações: o rio Tietê inunda a região de São Paulo várias vezes ao ano. Com o desenvolvimento urbano descontrolado, a frequência dessas inundações aumentaram, devido à urbanização intensa de sua área ribeirinha e de seus afluentes principais, como o Tamanduateí e o Pinheiros (bacia total de cerca de 3.000 km<sup>2</sup>). O rio Iguaçu inunda a Região Metropolitana de Curitiba devido às suas cheias naturais e à urbanização intensa de afluentes como o rio Belém. A lagoa da Pampulha em Belo Horizonte é exemplo de um lago urbano que tem sido assoreado há tempos. O arroio Dilúvio em Porto Alegre, devido a sua largura e pequena profundidade, durante as estiagens, tem depositado no canal a produção de sedimentos da bacia e criado vegetação, reduzindo a capacidade de escoamento durante as enchentes. Estes são apenas alguns exemplos de inundações localizadas ocasionadas por falhas na drenagem urbana.

Enfim, a maioria desses impactos negativos aqui mencionados são conseqüências de uma visão distorcida sobre o controle da drenagem urbana por parte do poder público, da comunidade e, principalmente, dos profissionais que ainda priorizam projetos localizados, sem visão sistêmica da bacia hidrográfica e dos aspectos sociais e institucionais urbanos.

## 2.2 Bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento

Para Cunha e Guerra (2004), as bacias hidrográficas podem integrar, conjuntamente, o comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas, que geram alterações significativas, efeitos e/ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída.

Em um centro urbano a gestão das águas deve ser contínua e monitorada. Alagamentos, transbordamentos e degradação dos cursos d'água podem ser evitadas, por meio de estruturas capazes de encaminhar as águas providas da chuva para dentro dos corpos hídricos superficiais, de forma adequada, estruturada e devidamente planejada.

Carvalho (2014) esclarece que as bacias hidrográficas são unidades espaciais de dimensões variadas, onde se organizam os recursos hídricos em função das relações entre a estrutura geológica-geomorfológica e as condições climáticas. Além disso, os componentes das bacias coexistem em permanente dinâmica e interação, respondendo às interferências naturais e antrópicas, o que afeta os ecossistemas englobados como um todo.

Nessa acepção, as alterações na bacia modificam a capacidade de infiltração, escoamento e armazenando hídrico, alterando assim a microdrenagem como a macrodrenagem.

Verifica-se, atualmente, uma tendência quanto a gestão das águas considerando a bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento, principalmente pela divisão do espaço físico e por abranger todos os aspectos que influenciam diretamente na dinâmica hídrica, conforme já apresentado.

Nessa acepção, segundo Tucci (2008), tem-se adotado a bacia hidrográfica como delimitação dos recursos hídricos a serem gerenciados devido à mesma apresentar-se como unidade física de reconhecimento, caracterização e avaliação e que facilita a gestão das águas, onde os componentes ambientais sejam compreendidos no âmbito de suas relações sistêmicas, considerando inclusive as intervenções antrópicas.

Uma das premissas do planejamento e gestão dos recursos hídricos, a Lei nº 9433/1997, estabelece a PNRH, que, dentre seus objetivos, visa garantir a governança das águas por meio da participação social e permitir o envolvimento e a negociação dos interessados tendo como unidade de gestão a bacia hidrográfica.

Diante do exposto, considerando agora os aspectos legais para estabelecer a bacia como unidade de planejamento, Carvalho (2014) expõe que:

Os dois principais instrumentos adotados direta e indiretamente no planejamento das bacias hidrográficas brasileiras, que poderiam se enquadrar como propostas de planejamentos ambientais integrados são: o Plano de Recursos Hídricos (PRH) que é um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal 9433/1997, a ser implementado necessariamente nas bacias hidrográficas e o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) que é um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), Lei Federal 6938/1981, regulamentado pelo Decreto Federal 4.297/2002, a ser implementado em todo o território, porém, sem um direcionamento escalar e específico para a compreensão da dinâmica socioeconômica e ambiental das bacias hidrográficas. [...] O Plano de Recursos Hídricos deve estabelecer diretrizes para o uso e ocupação do território das bacias hidrográficas. A intersecção entre os PRH e os objetivos do ZEE quanto a proposição de áreas sujeitas a restrições de uso em função, também, da proteção e conservação dos recursos hídricos. [...] Assim como o PRH e o ZEE, o Enquadramento de Recursos Hídricos (ERH) também possui papel relevante numa das fronteiras de integração mais difíceis para a gestão dos recursos hídricos que é a sua articulação com a gestão territorial, pois, uma vez que são definidas as aptidões das bacias em seus planos e os objetivos de qualidade da água, algumas atividades poderão ser incentivadas e outras reprimidas com um desdobramento direto para a gestão territorial. (CARVALHO, 2014, p. 27-28).

É importante destacar que as bacias de drenagem podem ser desmembradas em um número menor de sub-bacias, dependendo do ponto de vista de saída considerando ao longo de seu eixo-tronco ou canal coletor (COELHO NETO, 2001, *apud* SILVA *et al.*; 2004, p. 94).

Ao se estabelecer a bacia como unidade de planejamento e gerenciamento, possibilita uma visão abrangente, incluindo em seu plano as políticas públicas, tecnológicas e de educação, a fim de promover a solução ou diminuição de impactos ambientais, a otimização de recursos e a garantia dos usos múltiplos da água, tudo isso com a participação de usuários, autoridades, cientistas, poder público, organizações públicas e privadas com interesse pelo tema, conforme princípios estabelecidos pela PNRH (BRASIL, 1997).

A exemplo de bacia hidrográfica no qual o planejamento urbano prevaleceu ao decorrer da evolução no processo de urbanização, proporcionando inclusive a restauração e conservação ambiental, conforme apresentado na Figura 4, tem-se a sub-bacia do córrego Caveira, localizado no setor Parque das Flores, região norte de Goiânia, próximo ao Shopping Passeio das Águas.

Figura 4: Exemplo de evolução temporal da urbanização e restauração ambiental associado ao planejamento - a sub-bacia do córrego Caveira, Goiânia (GO).



Fonte: Adaptado pela autora, 2018.

Ainda sobre o embasamento legal, com o estabelecimento dos comitês de bacia hidrográficas, conforme estabelecido pela PNRH, Martins (2015) explica que o aperfeiçoamento dos mecanismos de gestão de recursos hídricos através da implantação dos comitês de bacias hidrográficas e suas agências executivas, assim como a institucionalização das agências reguladoras de serviços públicos ou concessionados, introduziu um ordenamento territorial e de precedência sobre os usos da água e passou a controlar os impactos sobre os mananciais, impedindo a transferência de danos para jusante ao longo das bacias bem como a ampliação destes impactos acima daqueles que naturalmente ocorreriam.

Evidencia-se, portanto, que é praticamente impossível intervenção urbana sem impactos sobre o meio hídrico e que as técnicas compensatórias deverão fazer parte de nova forma de se planejar e administrar as cidades.

Quanto ao cenário nacional, tem-se como aspecto preocupante do atual panorama da gestão da drenagem urbana no Brasil a fragmentação das atividades, a descontinuidade administrativa e a ausência de planejamento de longo prazo. Os três aspectos mencionados nascem do mesmo conceito de que programas e planos são muitas vezes considerados obras de uma administração e não como ações de governo.

No caso da drenagem urbana, é comum a divisão de tarefas e orçamentos entre diversos órgãos, sob diferentes esferas administrativas, o que leva, como exemplo, um município a implantar uma intervenção de drenagem em um curso d'água completamente em desacordo com o plano de drenagem da bacia maior, desenvolvido pela autoridade, não considerando a bacia como um todo, fazendo com que as intervenções sejam apenas paliativas (CARVALHO, 2014).

Diante do exposto, Lima et al. (2016) apresentam diversos fatores que dificultam a real efetivação da bacia como unidade de planejamento:

Como desvantagem do uso da bacia como unidade de planejamento o fato de que normalmente os limites municipais e estaduais não são correspondentes aos dos divisores da bacia, conseqüentemente, a divisão espacial de algumas relações causa-efeito no que tange aos aspectos econômico e políticos não tem seus impactos causados no local de origem, gerando a interposição da administração da bacia e acentuando os conflitos baseados em interesses particulares. Além disso, em certas situações, a delimitação completa de uma bacia hidrográfica estabelece uma unidade de intervenção por demasiado grande para a negociação social, o que implica na subdivisão em territórios menores que permitam a articulação e execução da gestão. Ressalta-se também que a delimitação de uma bacia é realizada com base em suas características hídricas superficiais não sendo consideradas as águas subterrâneas que compõem o espaço imediatamente acima delimitado. Desta forma constitui-se mais um ponto gerador de conflitos relacionados ao uso da água e dos responsáveis por seu controle. (LIMA et al., 2016, p. 3).

É importante ressaltar que gestão da água deve ser incorporada a um processo mais amplo de gestão ambiental integrada, sendo valorizado o princípio de uso das bacias hidrográficas como unidades de intervenção e a adoção da abordagem sistêmica nas análises das interações ambientais e na busca por respostas e soluções para problemas específicos.

Acredita-se que cada abordagem deve ser minuciosamente planejada de acordo com a realidade socioeconômica, ambiental, dimensional e da necessidade de intervenção e gestão de cada bacia hidrográfica. Portanto, o planejamento ambiental integrado de bacias hidrográficas deve estar associado ao planejamento territorial e considerando todos os processos e fenômenos em sistemas que acontecem e se interligam dentro da bacia.

### 2.3 Definição de sistema hidrográfico e suas propriedades

De acordo com Righetto (1998) apud Tucci (2012), denomina-se ciclo hidrológico o processo natural de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficial, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes.

O ciclo hidrológico é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos e o comportamento do mesmo, de uma maneira geral, depende de diversos fatores que agem diretamente na bacia hidrográfica (FRITSCH, 2013).

Em relação aos fatores que influenciam os processos hidrológicos, Santos (2009) explica:

Na hidrologia, os avanços no conhecimento dos processos hidrológicos e suas condicionantes ambientais tornam crescente a necessidade de uma abordagem integrada, visto que as vertentes e bacias hidrográficas encerram uma diversidade de processos que não estão limitados pelo recorte dado pelas disciplinas isoladas. Um exemplo da interação e complexidade entre processos atuantes nas vertentes e bacias pode ser observado pelos fatores dominantes (clima, vegetação, uso do solo, topografia e tipo de solo) que controlam a geração de escoamento. [...] inúmeros trabalhos destacam a interdependência entre os processos hidrológicos e as características da paisagem local, com a ocorrência de padrões espaciais ligados à dinâmica hidrológica. (SANTOS, 2009, p. 19).

Além dos fatores clima, vegetação e relevo, é importante a compreensão do tipo de uso do solo para estudar as alterações que estes fenômenos impactam diretamente na dinâmica natural da bacia. Quaisquer alterações, seja antrópica ou natural, interferem neste sistema hidrográfico.

Nessa acepção, Soares (2017) expõe que informação sobre o uso do solo é importante para o estabelecimento de políticas de gestão de uma bacia, visto que traduz a evolução da ocupação de sua superfície e as atividades de preservação, além de contemplar elementos determinantes sobre a capacidade de infiltração e a retenção de água do escoamento superficial em uma bacia.

Como a hidrologia está ligada diretamente ao uso da água, ao controle da ação da mesma sobre a população e ao impacto sobre a bacia, é importante a realização de estudos que visem o melhor entendimento desses processos e a implantação de planejamento adequado do uso da bacia hidrográfica, principalmente em ambientes urbanos.

Assim, entende-se a relevância frente ao levantamento de uso e ocupação do solo, assim como a descrição do sistema hidrográfico em bacias hidrográficas, pois seus

reflexos são fundamentais para análises e avaliações das alterações ambientais, visto que ocupar um determinado espaço sem planejamento pode resultar em enorme gama de impactos negativos, tanto ao meio ambiente, como aos próprios agentes modificadores do espaço.

## **2.4 Modelagem de processos e fenômenos em sistemas ambientais**

Filgueiras (1999) explica que é possível perceber fenômenos da natureza que se modificam com maior ou menor intensidade em função do tempo e do espaço, ou seja, apresentam variação contínua espaço-temporal, a exemplo dos processos ambientais no mundo real que são, tipicamente, tridimensionais, dependentes do tempo e complexos. Essa complexidade pode incluir comportamento não linear, componentes estocásticos e realimentações em múltiplas escalas de tempo e de espaço.

Portanto, a representação e o processamento das relações espaciais são cruciais nas aplicações no contexto do espaço geográfico, assim como os aspectos temporais procuram entender onde e quando as mudanças ocorrem.

A modelagem de sistemas ambientais é importante justamente por garantir análise espaço-temporal, permitindo relacionar processos e fenômenos às variáveis mais importantes.

Para Gorniack (2014) todas as coisas estão interconectadas e o mundo é organizado por sistemas que são formados por três componentes: elementos, interconexões e funções. Os sistemas são dominados pelas suas inter-relações e seus propósitos, e organizados segundo hierarquia.

Assim, na tentativa por compreender a configuração espacial e sistêmica do ambiente é possível formular modelagens de sistemas ambientais, nos quais os processos são condicionados por fenômenos físicos ou antrópicos, que dão formas e sequências para a relação homem-ambiente no ecossistema que estão inseridos. (FRITSCH, 2013).

A bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema, onde os volumes de entrada são advindos da precipitação, determinados através de hidrogramas e, os volumes de água escoados através do exutório, representam a saída deste sistema, caracterizada pelos hietogramas (TUCCI, 2012).

Nessa acepção, Santos (2009) afirma que as vertentes e microbacias hidrográficas habilitam-se naturalmente como objeto de estudo da hidrogeomorfologia

através de modelagem por duas razões: definem-se a partir da dinâmica hidrogeomorfológica e a interação e complexidade dos processos tornam-se mais explícitas na escala de detalhe.

Por essa lógica, Gorniack (2014) explica:

[...] A bacia de drenagem, enquanto uma unidade hidrogeomorfológica, constitui um exemplo típico de sistema aberto na medida em que recebe impulsos energéticos das forças climáticas atuantes sobre sua área e das forças tectônicas subjacentes, e perde energia por meio da água, dos sedimentos e dos solúveis exportados pela bacia no seu ponto de saída (exutório). A organização interna do sistema bacia de drenagem, isto é, os elementos de forma (relevo, cobertura vegetal ou impermeabilização do solo) e os processos característicos, influenciam as relações de entrada e saída. Assim, mudanças externas no suprimento de energia (solar) e massa (água, vento, matéria) conduzem a um alto ajuste das formas e dos processos, de modo a ajustar essas mudanças. (GORNIAK, 2014, P. 37-38).

Justamente na tentativa de se representar processos e fenômenos, tem-se usado fortemente ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que localização geográfica é característica inerente à informação e torna-se importante para analisá-la. Os principais componentes funcionais de um SIG estão diretamente relacionados com a aquisição, modelagem e manipulação dos dados, além da apresentação de resultados (LOPES, 2002).

Assim, um modelo em SIG com aspecto espaço-temporal permite realizar análises históricas e fazer previsões. Uma das características na modelagem de fenômenos com relacionamentos espaciais e temporais é pela quantidade de dados a serem trabalhados, como também pelas peculiaridades de campos iniciais envolvidos na sua formação, tornando sua modelagem mais complexa.

Evidencia-se, portanto, que é possível estabelecer modelos, utilizando-se de SIG, para tentar compreender processos e fenômenos do sistema hidrográfico em ambientes urbanos, a partir de análise espaço-temporal, por exemplo.

Embora o ciclo hidrológico pareça contínuo, com a água se movendo de uma forma permanente e com uma taxa constante, é na realidade o oposto, pois o movimento que a água faz em cada uma das fases do ciclo ocorre de forma aleatória, variando tanto no espaço como no tempo, e possui inúmeros condicionantes, embora nem todos sejam conhecidos.

Estes fenômenos, tais como, as precipitações, evapotranspiração, infiltração, escoamentos superficiais, escoamentos subterrâneos e deflúvios, são relacionados para estabelecer a capacidade de armazenamento de água de uma bacia (NUNES, 2007 apud FRITSCH, 2013).

Portanto, frente a formulação e uso de modelos que tenham por objetivo estudar e compreender os processos e fenômenos em bacia hidrográficas localizadas em ambientes urbanos é preciso adaptar a qualidade dos dados espaciais, em primeira instância, a relevância de cada nível de informação utilizado na análise, estabelecer as variáveis e, também, o tipo e os parâmetros do método utilizado para integrar as diferentes camadas. Informação especializada é a base para a tomada de decisão e informação com qualidade é a base para uma decisão mais acertada.

## **2.5 Modelagem hidrológica em bacias hidrográficas**

Para Tucci (2012) o estudo dos sistemas hidrográficos deixou de ser ciência basicamente descritiva e qualitativa, e se transformou em área de conhecimento onde os métodos quantitativos tem sido explorados através de modelagens, melhorando os resultados e explorando melhor as informações existentes.

Com isso, Santos (2009) ainda explica que:

Sendo a bacia hidrográfica o recorte espacial primordial dos estudos hidrológicos, cuja delimitação é feita a partir de atributos topográficos do relevo e sendo ela constituída de vertentes e canais fluviais, remete naturalmente a uma forte interação entre hidrologia e geomorfologia. A análise de bacias hidrográficas demanda conhecimento integrado destes dois principais ramos das ciências da terra, definindo hidrogeomorfologia como “o estudo do impacto dos processos hidrológicos sobre a terra”. [...] As rotas preferenciais dos fluxos superficiais ou subsuperficiais definem os mecanismos erosivo preponderantes que compõem o ambiente de drenagem. Alterações na composição destes fatores podem induzir modificações significativas na dinâmica espaço-temporal dos processos hidrológicos atuantes nas vertentes, e conseqüentemente, na evolução da paisagem. (SANTOS, 2009, p. 20).

Diante dos fatos expostos, evidencia-se a relevância por se buscar compreender o ciclo hidrológico na bacia, ou seja, a distribuição espacial da chuva, as perdas por interceptação, a evapotranspiração, a infiltração da água no solo, a percolação, a água subterrânea, o escoamento superficial e sub-superficial, enfim, entender toda essa dinâmica por meio de modelos hidrológicos (FRITSCH, 2013).

Nesse sentido, Tucci (2005) define modelo hidrológico como ferramenta utilizada para representar os processos que ocorrem na bacia hidrográfica e prever as consequências das diferentes ocorrências em relação aos valores observados.

Para definição mais ampla de modelo hidrológico, Seibt (2013) explica:

De maneira geral, um modelo hidrológico é um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros. Os parâmetros mantêm seu valor inalterado durante todo o processo estudado. Assim, um parâmetro possui o mesmo valor para todos os intervalos de tempo, o que não significa que ele não possa variar espacialmente. Os modelos hidrológicos de precipitação-vazão apresentam parâmetros que caracterizam determinada bacia e necessitam ser ajustados com os dados observados de vazão. Por outro lado, as variáveis podem mudar ao longo do tempo que o modelo estiver sendo executado. [...] Porém, a noção de que a bacia hidrográfica e os recursos hídricos não são estacionários e que a variabilidade do seu comportamento é grande, permitiram uma discretização mais detalhada da bacia, incorporando as simulações mais físicas dos processos. Esse estabelecimento de parâmetros e características físicas visava: (a) estimar o escoamento para cenários relativos ao uso do solo e (b) estimar o escoamento em bacias sem dados de vazão. [...] Uma das aplicações dos modelos é servir para a melhor compreensão do comportamento dos fenômenos hidrológicos na bacia, entendendo os elementos e a sensibilidade das variações para bacias com diferentes características. (SEIBT, 2013, p. 23).

Portanto, ter conhecimento dos parâmetros a serem utilizados nos modelos para representar os processos hidrológicos é importante ainda mais quando considera-se a bacia em ambiente urbano.

Assim, em relação as alterações que a urbanização reflete no uso e ocupação do solo e determinam as alterações no ciclo hidrológico, Pereira (2015) traz:

A cobertura vegetal está diretamente ligada ao uso e ocupação do solo advindo do processo de urbanização, sendo este um fator que determina uma série de alterações no ciclo hidrológico, tais como: i) aumento da precipitação devido à formação de mais núcleos de condensação nas grandes cidades; ii) diminuição da evapotranspiração causada pela retirada da cobertura vegetal; iii) diminuição da infiltração da água potencializada pela impermeabilização e do solo; iv) aumento do escoamento superficial devido à redução das taxas de infiltração; v) consumo de água superficial e subterrânea para abastecimento de residências, indústrias, comércio, dentre outros; vi) aumento da erosão do solo e intensificação dos processos de assoreamento de rios; vii) aumento da ocorrência de enchentes; viii) poluição das águas. (PEREIRA, 2015, p. 10).

Para Gorniack (2014), do ciclo hidrológico, o escoamento superficial e a infiltração por serem inversamente proporcionais, ou seja, à medida que a infiltração diminui diante do avanço da impermeabilização, o escoamento superficial aumenta.

Neste sentido, o primeiro passo consiste em calcular a fração da precipitação que se transforma em escoamento superficial. A aplicação de métodos empíricos na

predição do escoamento superficial, resultante de uma precipitação, pode ser considerada como primeira aproximação que deve ser corrigida posteriormente, com base na avaliação do sistema em operação (CARVALHO, 2013).

Diante do exposto, Tucci (1997) apresenta como deve se comportar o modelo hidrológico:

Os modelos matemáticos que determinam a vazão máxima com base na precipitação, já que dificilmente existem dados hidrológicos monitorados ao longo do tempo que permitam determinar, para diferentes tempos de retorno, a diferença entre os cenários de pré-desenvolvimento e depois de urbanizada, principalmente em bacias urbanas brasileiras. O cálculo é realizado com base no risco (tempo de retorno) da precipitação, o que não é necessariamente o mesmo risco da vazão. No entanto, as técnicas de determinação da distribuição da precipitação e definição dos parâmetros buscam maximizar as condições críticas das cheias, buscando compensar parte dessas incertezas. Para utilizar os modelos hidrológicos é necessário a estimativa: (i) das áreas impermeáveis e da rede de drenagem da bacia para o cenário de futura urbanização; (ii) dos parâmetros dos modelos com base em dados de bacias brasileiras. (TUCCI, 1997).

Assim, considerando as características geomorfológicas da bacia é possível estimar o volume de água precipitada, infiltrada e perdida, conforme a compartimentação do relevo, por meio de um modelo hidrológico.

Nessa lógica, esclarece-se que para o estabelecimento da modelagem hidrológica utilizada neste trabalho considerou-se o Método Racional, que trata-se de equacionamentos clássicos na literatura e estabelece a relação entre precipitação (chuva) e o escoamento superficial, procurou-se entender a correlação espaço-temporal de variáveis que compõem o sistema hidrográfico na sub-bacia, de forma a abranger: a precipitação, o aumento de volume pluviométrico, a taxa de concentração, bem como o escoamento superficial.

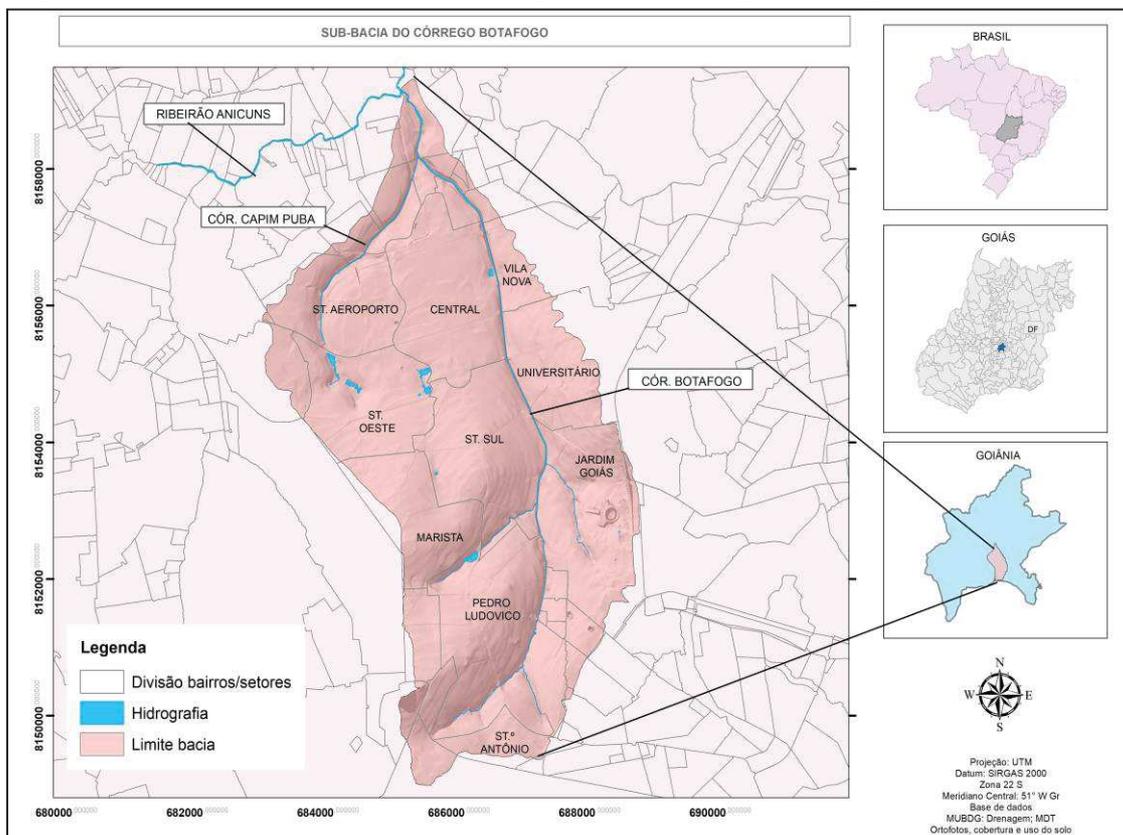
## CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

### 3.1 Caracterização da área de estudo

#### 3.1.1 Características gerais da sub-bacia do córrego Botafogo

A sub-bacia hidrográfica do córrego Botafogo, objeto de estudo nesta pesquisa, drena uma área de 30,62 km<sup>2</sup> e localiza-se na porção sul/central da capital Goiânia, Goiás. Está inserida integralmente na Macrozona Construída, conforme Plano Diretor Municipal (GOIÂNIA, 2007). Figura 5.

Figura 5: Localização da sub-bacia hidrográfica do córrego Botafogo, Goiânia – Goiás.



Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

O córrego Botafogo possui extensão de 9,8 km da nascente à foz, tendo seu percurso totalmente inserido em zona urbanizada de Goiânia e possui duas nascentes no bosque municipal Jardim Botânico. Drena a cidade no sentido sul/norte, recebendo contribuição de vazão dos córregos Capim Puba e Areião, pela margem esquerda, e do córrego Sumidouro, pela margem direita (SEPLAM, 2018). Deságua no ribeirão Anicuns pela margem direita, que é afluente direto do Rio Meia Ponte (SEIBT, 2013).

Este curso hídrico começou a ser canalizado na década de 1980 e suas respectivas margens cederam espaço a construção de marginal viária em 1992 (SEPLAM, 2018).

Em relação aos setores/bairros que estão dentro do perímetro da bacia do córrego Botafogo, tem-se heterogeneidade na formação social. Há bairros mais antigos, e centralizados, como Setor Central e Sul. Setores com padrão de moradias mais valorizados, verticalizados e de alto padrão, como Jardim Goiás e Marista. Setores nobres e mais antigos, como Setor Oeste e Aeroporto. Bairros adensados, como Pedro Ludovico, Vila Nova e Universitário. Outros menos valorizados e com característica residencial horizontal, como Jardim das Esmeraldas, Bairro Santo Antônio, Vila Maria José, Vila São João. E aqueles com valorização mediana e adensados, como Vila Redenção, Setor Norte Ferroviário, Setor Criméia Leste e Setor Criméia Oeste

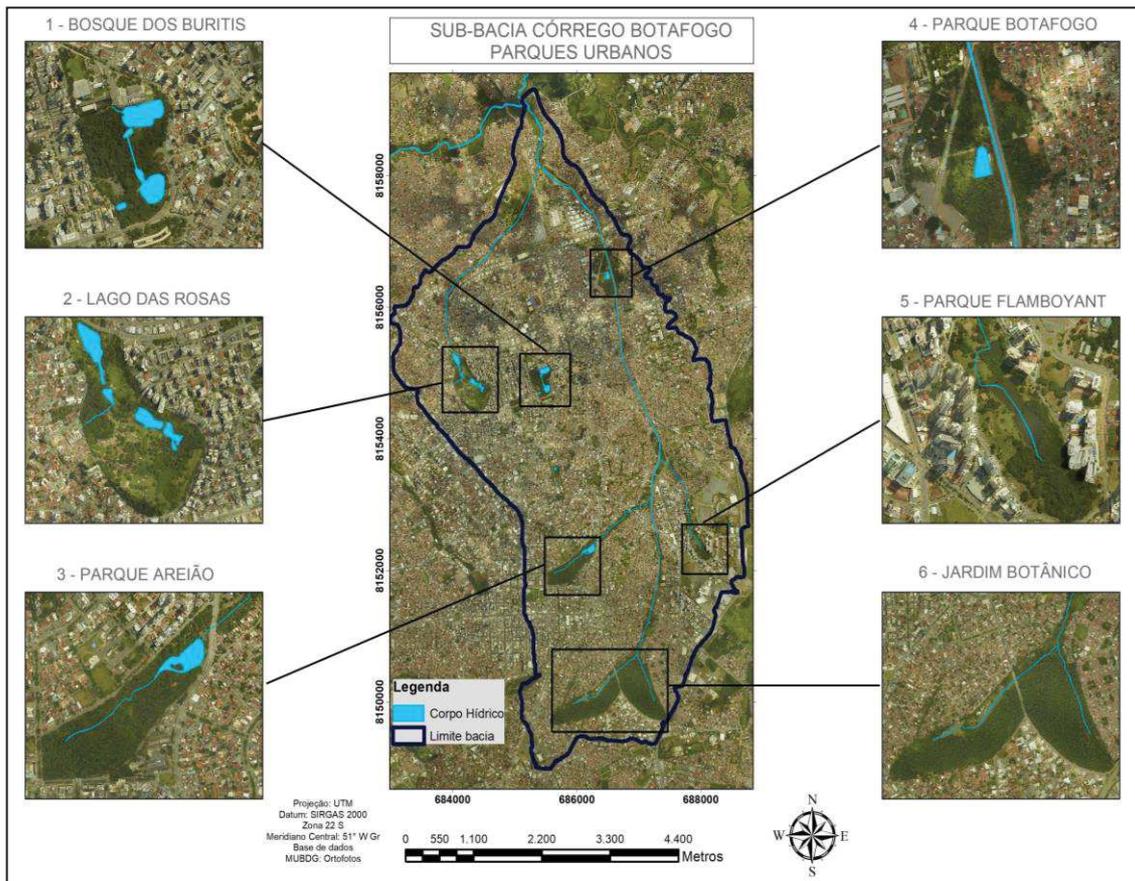
Percebe-se que é uma sub-bacia com formação social cheia de pluralidades, com bairros valorizados e infraestrutura abrangente, assim como possui setores menos estruturados. Por encontrar-se em ambiente totalmente urbano, possui uso e ocupação urbana, com alto índice de impermeabilidade, o que afeta diretamente o sistema de drenagem urbana.

Em relação aos parques urbanos já consolidados na sub-bacia do córrego Botafogo existem total de 6 (seis), que são: 1 – Bosque dos Buritis; 2 – Lago das Rosas; 3 – Parque Areião, 4 – Parque Botafogo; 5 – Parque Flamboyant e 6 – Jardim Botânico, totalizando área verde de 1,18 km<sup>2</sup> remanescente, conforme ilustrado área pela Figura 6.

Ressalta-se que o Bosque Municipal Jardim Botânico, local onde se encontram as nascentes do córrego Botafogo, compõe uma das maiores reservas biológicas do município, com cerca de 870m<sup>2</sup> (SEPLAM, 2018).

O atual tipo de uso e ocupação do solo na bacia é urbana consolidada, predominantemente residencial, com estrutura das edificações tanto horizontais como verticais. Possui uso comercial, incluindo o primeiro, segundo e terceiro setor, com função econômica forte e estruturada. Porcentagem de espaços vazios e não ocupados é praticamente inexistente, conforme apresentado no capítulo 4.

Figura 6: Parques urbanos existentes na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia – GO.



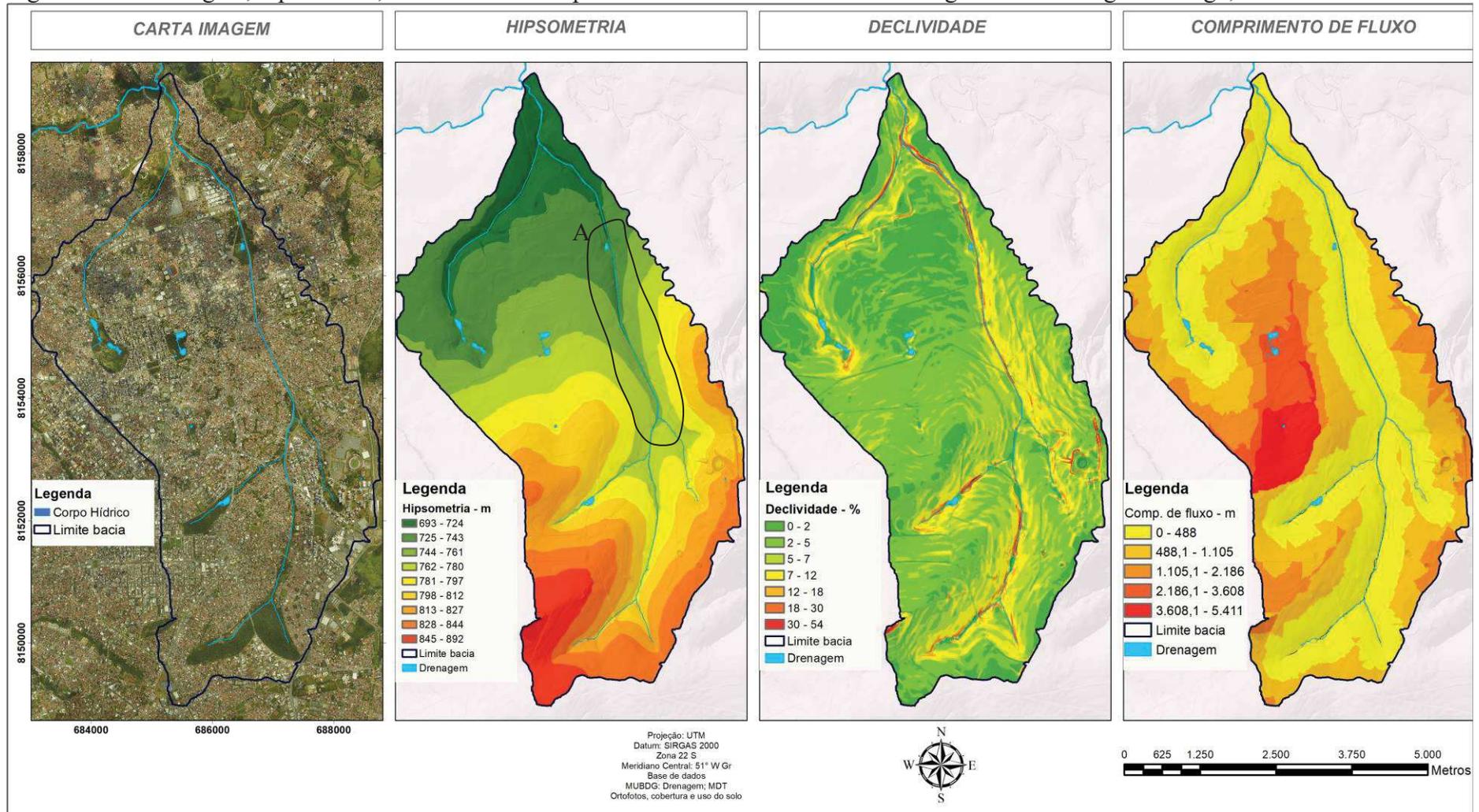
Fonte cartográfica: Ortofoto de 2016. SEMDUS/MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

### 3.1.2 Características físicas: hipsometria, declividade e comprimento de fluxo

Em relação as características físicas relacionadas ao relevo existente na sub-bacia do córrego Botafogo, a partir da Figura 7 é possível verificar a hipsometria, declividade e comprimento de fluxo. Na carta-imagem são destacados os parques urbanos existentes na sub-bacia.

Por meio da carta imagem e também já comentado no item anterior, fica visível que trata-se de sub-bacia inserida completamente em perímetro urbano, com grau avançado de adensamento, restando fragmentos de vegetação nos parques urbanos. Os canais fluviais que compõem a bacia estão praticamente desprovidos de APP, principalmente o curso principal.

Figura 7: Carta imagem, hipsometria, declividade e comprimento de fluxo da sub-bacia hidrográfica do córrego Botafogo, Goiânia – Goiás.



Fonte cartográfica: SEMDUS/MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Em relação a hipsometria (topografia), que trata-se da representação da elevação (cotas) do terreno, a área da sub-bacia apresenta altitude máxima em 892 m e mínima em 603 m. O importante é destacar que em relação as altitudes máximas há maior variabilidade das classes, possivelmente refletindo na contribuição da maior velocidade de escoamento superficial. Por outro lado, do meio da bacia ao exutório, as classes tornam-se mais largas e com menores altitudes, refletindo em terrenos mais planos. Ao longo do córrego Botafogo acontece o efeito gradiente do terreno (destaque A – Figura 7) o que torna este trecho mais propenso a alagamentos.

A declividade apresenta valores de inclinação do terreno, complementando a hipsometria. Percebe-se que ao longo dos canais fluviais que compõem a sub-bacia, principalmente no canal principal, o córrego Botafogo, que apresenta maior porcentagem de declividade, variando de 30-50% nas bordas mais acíves, e porcentagem mediana de 12-18% em determinados trechos, e de 18- 30%. Nas áreas em que originalmente seriam consideradas superfícies de inundações dos cursos hídricos, a declividade fica entre 7-12%. No geral, as faixas superiores e medianas da sub-bacia ficam em torno de 2-5% e/ou 5-7%. Só na porção inferior, do meio da sub-bacia ao exutório final que a declividade varia 0-2%.

Em relação ao comprimento de fluxo, destaca-se o fato do mesmo ter sido elaborado considerando-se a direção para os canais fluviais, e não ao exutório final, pois o objetivo deste trabalho é justamente verificar a contribuição das vazões e seu efeito acumulativo nos canais, principalmente no canal principal. Essas características refletem no comprimento de fluxo na sub-bacia, sendo que a classe de maior abrangência está justamente ao longo dos canais (0-488 m), locais onde o fluxo é mais curto, mas em maior ocorrência, influenciado pela alta declividade e proximidade aos corpos hídricos. Como em efeito gradiente, este é circundado pelos comprimentos de fluxos intermediários (488,1-1105 m; 1101,1-2186 m), ao passo que a porção oeste-central da sub-bacia possui comprimento de fluxo mais alongado (2186-3608 m; 3608,1-5414 m), justamente por ser esta área mais plana e não ter canal. Ressalta-se que como foi considerado a direção acumulativo aos canais, portanto as vertentes, que são as áreas com alturas mais elevadas, pois são os limites topográficos da sub-bacia, passam então a influenciar diretamente para a nascentes e respectivos canais.

### 3.1.3 Geologia: unidades geológicas e litologias predominantes

Quanto a avaliação dos atributos geológicos da área de estudo utilizou-se os dados reconhecidos no âmbito do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, realizado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), relativos à Folha SE.22-X-B-IV - Goiânia, na escala 1:100000, conforme apresentado por Moreton (1994). Também utilizou-se das definições das classes geológicas apresentadas no trabalho de Nunes (2011). O recorte e detalhamento por meio visual (figura/mapa) foi feito a partir do trabalho de Campos et al. (2003), sendo modificado pela autora, conforme apresentado posteriormente pela Figura 8.

A geologia na bacia é composta por rochas metamórficas proterozóicas e depósitos quaternários. São principalmente granulitos ortoderivados e granulitos paraderivados subordinadamente do Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu, no trecho setentrional, e xistos, gnaisses e quartzitos, do Grupo Araxá Sul de Goiás.

O Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu proporciona grande controle estrutural especialmente sobre a rede de drenagem que tende a apresentar canais retilíneos e com a formação de ângulos bem definidos, e que data do Arqueano Superior ao Proterozóico Inferior (MORETON, 1994). Essa Unidade Litoestratigráfica, por sua vez, se divide em duas subunidades. Os Granulitos Ortoderivados são compostos essencialmente por charnoquitos, enderbitos e metagabros. Já os Granulitos Paraderivados são compostos em sua maior parte por gnaisses aluminosos a hiperaluminosos e granulitos bandados, com intercalações de quartzitos aluminosos (NUNES, 2011).

O Grupo Araxá Sul de Goiás possuem intercalações de quartzitos em meio aos micaxistose xistos que datam do Neoproterozóico ao Proterozóico Médio (MORETON, 1994). Essa Unidade Litoestratigráfica também se divide em duas subunidades. Uma corresponde à Unidade C composta por xistos feldspáticos e calcíferos com intercalações subordinadas de gnaisses paraderivados. A outra corresponde à Unidade D composta por quartzitos micáceos, com intercalações subordinadas de quartzomuscovita e xistos. Essa combinação litológica também desempenha importante controle sobre a variação altimétrica da área por meio de lineamentos de quartzitos fraturados que ao serem atravessados pelo canal principal interferem no gradiente altimétrico do mesmo. Dessa forma, essas estruturas mais resistentes, associadas à

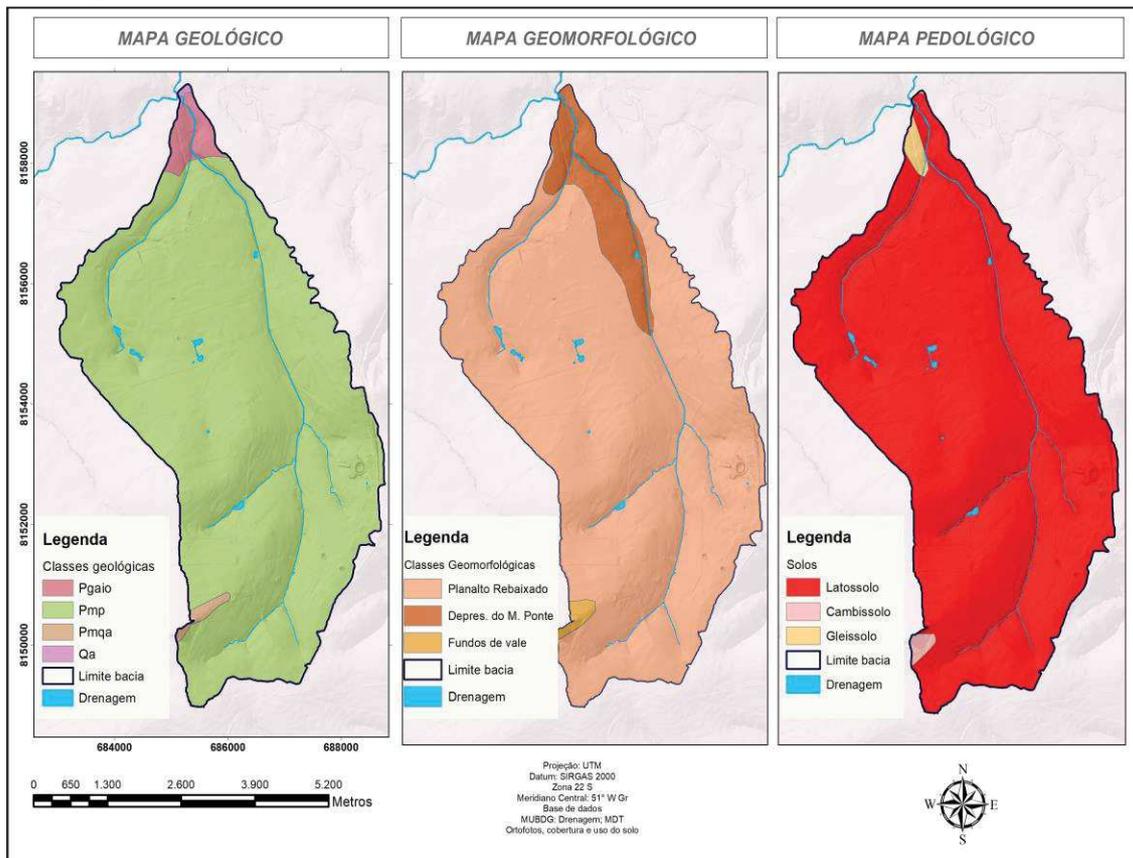
maior permeabilidade dos xistos e micaxistos asseguram a existência de longas e suaves vertentes (NUNES, 2011).

Apresenta ainda coberturas aluvionares holocênicas, que formam depósitos constituídos por argilas, areias argilosas, areias finas e grossas, cascalhos finos e grossos, inconsolidados e pouco espessos.

### 3.1.4 Geomorfologia: características morfométricas, morfográficas e morfogênicas

Para levantamento, recorte cartográfico e detalhamento das características geomorfológicas, utilizou-se do trabalho de Caseti (1993) que apresenta a geomorfologia completa da capital goiana. Em relação as características morfogênicas da bacia, baseou-se no trabalho de Seibt (2013).

Figura 8: Mapas geológico, geomorfológico e pedológico da sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia – Go.



Fonte cartográfica: Campos et. al. (2003); Caseti (1993). MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

As unidades geomorfológicas foram extraídas do trabalho de Casseti (1993), conforme Figura 8, que ocorrem com as seguintes características morfométricas e morfográficas:

- Planalto Rebaixado de Goiânia (750 a 800 metros de altitude), constituído pelo domínio de formas convexas, com declividade de até 20%, e de formas tabulares, correspondentes a remanescentes do pediplano embutido abrigando *dales*;
- Depressão do Meia Ponte (700 a 720 metros de altitude), individualizados em terraços fluviais suspensos, associados às influências paleoclimáticas pleistocênicas, e planícies fluviais de inundação, correspondentes aos depósitos holocênicos atuais e subatuais;
- Fundos de Vales: correspondentes a uma faixa irregular, paralela ao sistema fluvial, com declividade que pode chegar a 40%. Sua individualização deu-se em função de mudanças nas relações processuais, sobretudo entre os fluxos difusos e laminares em relação aos lineares.

Em relação as características morfogénéticas na bacia, conforme apresentado por Seibt (2013), tem-se:

- Vale aberto com córrego ligeiramente encaixado: corresponde ao trecho compreendido entre suas nascentes e a afluência com córrego Areião, apresenta corpos de aluviões restritos a calha do rio ou uma pequena expressão lateral.
- Vale aberto de flancos simétricos: corresponde ao trecho compreendido entre a margem do córrego Areião e a Av. Independência, abrigando praticamente todo o trecho canalizado. Nota-se a ocorrência de pequenas áreas de planície com desenvolvimento de aluviões, inclusive, na margem esquerda.
- Vale fechado com córrego encaixado: compreende o trecho situado entre a Av. Independência e a margem do córrego Capim Puba, sendo que, neste trecho, o córrego encontra-se entalhado em solo coluvionar.
- Áreas de planície: corresponde ao trecho Capim Puba até a sua foz no ribeirão Anicuns, com desenvolvimento de aluviões marginais e áreas com lençol freático superficial.

### 3.1.5 Pedologia: principais classes de solo, textura e profundidade

Em relação aos atributos pedológicos, baseou-se nas classificações e definições trazidas nos trabalhos de Romão (2006) e Nunes (2011) em relação as características dos solos que formam a bacia. O recorte e detalhamento por meio visual (figura/mapa) foi feito a partir do trabalho de Campos et al. (2003), sendo modificado pela autora.

No que se refere às classes de solos, conforme apresentada pela Figura 8, as mesmas encontram-se fortemente associadas à geomorfologia da área, que aponta para a existência de grupos de solos definidos.

No Complexo Granulítico Anápolis-Itaúçu, os Latossolos Vermelhos predominam nas áreas de Granulitos Paraderivados, os quais proporcionam a ocorrência de interflúvios mais amplos e com declividades baixas (NUNES, 2011). A classe relativa ao horizonte relativamente espesso, com alta saturação por bases e cor escura, em geral moderadamente ácidos e fortemente alcalinos, com argila de atividade alta, são relacionados à ocorrência sobre as rochas calcissilicáticas do Complexo Anápolis-Itaúçu (ROMÃO, 2006).

Para Campos et al. (2003) apud Romão (2006) a parte mais próxima à vertente mais elevada caracteriza-se por apresentar Cambissolo, com perfis rasos a muito rasos, que favorecem o escoamento superficial e em muitos casos sem ocorrência de zona saturada.

Nos segmentos dos canais principais com baixo gradiente altimétrico e de baixa declividade nas bordas, como na planície próxima ao exutório final, possui tendência a ocorrência de Gleissolo nas partes mais profundas, apresenta níveis d'água rasos, em que os solos permanecem totalmente saturados em alguns períodos do ano, considerado como Depressão do Meia Ponte (NUNES, 2011).

### 3.1.6 Clima: dinâmica atmosférica regional, intensidade, duração e frequência dos eventos pluviométricos

Para a descrição aqui apresentada da dinâmica pluviométrica e climática na bacia, baseou-se nas características e descrições apresentadas nos trabalhos de Romão (2006) e Nunes (2011), mostrando a tendência das chuvas distribuídas por meses ao longo do período de um ano, de acordo com o clima regional.

Pelo fato de ocupar a porção central do continente, Goiás sofre influências da dinâmica atmosférica que afeta grande parte da América do Sul. Assim, a associação da

sua localização com a atuação das massas de ar confere ao mesmo um padrão climático que pode ser caracterizado por um período quente e chuvoso e outro de estiagem com temperaturas mais amenas (NUNES, 2011). Portanto, trata-se de um clima influenciado tanto por zonas de baixas pressões equatoriais e subtropicais, originadas do forte aquecimento solar que se processa no interior do país durante os meses de primavera-verão, quanto por zonas de altas pressões subtropicais oceânicas e polares, potencializadas durante os meses de outono - inverno (DE-CAMPOS et al., 2002) apud (NUNES, 2011).

O período chuvoso tende a ter início ao final do mês de setembro e início de outubro, com chuvas ainda em dias isolados em torno de 15 mm em série de até 3 dias. Nos meses de outubro e novembro, os eventos pluviométricos, ainda que já ocorram em maior frequência, tendem a apresentar valores médios - em torno de 20 mm - e aqueles com menor frequência ficam em torno de 35 mm, sendo que excepcionalmente podem chegar a 60 mm (NUNES, 2011).

No que se refere ao período de maior intensidade pluviométrica, os meses mais chuvosos são de dezembro a março, com precipitação média mensal acima de 250 mm e média anual de cerca de 1500 mm (ROMÃO, 2006). Ressaltando que no mês de janeiro, a frequência de precipitações tende a se reduzir, bem como a intensidade das mesmas, sendo que ainda que ocorram grandes eventos pluviométricos na casa dos 60 mm, os mesmos tendem a ocorrer de forma isolada, com a média ficando em torno dos 32 mm. Tal tendência permanece nos meses de fevereiro e março, nos quais os dias com chuva passam a se concentrar mais em série de três dias. Entretanto, existe a predisposição de ocorrência e eventos pluviométricos isolados, os quais podem atingir 70 ou até mesmo 100 mm (NUNES, 2011).

A redução das precipitações começa no mês de abril, o qual pode ser considerado como o último mês com chuva. Já a precipitação média dos meses menos chuvosos acontece de junho a agosto, ficando abaixo de 10 mm (ROMÃO, 2006).

As temperaturas mais elevadas durante o ano em Goiânia ocorrem nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, com médias oscilando entre 29°C e 31°C, muitas vezes chegando a índices superiores a 35°C. Os meses mais frios correspondem aos meses junho e julho, com médias das mínimas oscilando entre 13°C e 18°C. A esse mesmo período associam-se os menores índices de umidade relativa do ar, o qual apresenta variação térmica diária de até 10°C (ROMÃO, 2006).

### 3.2 Procedimentos Técnico-Operacionais

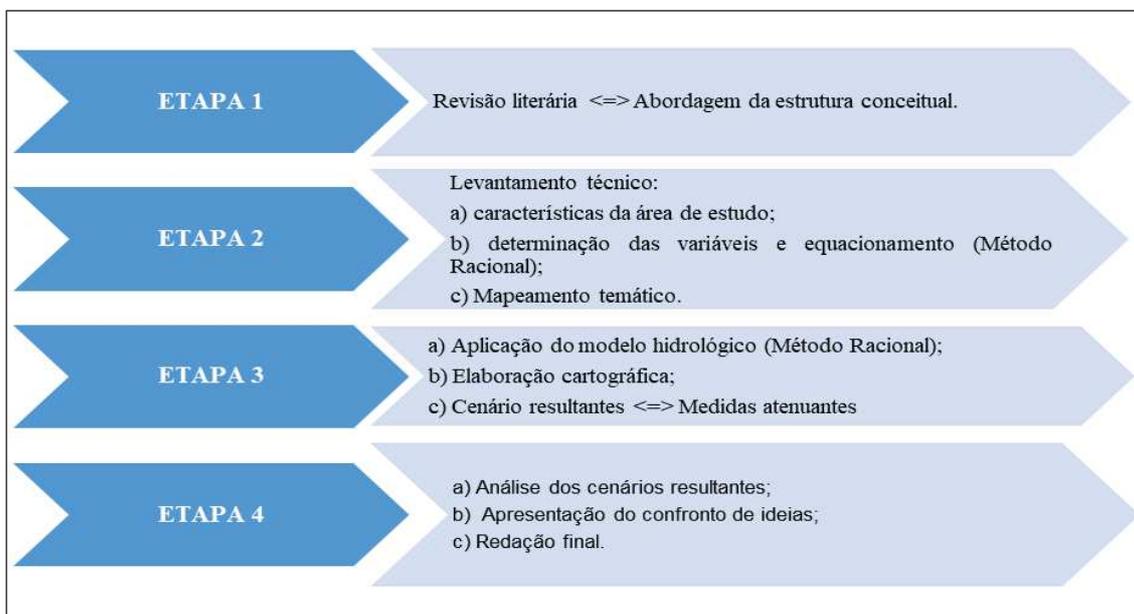
#### 3.2.1 Propósito da estrutura conceitual adotada

Como já descrito, o objeto de estudo na presente pesquisa compreende a sub-bacia hidrográfica do córrego Botafogo, localizada na região central e urbanizada do município de Goiânia. Para tanto, considera-se a bacia hidrográfica como um sistema aberto, de partes que, embora possuam comportamentos distintos, são interligadas e, portanto, com constante troca de matéria e energia. Isso implica em afirmar que o seu equilíbrio está condicionado as alterações, bem como as medidas atenuantes no sentido de manter o balanço entre matéria e energia.

Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa exploratória, prática e com abordagem qualitativa e quantitativa, pois busca estabelecer a relação entre as condições ambientais da bacia hidrográfica e sua correspondência em valores, tais como as condições de adensamento urbano nas últimas quatro décadas e sua correspondência em coeficientes de escoamento superficial, e os processos e fenômenos hidrológicos no espaço e tempo por meio de modelagem.

Com isso, a organização e definição dos materiais e os procedimentos técnico-operacionais a serem adotados neste trabalho, fundamenta-se no paradigma sistêmico, conforme ilustrado pela Figura 9 e descrito em seguida.

Figura 9: Roteiro geral adotado na pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Descrição das etapas da pesquisa:

- a) Primeira etapa: consistiu em revisão bibliográfica abrangente em relação à temática adotada, bem como a estrutura conceitual sobre modelagem hidrológica;
- b) Segunda etapa: compreendeu levantamento de dados sobre a área de estudos e mapeamento, como a cobertura e uso do solo nos respectivos anos de estudo (1988, 1998, 2008 e 2018);
- c) Terceira etapa: consistiu no equacionamento com base no Método Racional e as variáveis a serem trabalhadas, para enfim realizar-se aplicação com álgebra matricial no software Arc Gis 10.3. Esta etapa compreendeu também o levantamento e elaboração de materiais cartográficos complementares referentes à área de estudos, bem como a estruturação do banco de dados espaciais georreferenciados, a preparação e a finalização dos planos de informações ou mapas para a interpretação e redação dos resultados preliminares; e
- d) Quarta etapa: compreendeu na interpretação dos dados, redação dos resultados obtidos, proposição e avaliação de medidas atenuantes.

### 3.2.2 Preparação do banco de dados e mapeamentos

Para a elaboração dos materiais cartográficos utilizou-se o software ArcGis 10.3. Todos os dados estão georreferenciados com base na projeção UTM, Datum SIRGAS 2000 e no fuso 22 S.

Para realizar a classificação da cobertura e uso do solo na sub-bacia, bem como a aplicação do modelo hidrológico a partir do equacionamento definido e mapeamento temático, utilizou-se de imagens do satélite Landsat 5, 7 bandas, para os anos de 1988, 1998 e 2008, e imagem Landsat 8, 13 bandas, para o ano de 2018, todas com resolução espacial de 30 metros e resolução espectral de sete bandas, adquiridas junto gratuitamente pelo site do United States Geological Survey - Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Para recortes espaciais detalhados, localização e dimensionamento, utilizou-se de ortofotos de Goiânia, com 0,50 m de resolução, respectivamente dos anos de 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016, concedidas pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano Sustentável (SEMDUS) e de arquivos vetoriais do Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia (MUBDG), versão 25, cedidas pela Secretaria Municipal de Ciência, Tecnologia e Inovação (SETEC).

No processo de elaboração das variáveis morfométricas e morfográficas da bacia utiliza-se do Modelo Digital de Terreno em estrutura matricial, por meio de estereoscopia a partir das ortofotos do município de Goiânia, baseado em metodologia estabelecida por Nunes (2011). Com relação à equidistância das curvas de nível, a partir do mesmo extraiu-se curvas com 1 (um) metro de intervalo de altitudes. Tal processo se mostra relevante, uma vez que permite trabalhar com resoluções espaciais compatíveis com a dimensão interfluvial da área.

### 3.2.3 Método Racional: variáveis e equacionamento

Para estabelecimento da modelagem hidrológica utilizada neste trabalho, procurou-se entender a correlação espaço-temporal de variáveis que compõem o sistema hidrográfico na bacia, considerando o Método Racional. Para tanto, utilizou-se de imagens Landsat 5, para os anos de 1988, 1998 e 2008, e imagem Landsat 8 para o ano de 2018, especificamente nas respectivas datas: 16/08/1988, 27/07/1998, 22/07/2008 e 03/08/2018.

As estimativas de volume de escoamento se baseiam inicialmente na avaliação dos tipos de solo, como na formação de grupos hidrológicos, nas condições de cobertura e uso, bem como na capacidade de retenção de água nos solos.

Para a determinação das estimativas de escoamento superficial aplica-se o modelo hidrológico Método Racional, cujos primeiros registros sistematizados foram feitos por Pierre Parrault ainda no século XVII. Posteriormente os princípios foram adaptados por Mulvaney (1851) e Kuichling (1889), sendo uma das versões mais conhecidas expressa pela seguinte equação:

$$Q_{max} = CiA / 3,6 \quad \text{Equação 1.}$$

Em que:

$Q_{max}$  = vazão máxima estimada do escoamento superficial, em  $m^3/s$ ;

$C$  = coeficiente de escoamento superficial ou razão entre o volume escoado e o total precipitado, adimensional;

$i$  = média das intensidades máximas de precipitação, em  $mm/h$ , sendo que para a estimativa de vazão máxima a duração do evento pluviométrico deve ser igual ou maior que o tempo necessário para escoamento em toda a bacia;

$A$  = área da bacia, em  $km^2$ ;

3,6 = fator de conversão entre unidades.

Os coeficientes de escoamento superficial são determinados com base na proposta do Serviço de Conservação do Solo (*SCS – Soil Conservation Service*), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*U. S. Department of Agriculture*), (1971), a qual foi revisada e aplicada pela Administração Federal de Autoestradas (*FHA – Federal Highway Administration*) do Departamento de Transportes dos EUA (2013), baseando-se inicialmente na precipitação efetiva, a qual resulta da relação entre a precipitação considerada e a capacidade de infiltração de água no solo, como expresso pela Equação 2:

$$Pe = \frac{(P-0,2 S)^2}{(P+0,8 S)}, \text{ para } P \geq 0,2 S \quad \text{Equação 2.}$$

Em que:

Pe = precipitação efetiva ou parcela da chuva convertida em escoamento superficial, em mm;

p = precipitação máxima considerada, em mm;

S = coeficiente de armazenamento, em mm.

Como observado na Equação 2, essa relação considera também perda inicial de cerca de 20% do volume precipitado em decorrência das interceptações e retenções em depressões.

Este coeficiente de armazenamento (S), resulta da avaliação de grupos hidrológicos, os quais levam em conta as características dos solos, especialmente textura e profundidade, características do terreno, bem como o tipo de cobertura e uso do solo, resultando em valores de CN (número de escoamento), conforme o *Natural Resources Conservation Service (NRCS) – USDA (1997)*, de acordo com a equação 3. Para tanto, destaca-se que para o cálculo considera-se o solo em condições normais, em que a precipitação acumulada nos últimos 5 dias é maior que 13 mm e menor que 53 mm.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 3.}$$

Para aplicação das equações 2 e 3, baseia-se nos números de escoamento superficial (CN) para cada o tipo de condição do terreno na bacia, conforme apresentado no Tabela 1.

Tabela 1: Classes de uso e ocupação do solo e respectivos números de escoamento superficial (CN).

Condição do Terreno	CN
Área Edificada	98
Superfície Pavimentada	97
Solo Exposto Compactado	76
Solo Exposto não Compactado	68
Gramínea Compactada	66
Gramínea não Compactada	61
Árvores Isoladas	62
Mata de Galeria/Vegetação Densa	29

Fonte: Tucci e Marques (2001) apud Nunes e Borba (2018).

Já os coeficientes de escoamento resultam da razão entre a precipitação efetiva ou volume convertido em escoamento superficial e a precipitação total a ser considerada, como apresentado na equação 4:

$$C = \left[ \frac{(P-0,2 S)^2}{(P+0,8 S)} \right] * 1/P \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

C = coeficiente de escoamento superficial ou razão entre o volume escoado e o total precipitado, adimensional.

As médias das intensidades máximas de precipitação foram estimadas de acordo com a relação proposta por Villela e Mattos (1975), que relaciona a intensidade-duração-frequência, entendido pela sigla IDF, dos eventos meteorológicos, utilizando o histórico de chuvas disponibilizados pelo INMET, para o período correspondente a esta pesquisa, conforme sistematizado por Oliveira et al. (2005) para a região de Goiânia por meio da seguinte equação:

$$I_m = \frac{K \times T_r^a}{(t+b)^c} \Rightarrow I_m = \frac{920,45 \times T_r^{0,1422}}{(t+12)^{0,7599}} \quad \text{Equação 5.}$$

Em que:

$I_m$  = média das intensidades máximas de precipitação, em mm/h;

$K, a, b$  e  $c$  = parâmetros próprios da estação climatológica;

T = tempo de retorno, em anos para um evento extremo;

t = tempo de concentração do escoamento superficial que deve ser menor ou igual ao tempo de duração da precipitação na área da bacia, em minutos.

No presente trabalho considera-se um tempo de retorno de 50 anos, compatível com áreas comerciais e vias arteriais de tráfego (PORTO et al., 2004). Já os tempos de duração das precipitações resultaram do tempo de concentração do escoamento superficial, de toda a bacia, estimados no período de estudo, de 1988 à 2018. Estes são determinados pelo Método Cinemático, conforme o SCS (1971) por meio da equação 6:

$$Tc = 1/60 \times \sum \frac{L_i}{v_i} \quad \text{Equação 6.}$$

Em que:

Tc = Tempo de concentração do escoamento superficial, em min;

1/60 = fator de transformação de segundos para minutos;

Li = Comprimento de fluxo no segmento considerado, em m;

Vi = Velocidade do escoamento superficial, em m/s.

A velocidade de escoamento superficial foi estimada com base na avaliação dos coeficientes de escoamento e da declividade, por meio da seguinte equação (PORTO, 1995), conforme equação 7:

$$V_i = C \times S_i^{0,5} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

Vi = velocidade de escoamento superficial, em m/s;

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

Si = declividade, em %, elevada ao expoente 0,5, em m/m;

Aplicou-se um coeficiente de retardamento em função da área da mesma, resultando no que se conhece como Método Racional Modificado, conforme proposto por Pinto et al. (1976) e Euclides (1987), cuja fórmula é apresentada:

$$\theta = 0,278 - 0,00034 S \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

$\theta$  = coeficiente de retardamento em função da área da bacia;

0,278 e 0,00034 são constantes;

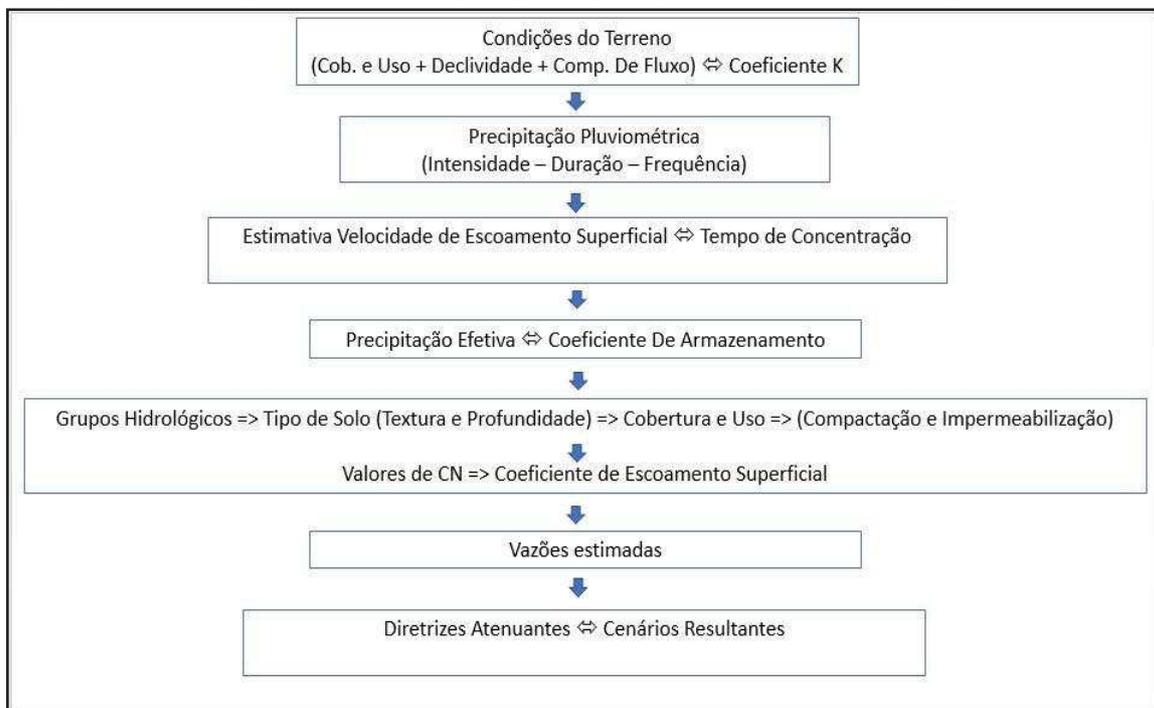
$S$  = área da bacia em  $\text{km}^2$ .

Ressalta-se que a variável área da bacia é utilizada de forma cumulativa, isto é, transferência do volume de células a montante para aquela a jusante, que resultará no acúmulo de escoamento superficial em função da área de contribuição específica. Este método possibilita a aplicação de todas as equações e, conseqüentemente, de todos os cálculos pertencentes a bacia, o que permite a elaboração de um modelo espacialmente distribuído, com maior valor de estimativa de vazão correspondendo ao exutório. Do contrário, ter-se-ia realizado apenas um cálculo, com o valor resultante sendo representativo de toda a área da bacia, sem uma representação da variabilidade espacial dos volumes de escoamento (NUNES e BORBA, 2018).

### 3.2.4 Aplicação esquematizada do modelo hidrológico

De forma a esquematizar a sequência metodológica utilizada na aplicação do modelo hidrológico, é apresentada no fluxograma básico, por meio da Figura 10. Ressalta-se que os cálculos foram realizados por meio de modelagem no software ArcGis 10.3, a partir álgebra matricial.

Figura 10: Fluxograma metodológico para aplicação do modelo hidrológico.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Primeiramente, analisou-se o *input* de energia no sistema hidrológico na sub-bacia, sendo este ocasionado pela precipitação pluviométrica, por meio da equação 5,

estabelecendo a relação entre intensidade, duração e frequência de chuva. Em seguida, verificou-se a estimativa de velocidade de escoamento pela equação 7 e tempo de concentração pela equação 6, fazendo-se a correção necessária para o tempo de retardamento, por meio da equação 8.

Paralelamente, estabeleceu-se a relação entre os grupo hidrológicos - tipo de solo (textura e profundidade) e cobertura e uso – e como estes influenciam diretamente na convergência ou divergência de fluxo na sub-bacia do córrego Botafogo, principalmente potencializados pelas as modificações antrópicas (compactação e impermeabilização do solo), para enfim utilizar-se da equação 2 para determinar valores de precipitação efetiva e da equação 3 para estabelecer o coeficiente de armazenamento, determinando o CN (número de escoamento). Posteriormente aplicou-se a equação 4 para determinar o coeficiente de escoamento superficial e finalmente a equação 1 para os valores de vazões máximas.

Assim, determinado a estimativa do escoamento superficial na sub-bacia, realizou-se a aplicação dos dois cenários propostos como medidas para atenuação do adensamento urbano na sub-bacia estudada. Por fim, apresentou-se e discutiu-se os cenários resultantes.

### **3.3 Modelagem hidrológica face aos cenários propostos para atenuação dos efeitos do adensamento urbano**

A partir da aplicação do modelo estabelecido, frente a atender os objetivos propostos neste estudo, realizou-se a identificação das principais linhas de fluxo e o potencial de contribuição dos mesmos, de forma a confrontar com diretrizes propostas para atenuar os efeitos do adensamento urbano na bacia do córrego Botafogo.

Assim, destaca-se as seguintes diretrizes avaliadas:

- i) Cenário 1: Implementação do Plano para Controle de Águas Pluviais e de Drenagem Urbana (Lei Municipal de Goiânia nº 9511/2014) que estabelece área mínima permeável dentro de cada lote: realizou-se teste considerando 15% do terreno de cada lote sendo destinada à infiltração de água na bacia e avaliou-se o impacto que tal aplicação poderia proporcionar;
- ii) Cenário 2: Construção de bacias de retenção/contenção de fluxo hídrico superficial: avalia-se as condições do terreno, mediante a definição das principais linhas de fluxo, que conseqüentemente mais contribuem para o efeito acumulativo no canal principal da sub-bacia durante as chuvas, e determinar os locais mais apropriados à

construção de estruturas destinadas à captação de água e aumento do tempo de concentração do escoamento superficial ao longo dos fluxos hídricos.

Para aplicação dos cenários estabelecidos, além da utilização da modelagem hidrológica embasada pelo método racional, conforme já apresentado, será necessário estimar a vazão suportada pelo canal do córrego Botafogo. Primeiramente é necessário determinar a velocidade do canal. Portanto, utilizou-se da Fórmula de Manning, a mais popular para dimensionamento de condutos livres que considera rugosidade do canal (TOMAZ, 2010).

Segue a fórmula:

$$V = (1/n) * R^{2/3} * S^{1/2} \quad \text{Equação 9}$$

Sendo:

V= velocidade média na seção (m/s);

n= coeficiente de Manning tem as dimensões TL<sup>-1/3</sup>;

R= raio hidráulico (m). O raio hidráulico é o quociente entre a área molhada e o perímetro molhado;

S= declividade (m/m). A inicial “S” vem da palavra inglesa *Slope* que quer dizer declividade.

A seção transversal escolhida no canal para fornecimento das variáveis que considerou área próximo ao exutório, no final da seção canalizada do córrego Botafogo, local onde o canal é turbulento devido toda contribuição da sub-bacia à montante. Para determinar o valor de R (raio hidráulico) foi baseada no trabalho de Ferreira, Pimenta e Viana (2014), o n (coeficiente de rugosidade de Manning) para canais abertos em concreto foi baseado na tabela determinada pelo trabalho de Porto (1998) apud Tomaz (2014) e a declividade (S) foi obtida pela topografia do terreno determinada na modelagem aplicada.

Aplicado a fórmula, obteve-se velocidade média na seção (V) de 0,59667 m/s. Com área da seção transversal (A) de 44,44 m<sup>2</sup>, baseada nas dimensões do trabalho de Ferreira, Pimenta e Viana (2014), foi possível determinar a vazão suportada pelo canal do córrego Botafogo, que é vazão (Q) = 26,51 m<sup>3</sup>/s.

### **3.4 Forma de apresentação dos resultados**

Como esta pesquisa trata-se de representação de fenômenos espaço-temporais, com informações e resultados de caráter quali-quantitativos, os mesmos são apresentados nas formas de mapas/figuras e/ou gráficos, com a proposição de duas medidas propostas para atenuação dos efeitos do adensamento urbano na drenagem na sub-bacia do córrego Botafogo, bem como o confronto dos resultados com literatura, legislação e planos diretores municipais e de drenagem urbana, bem como análise de sua importância frente ao planejamento urbano e ambiental.

## **CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO**

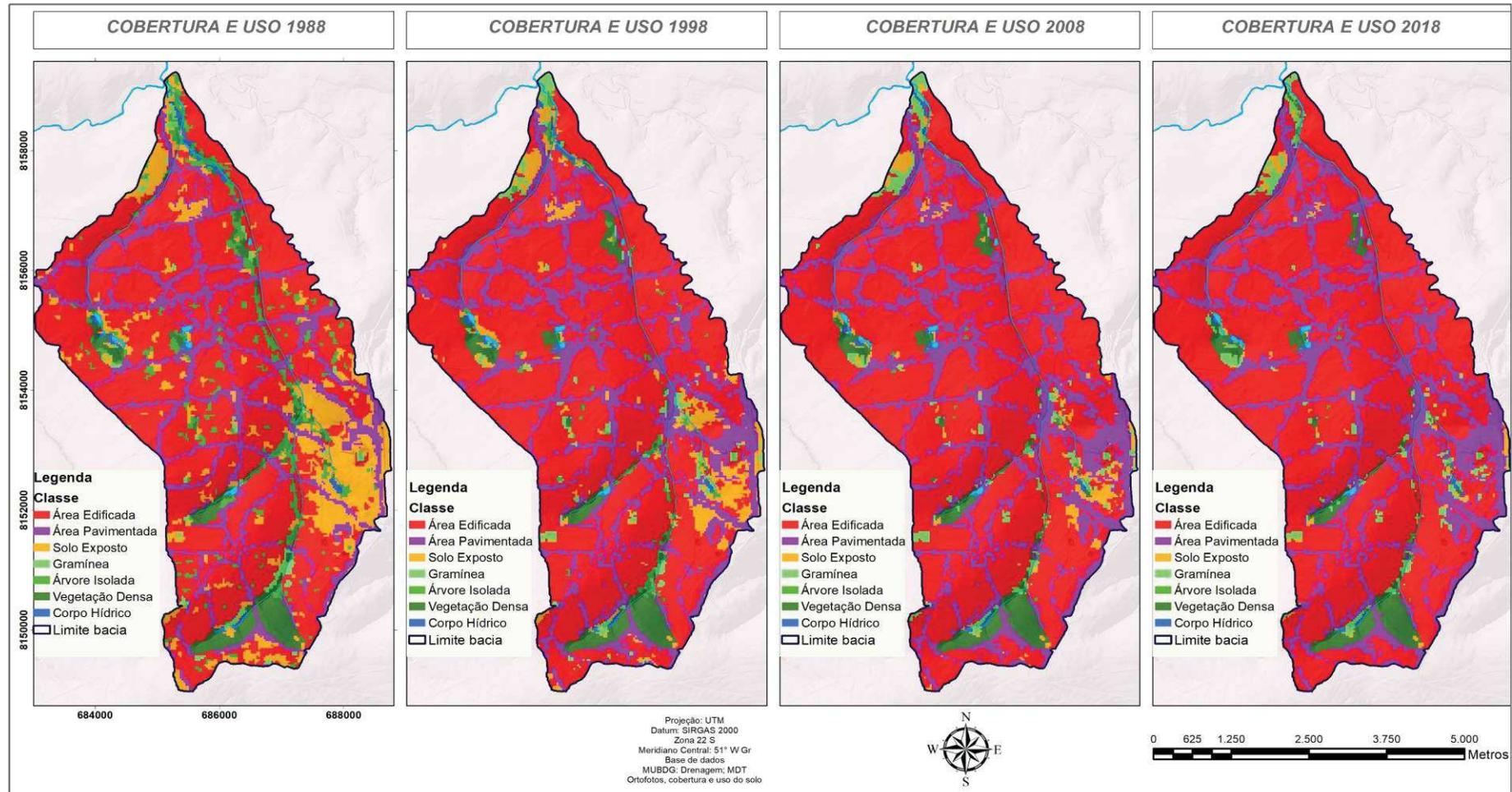
### **4.1 Alterações da cobertura e uso do solo urbano na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia - GO**

Conforme já apresentado nas características da área de estudo, trata-se de sub-bacia localizada totalmente em perímetro urbano. Paralelamente a isto, conclui-se que esta passou por diversas alterações referentes ao tipo de cobertura e uso do solo urbano. Visando então analisar e quantificar estas transformações ao longo do período de estudo (anos 1988, 1998, 2008 e 2018), apresenta-se na Figura 11 os mapas da evolução temporal para análise qualitativa e interpretação visual.

Portanto, analisando os mapas da evolução temporal da cobertura e uso do solo na sub-bacia do córrego Botafogo, é possível constatar cinco cenários:

- 1) Ao longo do canal principal (córrego Botafogo), de 1988 à 2018 houve gradativa redução da vegetação. Isso prejudica o processo de infiltração de água pluvial no solo e aumenta o potencial de escoamento superficial;
- 2) Nos locais de parques urbanos e áreas verdes (Parque Areião, Jardim Botânico – onde encontram-se as nascentes do córrego Botafogo -, Lago das Rosas, Bosque Buritis, Parque Flamboyant e Parque Botafogo), observa-se a tendência de consolidação dos mesmos como áreas de preservação, espaços estes importantes para proporcionar a infiltração no solo e retardar o escoamento superficial;
- 3) Na porção acima da nascente do córrego Botafogo (Setor Santo Antônio) percebe-se que em 1988 havia certo percentual de área de solo exposto que ao longo se transformou em área edificada. Outra porção de área que também se valorizou bastante foi no Jardim Goiás, que durante década havia espaços vazios (solo exposto) para reserva de mercado, e que principalmente de 2008 em diante passou por forte valorização imobiliária, cedendo espaço a construção/ampliação de grandes empreendimentos (shopping, hipermercados e estádio de futebol), além da verticalização crescente com edifícios de alto padrão, refletindo no aumento percentual de área edificada, como também em área pavimentada, visto a inserção de áreas de estacionamentos para atender as características do setor. Estes fatores diminuem a capacidade de infiltração e aumentam circunstancialmente a velocidade do escoamento superficial;

Figura 11: Mapas da evolução temporal da cobertura e uso do solo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.

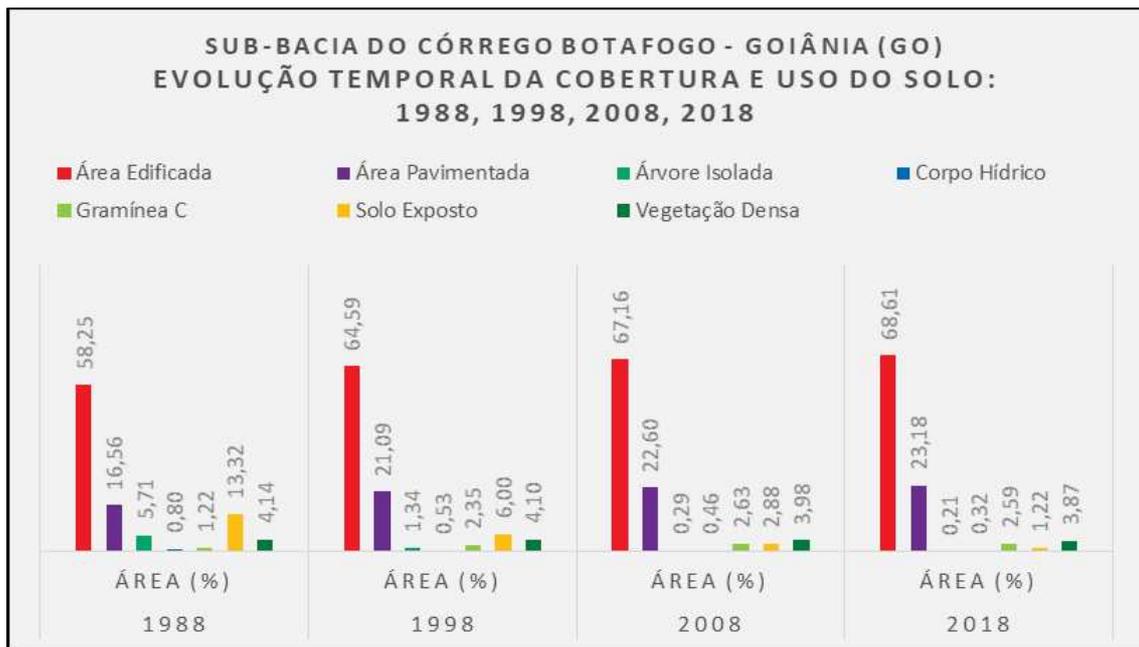


Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

- 4) Em sua maior abrangência, percebe-se que muitas áreas ou setores permaneceram consolidados ao longo das décadas que se passaram, visto que os mesmos encontravam-se edificadas desde 1988 e não possuíam percentual expressivo de espaços vazios (solo exposto), como é o caso de setores como Central, Oeste, Marista, Sul e Pedro Ludovico;
- 5) Na sub-bacia como um todo ocorrem que os espaços vazios (solo exposto) que foram ocupados por edificações, conforme já observado a partir da análise do gráfico de evolução temporal da cobertura e uso do solo.

Na Figura 12 apresenta-se a evolução temporal ocorrida na sub-bacia, para interpretação quantitativa e análise.

Figura 12: Evolução temporal da cobertura e uso do solo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Analisando a evolução temporal da cobertura e uso do solo na sub-bacia do córrego Botafogo (Figura 12), constata-se que na área da sub-bacia que é de 30,62 km<sup>2</sup> (100%), o maior percentual de adensamento urbano, ou seja, aumento da quantidade de área edificada, ocorreu de 1988 para 1998, indo de 58,25% para 64,59%, demonstrando aumento horizontal de área construída/edificada. Nas décadas seguintes o crescimento de área edificada se manteve relativamente constante, com aumento relativo de menor

proporção, indo para 67,16% no ano de 2008 e chegando em 68,61% no ano de 2018, demonstrando que o crescimento horizontal cedeu espaço à verticalização.

Em relação à evolução percentual de área pavimentada na sub-bacia estudada, ao longo das quatro últimas décadas, percebe-se que a tendência é acompanhar o crescimento relativo da área edificada. Em 1988 o percentual era de 16,56% de área pavimentada, indo para 21,09% em 1998, registrando a maior ampliação de área pavimentada constatada. Até 2008 há pequena variação (aumento), chegando a 22,60% e 23,18% em 2018.

Em contrapartida ao aumento das áreas edificadas e pavimentadas, o percentual de área de solo exposto fez o processo inverso, reduzindo ao longo das últimas quatro décadas. Em 1988 formava área de 13,32%, tendo sua maior redução expressiva para 1998, atingindo 6,00%. Em 2008 reduziu para 2,88% e em 2018 chegou em 1,22% de área de solo exposto na sub-bacia do córrego Botafogo. Constata-se que proporcionalmente ao longo das décadas analisadas em que área edificada aumenta relativamente o percentual de área de solo exposto diminui.

Estes fatos apresentados são o reflexo do processo de urbanização à nível Brasil, que se intensificou nas décadas de 80 e 90, incluindo também a formação de Goiânia, capital ainda nova no cenário nacional. Além disso, impulsionado pelo próprio processo do crescimento urbano regional, por meio da consolidação da cidade como centro administrativo e econômico do estado, consequentemente associado a valorização do terreno, à especulação imobiliária e o forte processo de verticalização do espaço urbano ocorrido nas últimas décadas em Goiânia.

Analisando área de vegetação densa percebe-se que esta diminuiu ao longo do tempo analisado, representando 4,14% em 1988 e 3,87% em 2018, sinalizando que os parques e áreas verdes se mantiveram relativamente preservados. Área de gramínea ao longo das décadas, foi de 1,22% em 1988 para 2,99% em 2018. Já área que corresponde a árvore isolada teve diminuição substancial ao decorrer das últimas quatro décadas, representando 5,71% da área total em 1988 e diminuindo para 0,21% em 2018, cedendo espaço para ampliação do sistema viário na sub-bacia, aumentando área pavimentada.

É importante destacar que a evolução da cobertura e uso do solo na sub-bacia em questão não foi caracterizada por embasamento no planejamento do solo urbano, o que provavelmente remeteria a uma configuração com mais áreas verdes e melhor distribuição das áreas edificadas e pavimentadas. Porém, as falhas no ordenamento territorial de Goiânia, analisando apenas as leis de tal cunho estabelecidas para o

município durante o período de análise desta pesquisa, tem-se que a Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano, Lei Municipal nº 031/1994 (GOIÂNIA, 1994) não estabeleceu diretrizes para o real ordenamento, focando apenas em definições genéricas e incluindo os setores que formam a sub-bacia como de alta, média ou baixa densidade.

Posteriormente, a sub-bacia do córrego Botafogo foi inserida na Macrozona Construída (GOIÂNIA, 2007), divisão esta estabelecida conforme o Plano Diretor ainda vigente para a capital goiana, que corresponde ao ano de 2007, contrariando a atualização que deveria ocorrer no máximo a cada dez anos, conforme recomenda o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), com setores/bairros consolidados desde a década de 1950. Mesmo assim, são áreas (setores) valorizadas, principalmente diante do crescimento vertical ocorrido em Goiânia ao decorrer das últimas décadas. Portanto, o PD atual não aborda especificamente o reordenamento destes setores, estabelecendo, por exemplo, a criação de novas áreas verdes, definição de área mínima para permeabilização em cada lote.

Estes fatos demonstram as falhas em relação ao planejamento urbano na sub-bacia, e estes fatos influenciam diretamente a dinâmica hidrológica (drenagem), como será demonstrado posteriormente.

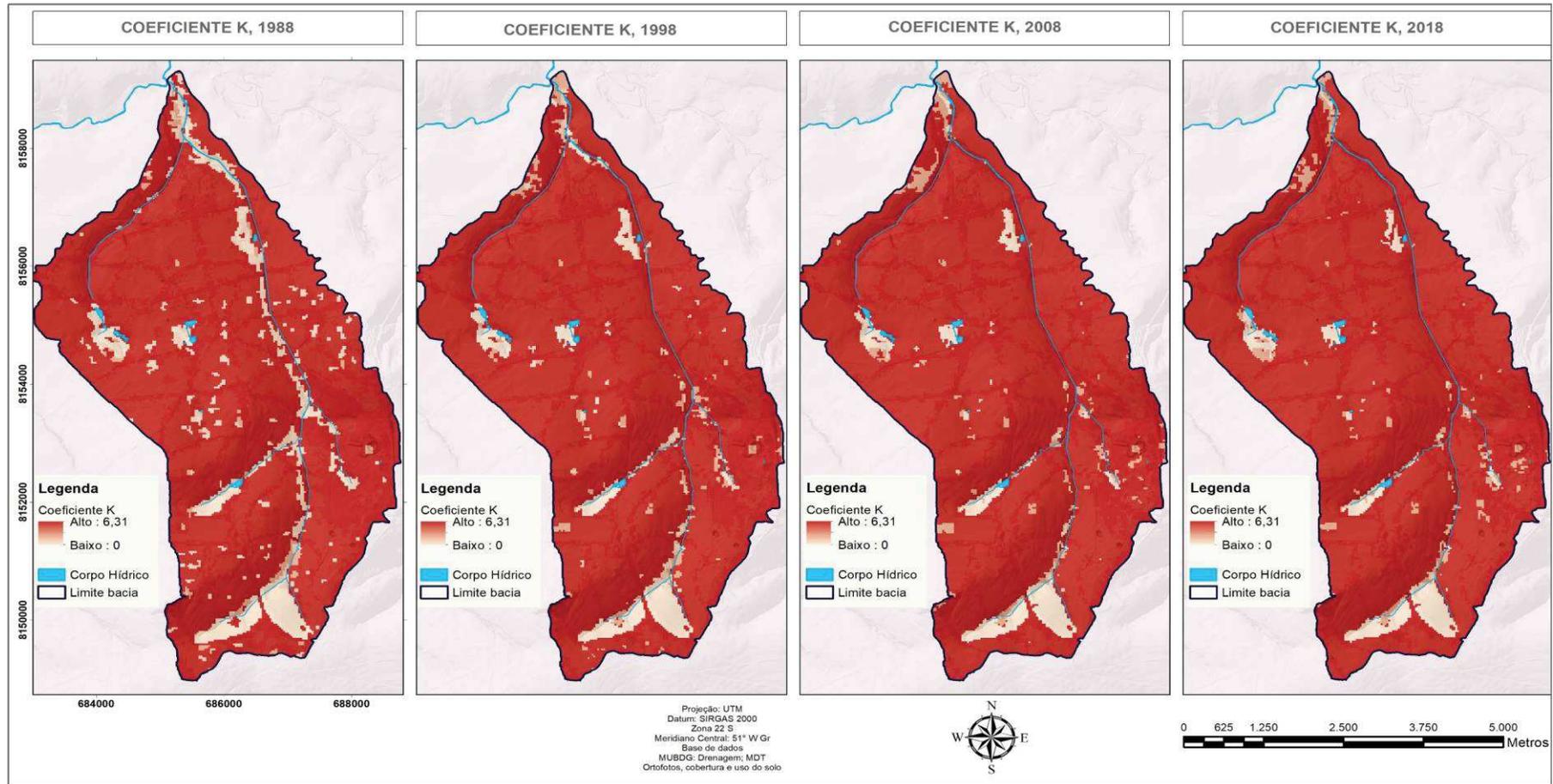
## **4.2 Dinâmica hidrográfica na bacia**

### **4.2.1 Grau de antropização (coeficiente K) e estimativas de velocidade de escoamento superficial**

Na Figura 13 é apresentado a evolução do coeficiente K e as estimativas de velocidade de escoamento superficial para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018, que possui desdobramento em função do fator K, é apresentada logo em sequência, pela Figura 15.

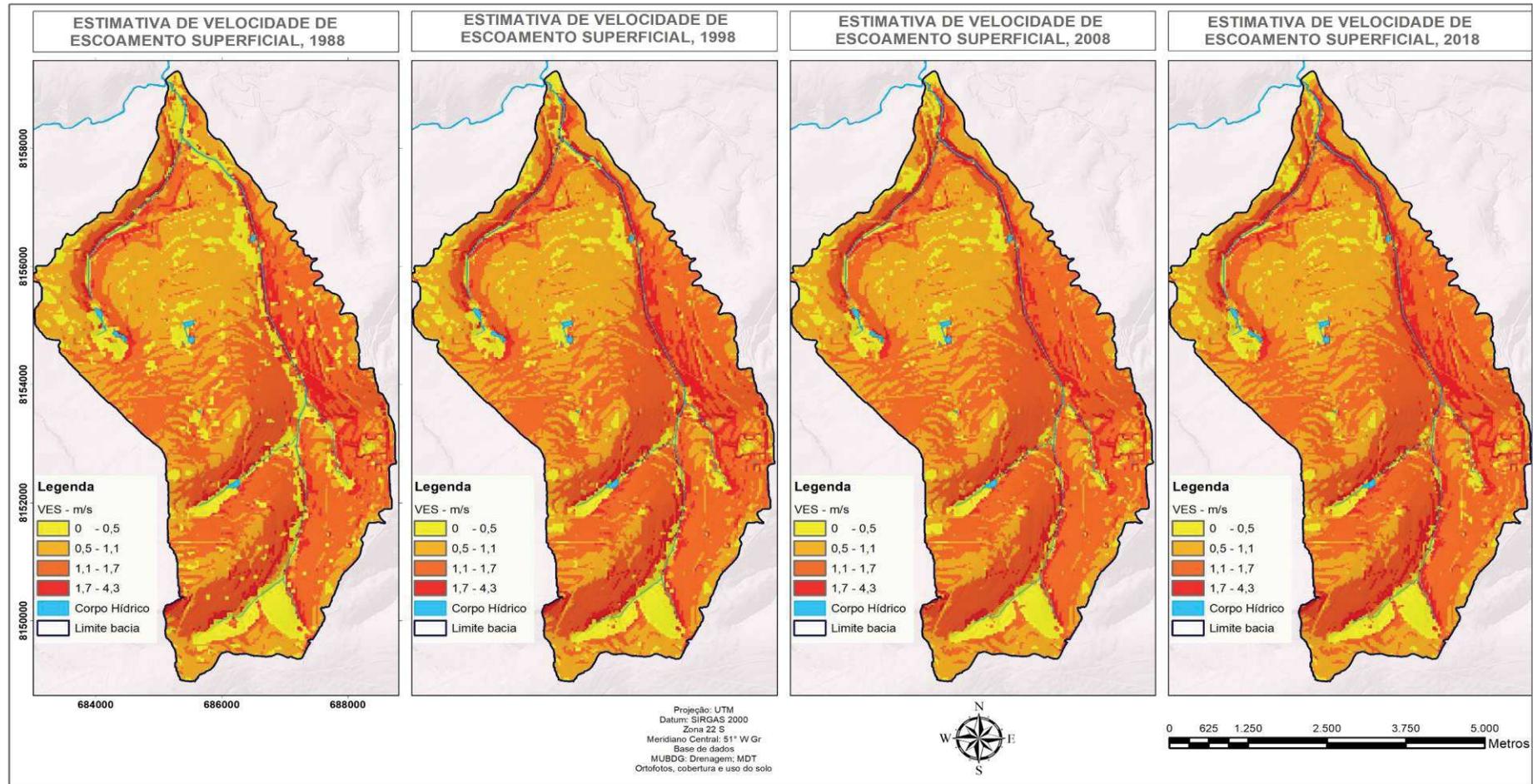
O coeficiente K é uma variável adimensional que corresponde ao grau de antropização ocorrida em determinada área (TOMAZ, 2010). Ou seja, quando maior for o índice de urbanização (área edificada + área pavimentada), mais alto será o valor correspondente ao coeficiente K, refletindo também em maior estimativa de velocidade de escoamento superficial e menor tempo de concentração.

Figura 13: Evolução do grau de antropização para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.



Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Figura 14: Estimativas de velocidade de escoamento superficial para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.



Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Em relação a evolução do coeficiente K ao longo dos recortes temporais utilizados na sub-bacia do córrego Botafogo, conforme apresentado pela Figura 13, percebe-se que a maior transformação de seus valores ocorreu na passagem da década de 1988 para 1998, e dessa década em questão até 2018, o mesmo se manteve estável, acompanhando a evolução da urbanização ocorrida na sub-bacia, como já discutido anteriormente, frente alterações de cobertura e uso do solo urbano.

Ainda em relação a Figura 13, a mudança é percebida na porção oeste-central e plana da sub-bacia, como na margem esquerda e principalmente ao longo do canal principal, no qual o valor para K foi diminuindo com o passar do tempo. Os valores mais altos estão localizados nas vias pavimentadas, conforme tonalização mais escura demonstrada na figura citada, influenciando diretamente na contribuição de aumento de velocidade de escoamento superficial. O valor de K se manteve mais baixo nas áreas com vegetação densa, reflexo da consolidação dos parques urbanos.

Já em relação a Figura 14, percebe-se que assim como ocorreu com o coeficiente K, a maior transformação para os valores estimados de velocidade de escoamento superficial se deu de 1988 para 1998, influenciado pelo grau de antropização ocorrida na sub-bacia, ou seja, as alterações temporais de velocidade do escoamento superficial são influenciadas pelas transformações de cobertura e uso do solo.

Observa-se que as mudanças espaciais para estimativas de velocidade de escoamento superficial é mais influenciado pela declividade do terreno na área em questão. Observa-se portanto que a estimativa de velocidade nas porções mais planas, localizada na porção central baixa da sub-bacia, próximo ao exutório final, a velocidade tende a se manter no máximo em 1,1 m/s, no geral. Quando se aproxima das bordas dos canais fluviais, onde a declividade é maior, a estimativa de velocidade também aumenta, chegando a 4,3 m/s, ou seja, devido a inclinação mais acentuada nessa porção, o volume de água dobra, quadruplicando a estimativa de velocidade de escoamento.

À margem direita do canal principal, influenciada pelo grau de urbanização nos setores (Alto da Glória, Jardim Goiás e Universitário) que formam esta faixa na área estudada, associado ao fato da vertente da sub-bacia nesta margem ser delimitada pela BR-153, percebe-se que substancialmente a estimativa de velocidade de escoamento superficial é mais alta, ficando entre 1,7 a 4,3 m/s. A margem esquerda do canal principal, a maior contribuição é dos setores Pedro Ludovico e Setor Sul, também

fortemente adensados, apresentando estimativa de velocidade de escoamento de 1,1 a 1,7 m/s.

De forma geral, tem-se que as estimativas de aumento de velocidade máxima de escoamento superficial foi de 4,3 m/s em 1988 para 4,38 m/s em 2018, permanecendo praticamente estável. Já da velocidade média foi de 1,048 para 1,115 m/s, isso significa que houve aumento proporcional na média ponderada de toda sub-bacia ao longo dos anos, influenciada diretamente pela impermeabilização do solo, ou seja, alterações de cobertura e uso do solo, fazendo com que o acúmulo de água chegue com maior velocidade e em menor tempo de concentração no canal do córrego Botafogo, conforme comprovado posteriormente.

Nesse sentido, Lemos et al. (2014) esclarecem que como artérias hidrográficas, os rios e córregos refletem os usos da água e do solo, transferindo para jusante os reflexos e impactos das atividades e ocupação humana.

#### 4.2.2 Tempo de concentração

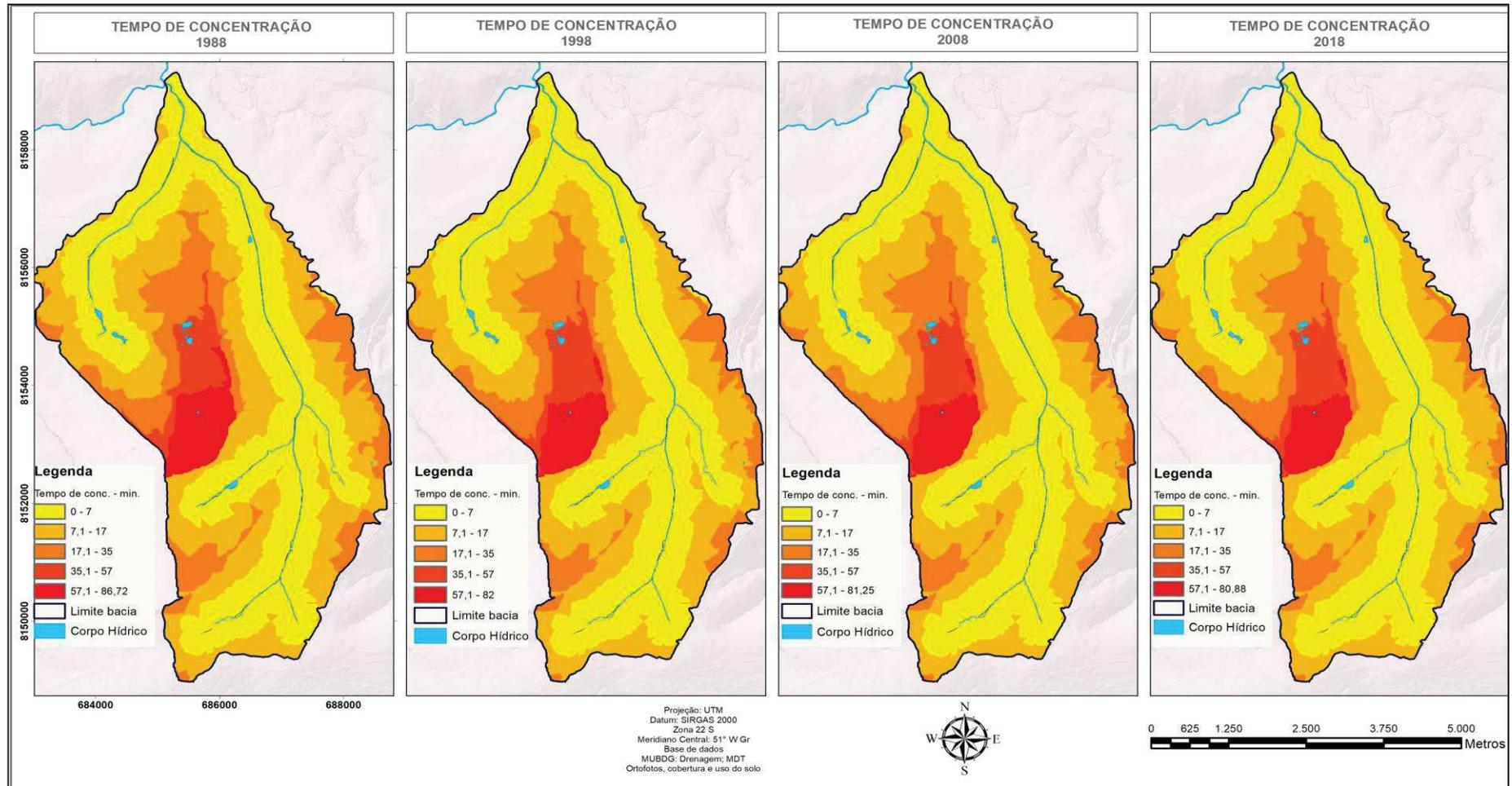
Primeiramente é importante compreender o que o tempo de concentração ( $t_c$ ) representa. De acordo com Thompson (2006), o  $t_c$  de uma bacia hidrográfica é frequentemente definido como o tempo necessário para uma parcela de escoamento viajar da parte mais hidraulicamente distante da bacia para o ponto de saída, ou seja, representa o tempo em que todas as frações da bacia estão contribuindo para o escoamento.

Segundo Collischonn e Tassi (2008), a declividade média da bacia e do curso d'água principal também são características que afetam diretamente o tempo de viagem da água ao longo do sistema. Quanto maior a declividade da bacia menor será o tempo de concentração. Porém, este fato não exerce tanta influência no  $t_c$  da sub-bacia do córrego Botafogo, conforme já apresentado as características hipsiométricas e declividade da área.

Portanto, o tempo de concentração ( $t_c$ ) calculado é baseado na estimativa de velocidade média de escoamento superficial, considerando o tempo necessário para que toda a bacia contribua com escoamento superficial na seção considerada (CARVALHO, 2013).

O  $t_c$  calculado para os anos 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo é apresentado na Figura 15.

Figura 15: Tempo de concentração (tc) para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.



Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Ressalta-se que o tc geralmente é calculado tendo como referência o exutório da bacia. No entanto, torna-se importante esclarecer que o problema relacionado aos alagamentos ou picos de vazão estudados nesta pesquisa são os que ocorrem ao longo do canal do córrego Botafogo. Assim, foi calculado nesta pesquisa o tempo necessário para que os fluxos de escoamento cheguem até aos canais de drenagem. Para tanto, foi observado as transformações ocorridas ao longo do curso hídrico (córrego Botafogo) que foi canalizado ao final da década de 1980 e pavimentado com a construção da Marginal Botafogo em 1992 (SEPLAN, 2018), fazendo com que o tempo de concentração aumente, ainda mais considerando o índice de área edificada e pavimentada (impermeabilização) na sub-bacia estudada.

Analisando a Figura 16 percebe-se que temporalmente não houve alterações visíveis na sub-bacia, pois desde 1988 a área já era bem urbanizada. Observa-se que na faixa da porção sudoeste da sub-bacia, entre o Parque Areião e o Jardim Botânico, o tempo de concentração variando de 17,1-35 min. foi reduzindo, de forma que em 2018 o tc ficasse entre 7-17,1 minutos. Na porção oeste-central da sub-bacia o valor máximo de tc também foi reduzindo. Mas, fica claro que o tc mais curto acontece em maior proporção na sub-bacia, justamente pela proximidade aos canais, onde a declividade ajuda na diminuição do tc. De forma geral, a tendência do tc ao longo do tempo foi diminuir a medida que a sub-bacia foi sendo mais impermeabilizada.

Ao verificar a contribuição dos fluxos, ou seja, o tempo necessário para que toda sub-bacia contribua com o escoamento superficial nas sessões dos canais fluviais, tem-se que em 1988 o tc foi de 88,72 min e em 1998 o tc ficou em 82 min, sendo este período de redução maior, justamente pelas alterações de cobertura e uso do solo. Nas décadas seguintes a variação do tempo de concentração continuou diminuindo, porém com diferença menor, devido a estabilidade da sub-bacia antropizada, ficando em 2008 com tc de 81,25 minutos e em 2018 foi de 80,88 min. Posteriormente será apresentada a relação entre o tc e a intensidade de precipitação, bem como a influência destes no escoamento superficial ao longo do canal.

#### 4.2.3 Precipitação efetiva

Segundo Costa et al. (2001) *apud* Oliveira et al. (2005) para a utilização prática e adequada dos dados de chuva na elaboração de projetos de drenagem, barragens, obras de proteção contra cheias e estudos hídricos, faz-se necessário conhecer a relação intensidade-duração-frequência das chuvas intensas na bacia.

Thompson (2006) explica que as curvas IDF podem ser determinadas pela análise de tempestades para um determinado local ou pelo uso de atlas meteorológicos padrão. Neste sentido, conforme apresentado no capítulo 3 sobre o método racional e equacionamento, as intensidades médias máximas de precipitação (IMMP) são estimadas de acordo com proposta por Villela e Mattos (1975), que relaciona a intensidade-duração–frequência (IDF) dos eventos meteorológicos sendo sistematizado por Oliveira et al. (2005) para a região de Goiânia.

Na pesquisa citada considerou-se tempo de retorno de 50 anos, compatível com áreas comerciais e vias arteriais de tráfego (PORTO et al., 2004). Já os tempos de duração das precipitações resultaram do tempo de concentração do escoamento superficial de toda a bacia. Estas informações subsidiaram a estimativa do coeficiente K, da velocidade de escoamento superficial e tempo de concentração, no período de estudo, de 1988 à 2018. A partir de então, determinou-se a precipitação considerada (Pc), que é o produto da IMMP multiplicado pelo tempo de concentração em horas (Tabela 2).

Tabela 2: Precipitação considerada na sub-bacia do córrego Botafogo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018.

<b>Ano</b>	<b>IMMP (mm)</b>	<b>TC (min)</b>	<b>TC (h)</b>	<b>Pc (mm)</b>
1988	48,98	86,72	1,44	70,79
1998	50,84	82,00	1,36	69,48
2008	51,15	81,25	1,35	69,27
2018	51,30	80,88	1,34	69,15

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Verifica-se no Quadro 2 que toda sub-bacia contribui para o efeito acumulativo do volume de água no canal principal, gerando cenários de transbordamento, pois o tc diminuiu ao longo do tempo, ao passo que a IMMP aumentou. Nessa acepção, Thompson (2006) explica que a intensidade de tempestade é uma função da localização geográfica e intervalo de retorno, sendo que quanto maior o intervalo de retorno maior a intensidade da precipitação para uma dada tempestade duração e menor o tempo de concentração. Além disso, quanto maior o comprimento da tempestade, menor a média

da tempestade (intensidade de precipitação). Isso reflete diretamente na diminuição da precipitação considerada ao longo do tempo, que é transformada em precipitação efetiva. (Figura 16).

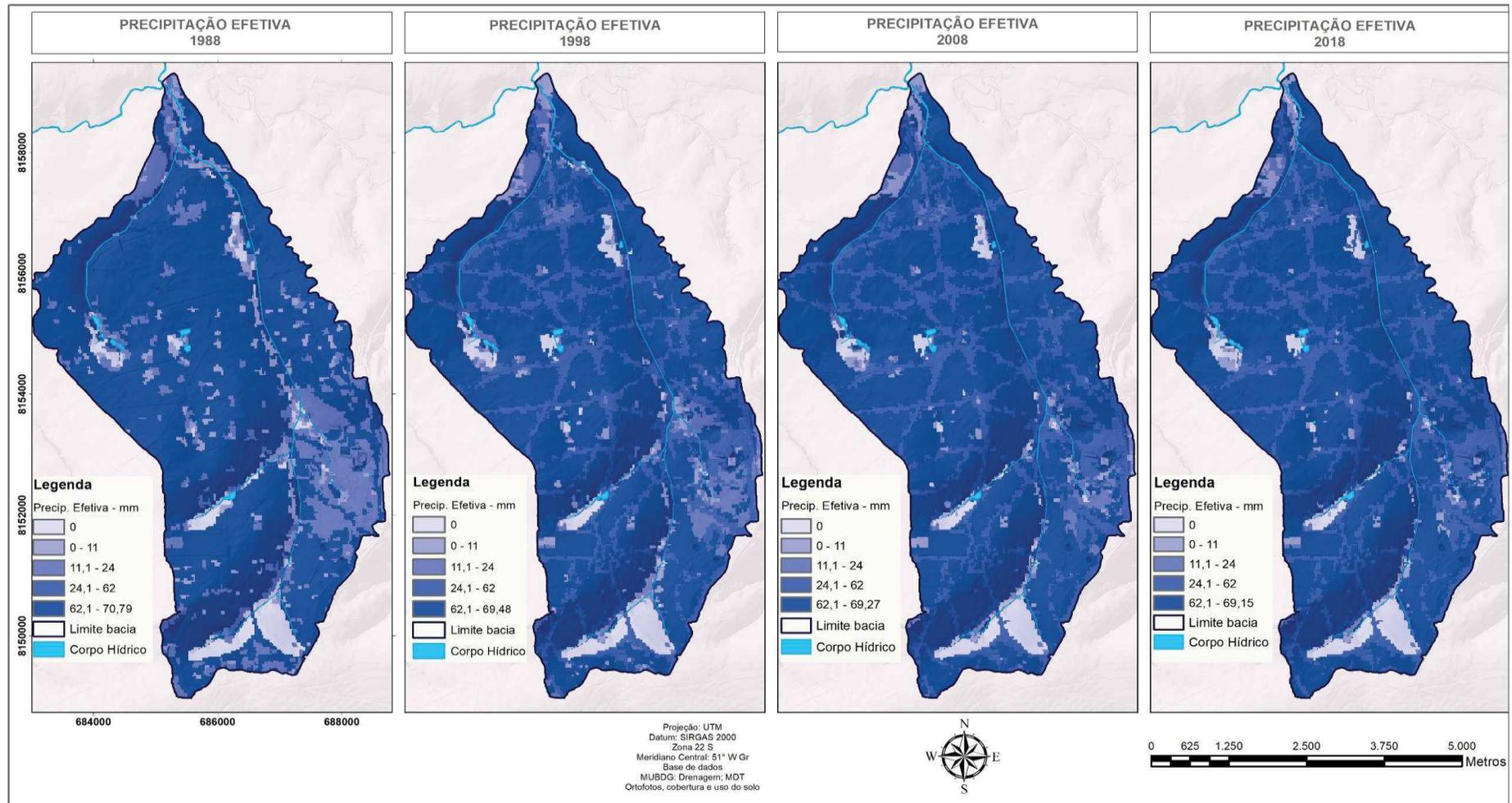
Nesse sentido, considerando os valores apresentados no Quadro 2, constata-se que para 1988 tem-se que a partir de intensidade-duração-frequência de chuva gerando IMMP no valor de 48,98 mm em tempo de concentração de 1,44 h gerou precipitação considerada de 70,79 mm, ponto extremamente crítico na sub-bacia. Para 1998, com IMMP de 50,84 mm e com o tempo de concentração de 1,36 h, a sub-bacia teve o cenário crítico no canal principal com precipitação considerada de 69,48 mm. Em 2008, com IMMP de 51,15 mm e  $t_c$  de 1,35 h, a precipitação considerada foi de 69,27. Já em 2018, a tendência continua, sendo que IMMP aumenta para 51,30 mm, o  $t_c$  diminui para 1,34 h, e, conseqüentemente o canal principal teve seu momento crítico com precipitação considerada no valor de 69,15 mm.

Esclarece-se que as intensidades de precipitação variam grandemente durante um evento de cheia e podem não ser indicadas para simular com precisão eventos como inundações, alagamentos e transbordamentos a partir da aplicação com um modelo hidrológico, pois apresentaria apenas as somas acumuladas de precipitação. Para evitar essas decisões arbitrárias, faz-se necessário abordagem para caracterizar o comprimento efetivo do evento de precipitação, que é baseado em simulações de escoamento, definindo então a duração efetiva da precipitação para os maiores picos e assim permite fazer uso de observações de precipitação anteriores para modelação hidrológica (SIKORSKA; VIVIROLI e SEIBERT, 2018).

Ressalta-se que a precipitação efetiva corresponde ao volume (coluna d'água) que é transformado em escoamento superficial. Esta precipitação é pontual, pois está relacionada a cobertura e uso do solo, mas factível de dimensionamento, visibilidade e análise distribuída na sub-bacia.

Primeiramente é importante recordar que a equação 2, que foi utilizada para gerar a precipitação efetiva, apresenta abstração inicial de 20% (0,2), ou seja, só acontece precipitação efetiva e escoamento superficial em ambientes em que a capacidade de infiltração ultrapasse a precipitação considerada. Assim, ao analisar a Figura 17, constata-se que nas áreas de vegetação densa (parques urbanos) e vegetações remanescentes são os ambientes em que não há precipitação efetiva, ou seja, não existe contribuição para o escoamento superficial, pois contribuiriam 100% para a infiltração.

Figura 16: Precipitação efetiva para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.



Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Nessa acepção, considerando os valores apresentados no Tabela 2 e a Figura 16, tem-se que a precipitação considerada para cada década estudada corresponde igualmente ao valor máximo de precipitação efetiva, ou seja, para 1988 foi de 70,79 mm, em 1998 diminuiu para 69,48 mm, na década seguinte, em 2008 a precipitação considerada e precipitação efetiva máxima foi de 69,27 e já em 2018 ficou no valor de 69,15 mm para ambas precipitações determinadas. Este fato se dá porque nos espelhos d'água superficiais (canais fluviais) localizadas na sub-bacia não há abstração de 20%, pois estes ambientes contribuem totalmente com o fluxo acumulativo durante período de chuvas.

Analisando temporalmente a evolução da precipitação efetiva, percebe-se que a mesma foi diminuindo ao longo do tempo. Verifica-se, portanto, que ao passo que a cobertura e uso na sub-bacia do córrego Botafogo foi alterada, se tornando mais impermeabilizada, proporcionalmente ocorre o mesmo em relação a precipitação efetiva, tendo maior índice de redução de 1988 para 1998, ao passo que, conforme já apresentado, neste mesmo período ocorreu o aumento relativo para áreas edificadas e pavimentadas, e nas próximas décadas as grandezas se mantiveram inversamente proporcionais, com valores/alterações em menor proporção.

Ao analisar espacialmente a Figura 16, percebe-se que em 1988, como há maior porcentagem de áreas de vegetação, gramínea compactada e solo exposto, paralelamente nessas áreas a precipitação efetiva ficou na faixa de 0-11 mm e de 11,1-24 mm, em porções localizadas no meio da sub-bacia à margem esquerda, bem como na cabeceira, ao longo do canal principal e em porção expressiva na margem direita, no Setor Jardim Goiás. Justamente por esse fato, valores de 62,1-70,79 mm ficaram bem distribuídos na bacia, não separando área edificada de área pavimentada, que influencia tanto no escoamento, como na infiltração.

Nas décadas seguintes, ou seja, para os anos de 1998, 2008 e 2018, a precipitação efetiva se transforma de forma distribuída na área estudada, conforme a cobertura e uso na sub-bacia se altera, sendo que os valores quantificados em maiores proporções para a precipitação efetiva fica justamente nas áreas impermeabilizadas, sendo possível distinguir entre estas, pois quando pavimentada, a precipitação efetiva fica entre 24,1-62 mm, e quando edificada fica entre 62,1 mm até valores máximos de precipitação para cada ano (1998: 69,48 mm; 2008: 69,27 mm; e 2018: 69,15 mm). Ressalta-se que o valor final máximo de precipitação efetiva para cada ano corresponde

aos espelhos d'água, conforme já explicado, e que para áreas pavimentadas ficam próximos destes, porém com abstração de 0,2.

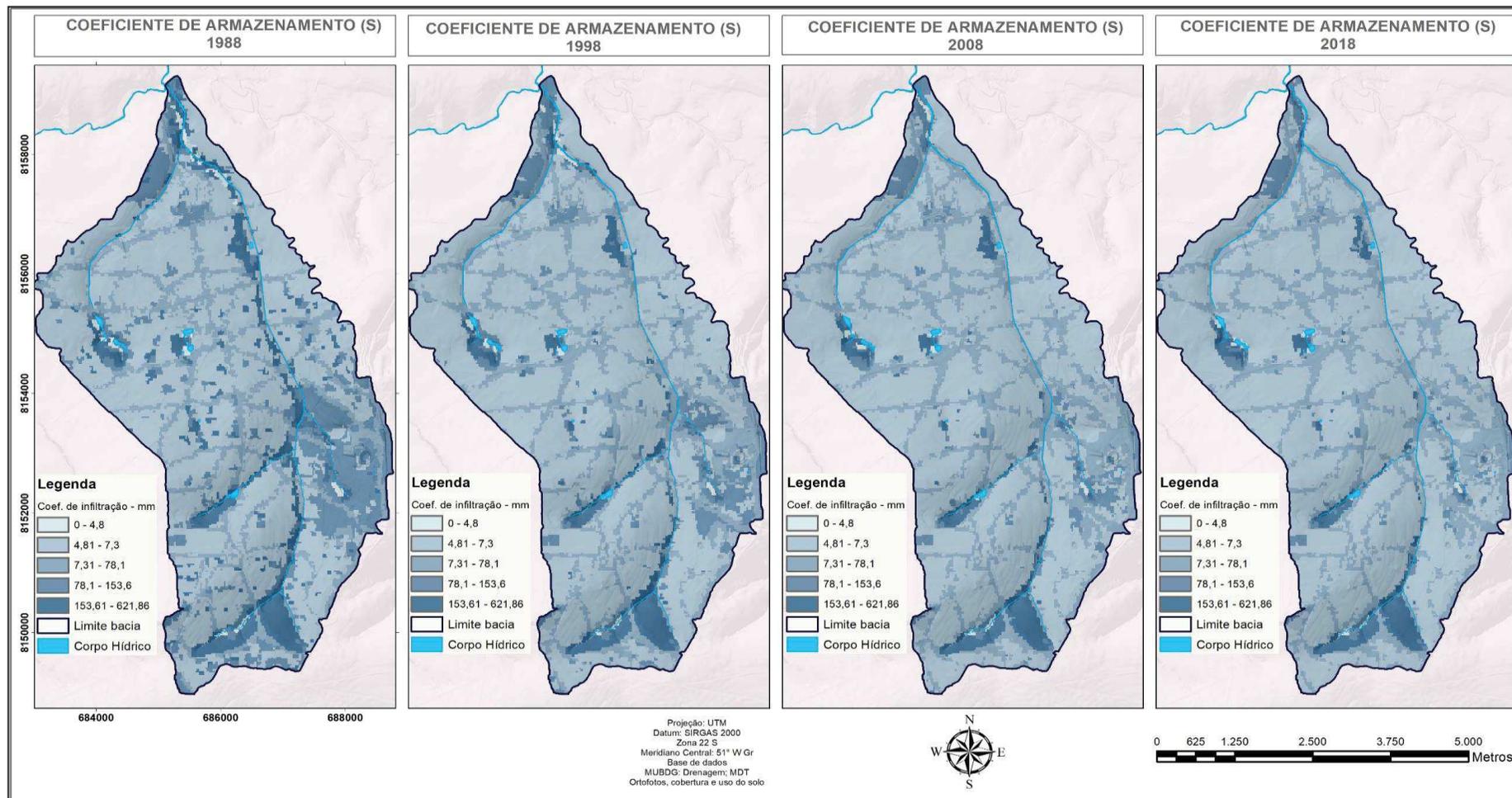
#### 4.2.4 Coeficiente de infiltração e coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de infiltração (S), também conhecido como coeficiente de armazenamento, expressa a capacidade de retenção da precipitação efetiva no solo, ou seja, de acordo com Liang, Cao e Wu (2018) a retenção de água, a permeabilidade instaurada e as características de infiltração dependem da análise das características solo+água (cobertura e uso + precipitação).

Para melhor demonstrar, na Figura 17 é possível verificar a determinação do coeficiente S na sub-bacia do córrego Botafogo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018. Para que a infiltração ocorra é necessário que haja precipitação efetiva, o chamado *input*. Quando a precipitação encontra o solo vai ocorrer a percolação ou o escoamento superficial, dependendo da cobertura naquele local específico. Então, percebe-se, por meio da Figura 17, que o coeficiente S é muito semelhante, visualmente, com o mapeamento de cobertura e uso do solo. Onde há vegetação, a capacidade de infiltração é maior, ou seja, retém até 621,86 mm de água precipitada. Ressalta-se que a capacidade de armazenamento permanece constante ao longo das décadas estudadas, ou seja, os valores permanecem os mesmos. O que altera é apenas a distribuição espacial, com diminuição de remanescentes de áreas verdes, que possuem maior capacidade de percolação, e aumenta as áreas edificadas e pavimentadas, nestas com coeficiente S de 0-4,8 mm e de 4,81-7,3 mm, respectivamente.

Vale destacar que as margens ao longo do córrego Botafogo tiveram suas Áreas de Preservação Permanente - APP suprimidas, cedendo espaço para construção da Marginal Botafogo, como inclusive já explicado. O fato é que APP é legalmente estabelecida como a faixa de proteção deveria ser de 50 m, a partir da calha do leito regular do curso d'água nas respectivas margens, conforme o Plano Diretor Municipal (GOIÂNIA, 2007). Porém, quando este Plano foi estabelecido, já havia acontecido a supressão da vegetação. Sem APP (vegetação) e com área impermeabilizada, estes fatores afetam diretamente na diminuição de infiltração e aumento do escoamento superficial ao longo do canal principal.

Figura 17: Coeficiente de infiltração (S) para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.



Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Diante do exposto, Gorniack (2014) explica:

Em condições naturais a bacia, normalmente, possui o coeficiente de rugosidade mais alto e o canal mais sinuoso. Tendo sua capacidade de armazenamento elevada, a bacia natural deixa o fluxo mais lento. Assim, a dinâmica da água torna-se mais lenta no ciclo hidrológico. Com o intuito de “resolver” problemas causados pelo excesso da água pluvial na área urbana, a drenagem clássica e usual, que faz parte da urbanização, tem reduzido a rugosidade e a sinuosidade dos canais e, conseqüentemente, aumentando a velocidade do fluxo. [...] ...a bacia não é apenas uma rede drenagem, mas sim uma rede de armazenamento que é formada pelas encostas mais a rede fluvial (rios). A relação da bacia com o solo é através do sistema de infiltração e armazenamento de água da chuva. Quaisquer atividades devem manter a capacidade de armazenamento de água da chuva em bacias e solos (GORNIAK, 2014, p. 36).

Portanto, evidencia-se que as alterações na bacia afetam a capacidade de infiltração, bem como de escoamento e armazenamento hídrico.

Carvalho (2014) define que o coeficiente de escoamento superficial (CES) é um parâmetro adimensional e representa a relação entre o volume que escoou sobre a superfície do terreno e o volume precipitado.

Na Tabela 3, é apresentada a relação entre as principais classes de cobertura e uso do solo consideradas e mapeadas, resultando em valores de coeficientes de infiltração, precipitação efetiva e coeficientes de escoamento superficial, a partir do CN tabelado.

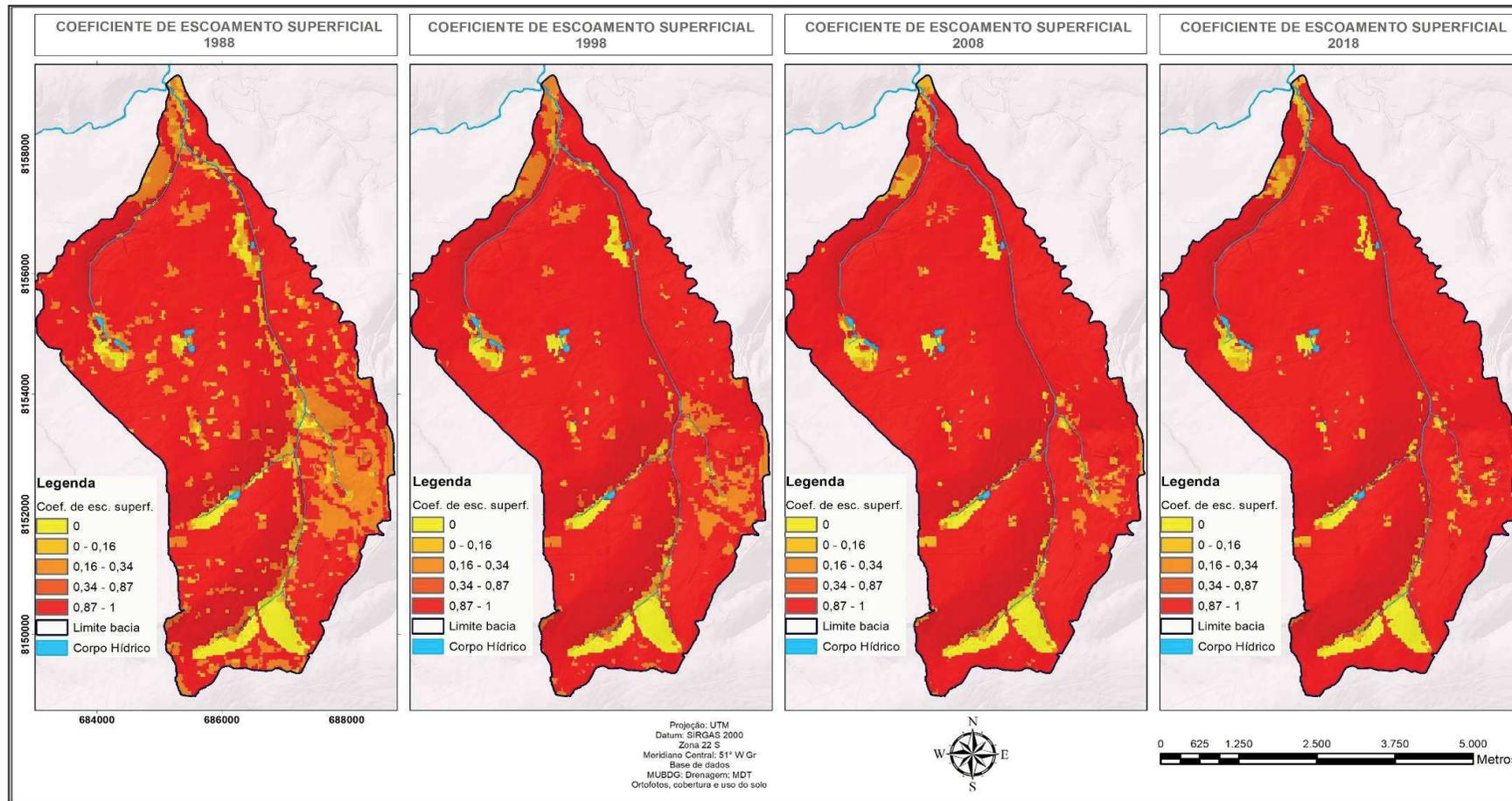
Tabela 3: Classes de uso e ocupação do solo e respectivos coeficiente de infiltração (S), precipitação efetiva e coeficientes de escoamento superficial (CES).

Condição do Terreno	CN	S - mm	Precipit. Efetiva - mm	CES
Área Edificada	98	4,8	70,79 - 69,15*	1
Superfície Pavimentada	97	7,3	62	1
Solo Exposto	76	78,1	24	0,87
Gramínea Compactada	66	153,6	24	0,34
Árvores Isoladas	62	153,6	11	0,16
Mata de Galeria	29	621,86	0	0

Fonte: Elaborado a partir dados de CN por Tucci e Marques (2001) *apud* Nunes e Borba (2018). Adaptado conforme valores equações 2, 3 e 4 pela autora, 2019. \* Figura 16.

A partir no CN foi possível estabelecer o coeficiente de escoamento superficial (CES) que é apresentado na Figura 18.

Figura 18: Coeficiente de escoamento superficial (CES) para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.



Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Conforme apresentado pela Tabela 3, é importante ressaltar-se que os valores de precipitação efetiva e coeficientes de escoamento superficial dependem das condições de cobertura e uso, da precipitação considerada em face dos coeficientes de armazenamento, de forma que quanto mais duradoura e intensa for a chuva, maior será a precipitação efetiva, bem como os coeficientes de escoamento superficial (NUNES e BORBA, 2018).

Analisando a Figura 18, percebe-se claramente a relação estabelecida entre a precipitação efetiva com o escoamento superficial. Observa-se que justamente nos ambientes em que CES é 0, nas áreas de vegetação densa, não houve precipitação efetiva, bem como não acontece escoamento superficial, pois nestas áreas há infiltração no solo. Conseqüentemente, nos espelhos d'água (lagos e canais fluviais) é que ocorre o valor máximo de CES, ficando com 1, bem como nas mesmas áreas em a precipitação efetiva máxima ocorre, fatores estes que influenciam nas estimativas de vazão, conforme apresentado posteriormente.

Basicamente a maior alteração se dá, como esperado, da década de 1988 para 1998, com a diminuição de áreas verdes que cederam espaço à áreas pavimentadas e edificadas. De 1998 para 2008 as alterações no CES ocorrem em menor porcentagem, sendo visível essa diminuição de áreas verdes e solo exposto para aumento de áreas pavimentadas e edificadas, principalmente localizadas no meio da sub-bacia, na cabeceira e na porção direita, onde se insere o Jardim Goiás, que conforme já comentado, passou por valorização dos terrenos vazios e forte adensamento nos últimos anos. Em 2018 a sub-bacia se apresenta praticamente sem espaços vazios, com isso, fortemente impermeabilizada, sendo perceptível os extremos predominantes para valores de CES, com 0 nos remanescentes de vegetação, pequenas faixas de coeficiente de escoamento superficial variando de 0,16-0,34 nas porções de gramíneas compactadas e maior parte da sub-bacia, quase que sua totalidade, com CES entre 0,87 à 1, conseqüência do forte grau de impermeabilização.

#### 4.2.5 Estimativa de vazão

Tucci (1997) apresenta como deve se comportar o modelo hidrológico para realização do cálculo de estimativas de vazão:

Os modelos matemáticos que determinam a vazão máxima com base na precipitação, já que dificilmente existem dados hidrológicos monitorados ao longo do tempo que permitam determinar, para diferentes tempos de retorno,

a diferença entre os cenários de pré-desenvolvimento e depois de urbanizada, principalmente em bacias urbanas brasileiras. O cálculo é realizado com base no risco (tempo de retorno) da precipitação, o que não é necessariamente o mesmo risco da vazão. No entanto, as técnicas de determinação da distribuição da precipitação e definição dos parâmetros buscam maximizar as condições críticas das cheias, buscando compensar parte dessas incertezas. Para utilizar os modelos hidrológicos é necessário a estimativa das áreas impermeáveis e da rede de drenagem da bacia para o cenário de futura urbanização e dos parâmetros dos modelos com base em dados das bacias. (TUCCI, 2005, p. 27).

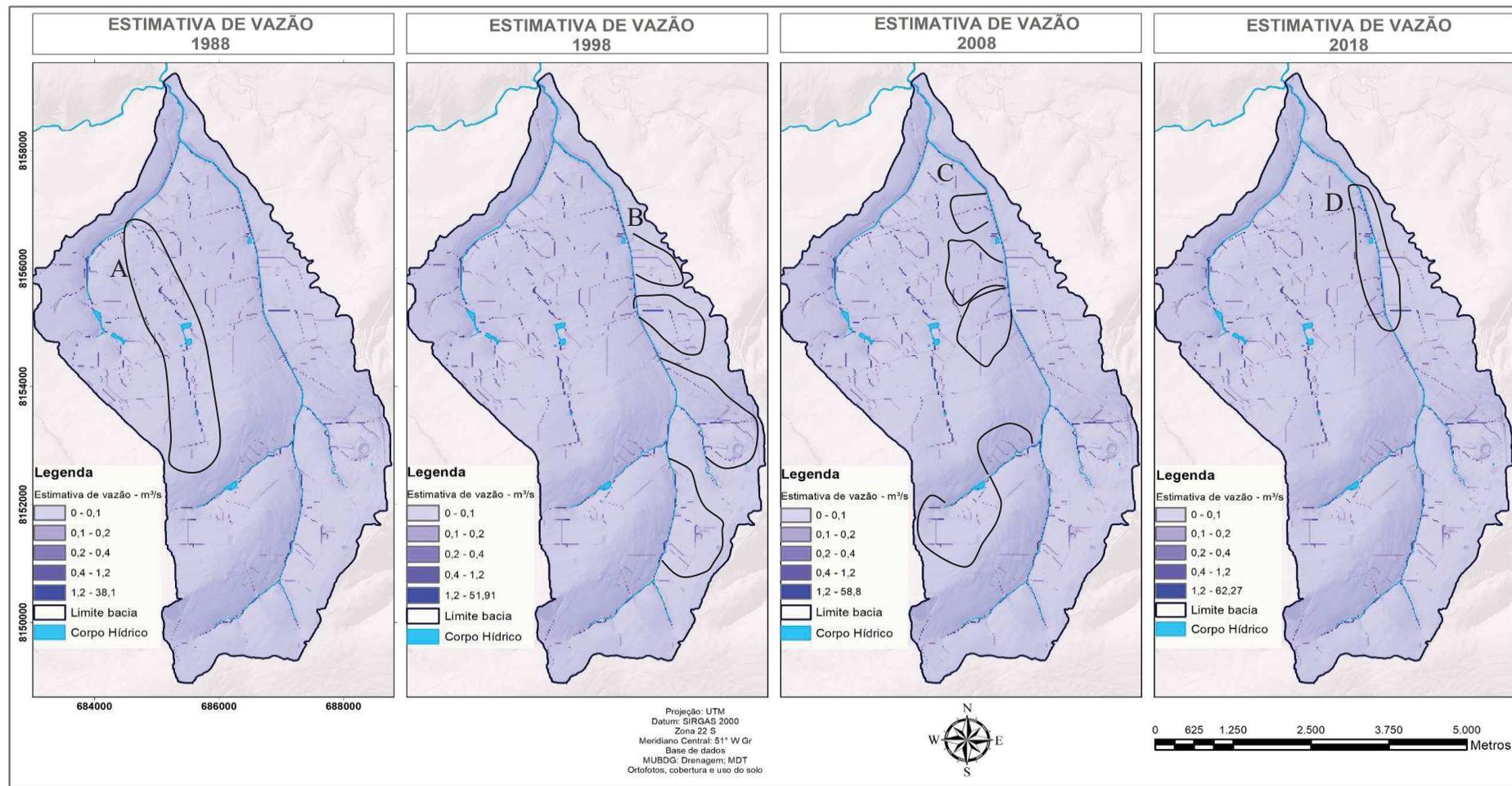
Para determinar a estimativa de vazão máxima na sub-bacia, conforme equação 1, sendo esta a clássica do método racional, precisa-se dos valores de escoamento superficial, multiplicado pela intensidade de chuva (IMMP) e multiplicado pela área total, sendo divididos por 3,6 para converter de unidades, conforme já apresentado no capítulo 3. Os resultados são apresentados na Figura 19.

Analisando a Figura 19, observa-se que as maiores vazões acontecem nos canais, isso é esperado, pois é o fluxo natural do sistema hidrográfico, no qual as vertentes direcionam aos corpos hídricos.

Em relação as estimativas de vazão máxima, percebe-se que em 1988 a vazão era de 38,1 m<sup>3</sup>/s, mas que ao passo que a sub-bacia se transforma, aumentando área edificada e pavimentada (impermeabilizações), interfere na diminuição de infiltração e aumento do escoamento superficial, conforme já demonstrado, com isso, já no ano de 1998 a vazão máxima para chega a 51,91 m<sup>3</sup>/s. É, como esperado, o maior aumento relativo, sendo que em 2008 a vazão fica em 58,8 m<sup>3</sup>/s e em 2018 atinge 62,27 m<sup>3</sup>/s. Fica evidente como a impermeabilização na sub-bacia influencia diretamente no aumento da estimativa de vazão que contribuem com o efeito acumulativo ao longo do canal principal, inclusive, ao proporcionar e intensificar as linhas de convergência de fluxo.

Na porção oeste-central da sub-bacia possui diversas linhas de fluxo, porém, como a topografia do terreno nesta faixa se apresenta plana em faixa larga, acontece que ocorre consequentemente enxurradas e alagamentos nas ruas e há pouca contribuição com o canal, que desse lado é o córrego Capim Puba, afluente direto do córrego Botafogo, que por sinal ainda possui faixa de APP conservada, o que também contribui para menor convergência de fluxo ao longo deste canal em questão.

Figura 19: Estimativa de vazões máximas para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia, GO.



Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Inclusive, ainda analisando a porção oeste-central da sub-bacia, conforme destaque A na Figura 19, identificou-se a existência de um provável canal de drenagem que acredita-se ter sido canalizado durante o processo de ocupação e formação do solo urbano de Goiânia nas décadas passadas. O mesmo começa a verter no Setor Marista, passando justamente por pontos que apresentam histórico de enxurradas ou alagamentos, que são ruas próximas ao Bosque dos Buritis, Clube de Engenharia, Clube dos Oficiais. A construção da Avenida Cora Coralina, bem como alterações que a prefeitura possa ter realizado para direcionar podem ter mudado o fluxo de água nesta região. Porém, já se esclarece que este ponto levantado não contribui com efeito acumulativo no canal principal, o córrego Botafogo, que é o foco de estudo neste trabalho. Foram apenas observações constatadas.

Retornando a discussão sobre o efeito acumulativo no canal principal, analisando a Figura 19, é possível identificar as principais linhas de fluxo que contribuem para este fator levantado ao longo do córrego Botafogo. As principais linhas (em destaque B na Figura 20) são provenientes em maior proporção pela margem direita, fator relacionado pela topografia, declividade e cobertura e uso, sendo pontos de contribuição: área pavimentada dos estacionamento shopping Flamboyant + hipermercados, estacionamento Estádio Serra Dourada, Avenida Universitária + Praça Universitária e Avenida Anhanguera. À margem esquerda, as principais linhas de fluxo que contribuem (em destaque C na Figura 20) são advindas da impermeabilização ao longo do córrego Areião (Setor Marista + Setor Sul), Avenida 10 (Praça Cívica – Centro), Avenida Anhanguera e Avenida Independência.

Percebe-se que a convergência de fluxo está diretamente associada ao tipo de cobertura e uso do solo bem como ao arranjo das ruas, que direcionam ao canal principal todo escoamento superficial. Nesse sentido, destaca-se o mal dimensionamento das estruturas de drenagem urbana inseridas nestas avenidas/ruas, bem como demonstra que o Plano para Controle de Águas Pluviais e de Drenagem Urbana (Lei Municipal nº 9511/2014) é falho por não levantar estes fatores e não determina medidas pontuais de intervenção, como no dimensionamento de estruturas de micro e/ou macrodrenagem, bem como inserção de barragens/bacias de contenção em locais pontuais, de forma a melhorar a drenagem urbana em Goiânia.

Como consequência desta convergência de fluxo e estruturas de drenagem mal dimensionadas para suportar a vazão, associada às características físicas do terreno (topografia, declividade e comprimento de fluxo), tem-se a faixa crítica ao longo do

córrego Botafogo mais propensa a alagamentos (destaque D – Figura 20), que começa na Avenida 10 e vai até a Avenida Independência. É justamente nesse ponto em que a topografia, conforme já apresentado pela Figura 7, forma o efeito gradiente, tornando esta área propícia ao acúmulo de água superficial, visto que o escoamento superficial a jusante chega mais rápido (altitudes mais elevadas com menor largura – declividade acentuada) e começa a faixa de altitudes planas, se retraindo ao longo do canal, isso faz com que a vazão (escoamento) perca velocidade e associado à convergência de fluxo, se torna área onde de fato ocorre historicamente os episódios de alagamento ao longo da Marginal Botafogo, bem como o transbordamento do córrego, causando transtornos à população.

### **4.3 Avaliação das diretrizes propostas para atenuação dos efeitos do adensamento urbano**

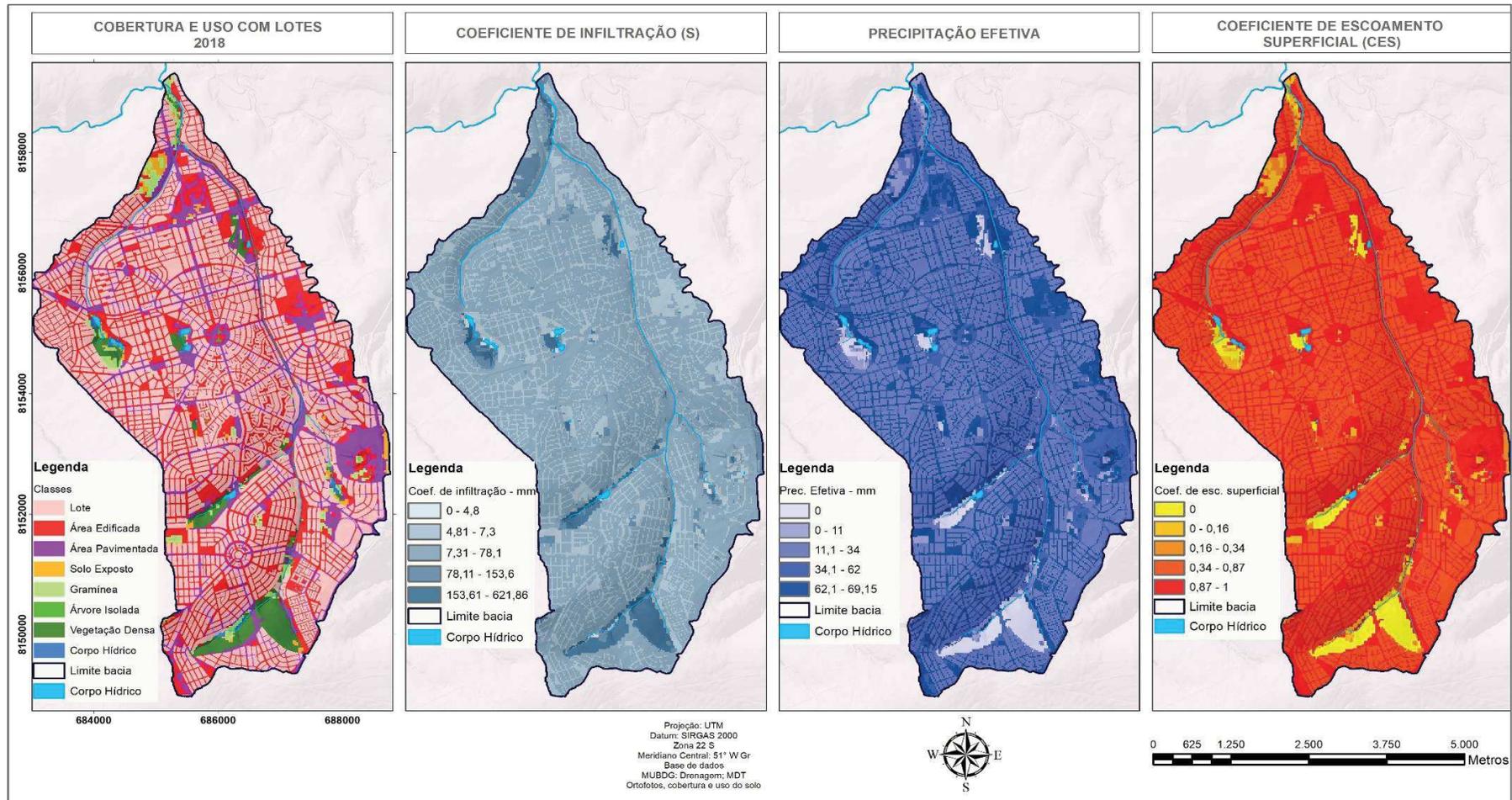
Visando atenuar tais impactos apresentados no efeito acumulativo que causam alagamentos no canal principal da sub-bacia do córrego Botafogo, realizou-se a aplicação de dois cenários propostos metodologicamente e apresenta-se os resultados e discussão dos mesmos, de forma a demonstrar se são medidas viáveis ou não.

#### **4.3.1 Cenário 1: lotes na sub-bacia com 15% de área permeável**

O cenário 1 trata-se da implementação do Plano para Controle de Águas Pluviais e de Drenagem Urbana (Lei Municipal de Goiânia nº 9511/2014) que estabelece área mínima permeável dentro de cada lote. Para tanto, realizou-se teste considerando 15% do terreno de cada lote que se encontra na sub-bacia do córrego Botafogo destinando à infiltração de água (área permeável). Considerou-se as condições de cobertura e uso do solo no ano de 2018 (realidade) para gerar o cenário em questão. Figura 21.

Analisando a Figura 20 é possível verificar com exatidão a estrutura (divisão) da sub-bacia com a inserção dos lotes. Em relação a cobertura e uso do solo, a classificação de área segue o padrão estabelecido na estrutura deste trabalho, com área edificada, pavimentada, solo exposto, gramínea compactada, árvore isolada e vegetação densa, assim como a quantidade de cada classe continua com mesma porcentagem para o ano de 2018. O que altera é apenas a inserção da divisão dos lotes na área edificada.

Figura 20: Cobertura e uso, coeficiente de infiltração, precipitação efetiva e coeficiente de escoamento superficial para cenário com 15% de área permeável por lote na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia – GO.



Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Sendo que CN para área edificada é de 98, neste caso subtraindo 15% de área permeável por lote, em toda a bacia, o novo CN calculado é 83.3 no lote de área impermeável. A partir do valor de CN calculado, aplicou-se todas as equações do método racional, em sequência já determinada anteriormente.

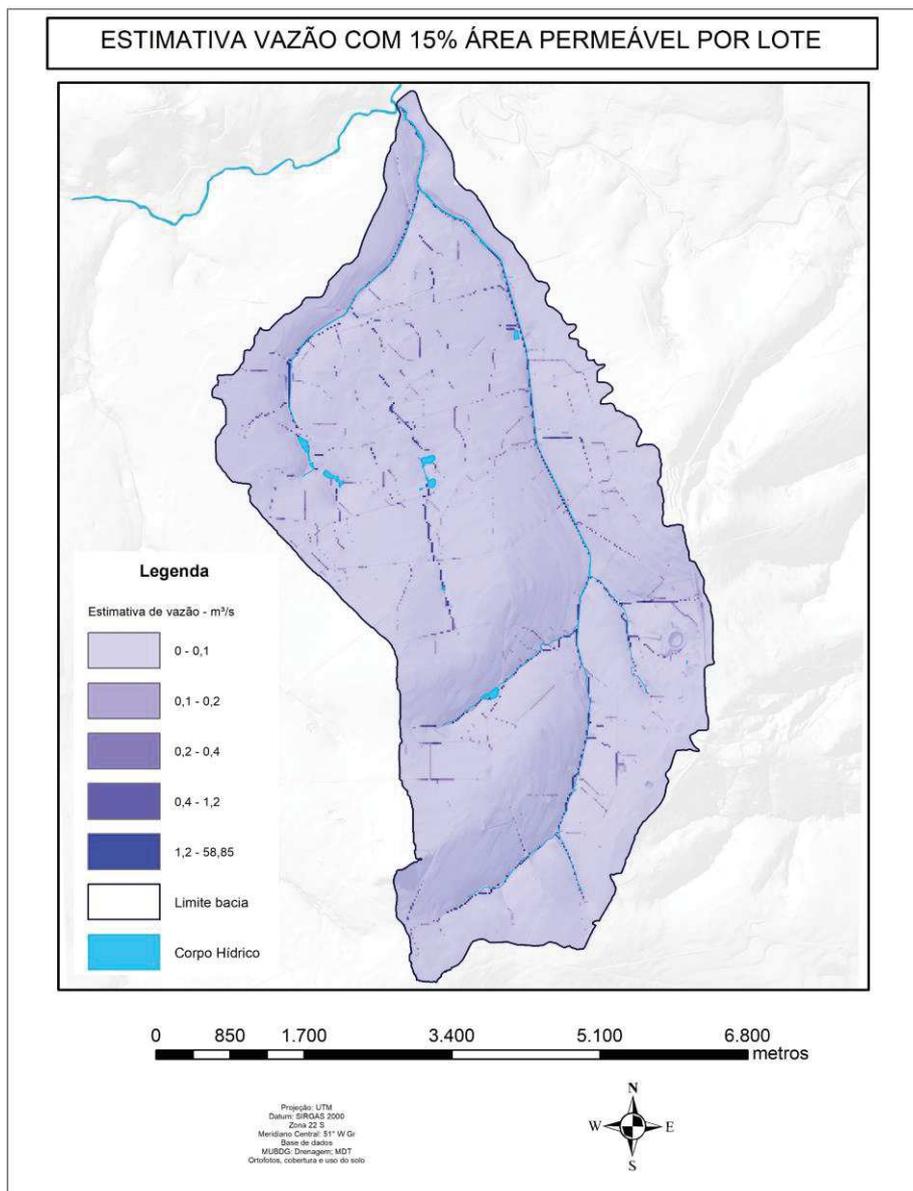
Em relação às alterações no sistema hidrológico, o modelo adotado subtraiu 15% de área permeável em cada lote. Analisando na Figura 20, o coeficiente de infiltração, verifica-se que as áreas verdes continuam proporcionando maior taxa de infiltração, e que diferente do valores definidos de forma geral, como feito anteriormente, com a inserção dos lotes, o coeficiente de infiltração com menor contribuição (0-4,8 mm) fica exclusivamente onde área com terreno é totalmente edificada e/ou pavimentada (impermeabilizada), com os lotes passando a contribuir na infiltração (4,81-7,3 mm).

A precipitação efetiva também segue basicamente o que ocorreu com o coeficiente de infiltração, visivelmente há melhor distribuição com os lotes, permanecendo 0 mm nas áreas verdes, pois onde ocorre maior contribuição com a infiltração, e nas áreas edificadas e pavimentadas, onde os valores de precipitação efetiva (coluna d'água) permanecem maiores (62,1-69,15 mm), sendo que com os lotes com porcentagem para permeabilização há uma parte da área que fica com precipitação efetiva intermediária (11,1-34,00 mm).

O coeficiente de escoamento superficial é inversamente proporcional ao coeficiente de infiltração, então, permanecendo nesta lógica, percebe-se que não ocorre escoamento nas áreas verdes, onde infiltração é elevada, e maior contribuição ao escoamento superficial acontece nas áreas impermeáveis (edificadas e pavimentadas), sendo que com a subtração com 15% de cada lote com faixa permeável, esta classe fica com escoamento intermediário (0,34-0,87).

A partir de todas as variáveis determinadas, que influenciam na dinâmica hidrológica da bacia, foi possível determinar a estimativa de vazão, considerando este cenário de 15% de área permeável por lote, e como este cenário pode influenciar com as principais linhas de fluxo que contribuem para o canal principal. Figura 21.

Figura 21: Estimativa de vazão para cenário com 15% de área permeável por lote na sub-bacia do córrego Botafogo, Goiânia – GO.



Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Analisando a Figura 21 percebe-se que as linhas de fluxo que convergem para o canal do córrego Botafogo continuam localizadas nos mesmos locais já levantados neste trabalho, visto que o cenário considerou a cobertura e uso do solo real, havendo apenas a modelagem que subtrai 15% de área permeável por lote, para verificar a provável redução na vazão que esta medida pode ocasionar.

Constata-se que este cenário não reduziria a vazão, sendo que o real é 62,27 m<sup>3</sup>/s, para o atual tipo de cobertura e uso na sub-bacia, conforme apresentado e discutido na Figura 20. Com o cenário de 15% de área permeável por lote, para mesma

cobertura e uso, considerando ano de 2018, a redução é praticamente insignificante, visto que a estimativa de vazão ficaria em 58,85 m<sup>3</sup>/s, conforme Figura 21.

Tais resultados, considerando intensidade média máxima de precipitação de 69,15 mm (2018), apresentando a vazão real de contribuição da sub-bacia de 62,27 m<sup>3</sup>/s, para 2018, quanto a vazão de 58,85 m<sup>3</sup>/s no cenário com 15% de área permeável por lote, são vazões muito acima da suportada pelo canal do córrego Botafogo, que é de 26,51 m<sup>3</sup>/s, conforme determinada pelos cálculos realizados considerando a fórmula de Manning (Equação 9).

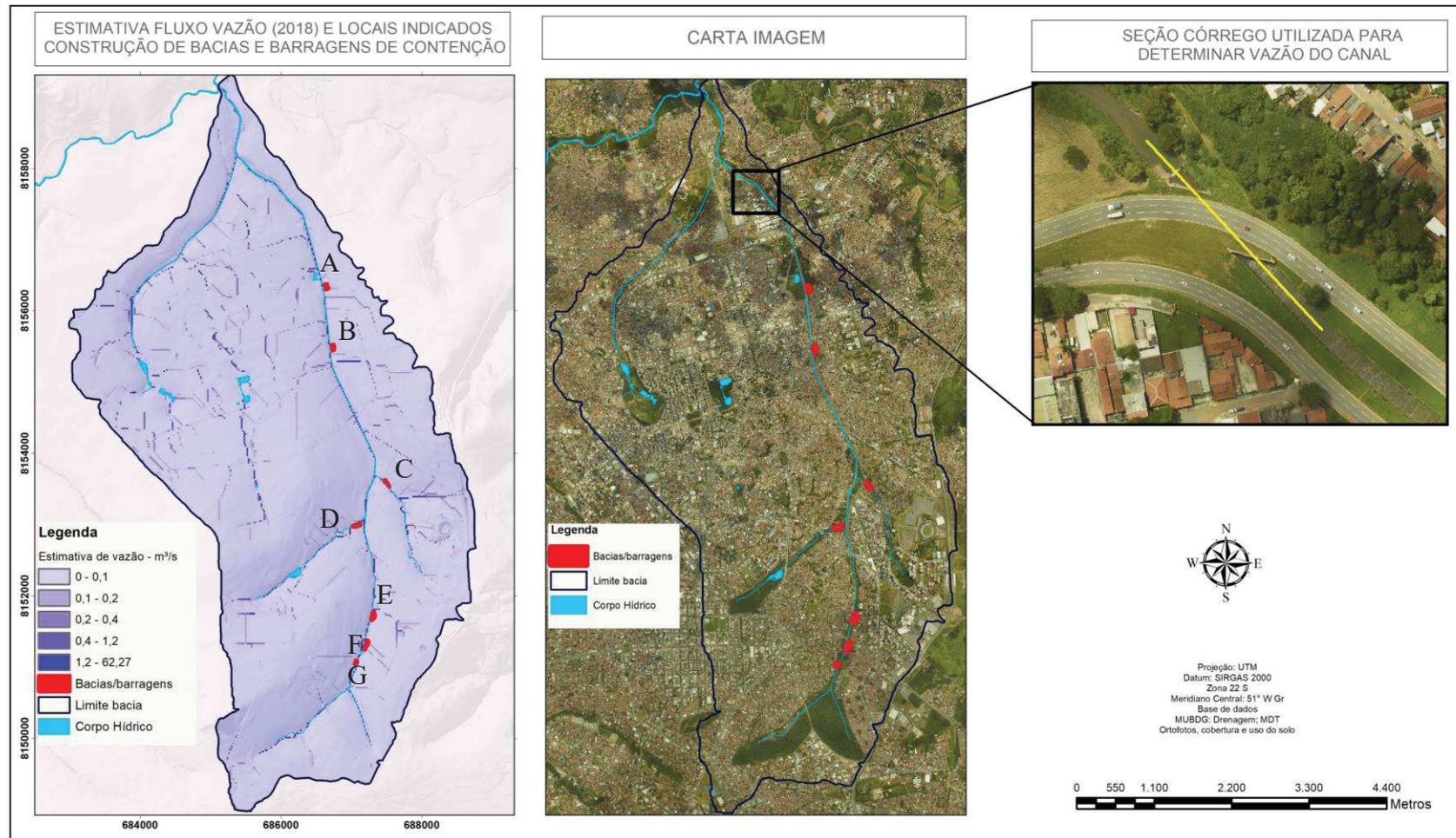
Ressalta-se que como a sub-bacia já encontrava-se urbanizada quando foi estabelecido o Plano para Controle de Águas Pluviais e de Drenagem Urbana em 2014, portanto, não houve medidas para readequação dos lotes de modo a garantir esta área mínima permeável. De qualquer forma, com a simulação deste cenário apresentado, evidencia-se que 15% de área permeável por lote é insuficiente para reduzir substancialmente a vazão que causa efeito acumulativo no canal do córrego Botafogo, visto que a vazão suportada pelo canal é de 26,51 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.3.2 Cenário 2: Sugestão de locais para construção de bacias e barragens de contenção nas principais linhas de fluxo

O Cenário 2 trata-se de sugestões para a construção de bacias ou barragens de retenção/contenção de fluxo hídrico superficial ou subsuperficial. Para tanto, avalia-se as condições do terreno, considerando a cobertura e uso do ano de 2018, mediante a definição das principais linhas de fluxo mais contribuem para o efeito acumulativo no canal do córrego Botafogo e assim determinar os locais mais apropriados à construção de estruturas destinadas à captação de água e aumento do tempo de concentração do escoamento superficial ao longo do fluxo hídrico. Figura 22.

É importante destacar que bacias de retenção são estruturas que devem ser construídas onde há superfície disponível, já as barragens são construídas como se fossem lagos ao longo dos canais, para casos em que não há superfícies (terrenos) disponíveis. Estas estruturas devem ser construídas nos locais onde se encontram as principais linhas de fluxo, que possam diminuir a vazão de contribuição ao canal em picos de chuva e que causam assim alagamentos e/ou transbordamentos. Ressalta-se que não foi considerado aspectos legais sobre a propriedade dos terrenos aqui apresentados para receber estas estruturas de drenagem urbana.

Figura 22: Estimativa de vazão e principais linhas de fluxo que convergem para o córrego Botafogo e locais indicados à construção de bacias ou barragens de contenção na sub-bacia estudada. (Ano: 2018).



Fonte cartográfica: SEMDUS/MUBDG/SECTEC. Elaboração cartográfica pela autora, 2019.

Analisando a Figura 22, observa-se que em algumas linhas de fluxo que contribuem para o efeito acumulativo no canal, não foi indicado a construção de bacias ou barragens de contenção justamente por não encontrar espaço vazio para construção de tais estruturas, considerando análise visual por meio da ortofoto.

Evidentemente, conforme já apresentado por meio da Figura 19, identifica-se também na Figura 22 as principais linhas de fluxo que convergem ao longo do córrego Botafogo, considerando o ano de 2018. As principais linhas são provenientes em maior proporção pela margem direita, sendo pontos de contribuição: área pavimentada dos estacionamentos shopping Flamboyant + hipermercados, estacionamento Estádio Serra Dourada, Avenida Universitária + Praça Universitária e Avenida Anhanguera. À margem esquerda, as principais linhas de fluxo que são advindas da impermeabilização ao longo do córrego Areião (Setor Marista + Setor Sul), Avenida 10 (Praça Cívica – Centro), Avenida Anhanguera e Avenida Independência.

Assim, os locais indicados à construção de bacias de contenção são localizados entre a Marginal Botafogo e a Avenida Anhanguera (Figura 22 – A), próximo à Avenida Universitária e Marginal Botafogo (Figura 22 – B) e em dois locais rentes ao canal principal à margem direita onde recebem contribuições do shopping Flamboyant + hipermercados (Figura 22 – E; F). As barragens são indicadas no próprio canal do córrego Botafogo, próximos a nascente, onde a declividade contribui com maior velocidade do escoamento superficial ((Figura 22 – G), à margem esquerda no córrego Areião (Figura 22 – D) e na margem direita no córrego Sumidouro (Figura 22 – C). Ressalta-se que tais estruturas devem funcionar conforme dispositivos seguros, sendo que no início da chuva o fluxo não deva ser interceptado, tendo em vista que no início de precipitação nem todo o fluxo converge para o canal principal, portanto é necessário deixar o fluxo fluir. Isto se dá pelo fato de que estas estruturas deverão ser acionadas para diminuir a vazão de contribuição antes de chegar ao córrego Botafogo, ou seja, funcionarão efetivamente a partir dos 60 minutos (1 h) de chuva, considerando IMMP e precipitação efetiva para ano de 2018, pois é nesse tempo de concentração que o canal atinge a vazão máxima suportada de 26,51 m<sup>3</sup>/s, conforme determinado pela utilizando-se a Fórmula de Manning.

#### 4.3.3 Ações necessárias para melhorias dos instrumentos de planejamento urbano em face ao controle de águas pluviais e drenagem urbana

Evidencia-se que mesmo a partir da existência de uma base legal, como é o caso do Plano Diretor, Leis de Uso e Ocupação do Solo, PDDU, entre outros instrumentos para ordenamento territorial, que visam promover o desenvolvimento local, tomando como critério organizativo o território e suas territorialidades, é possível verificar em Goiânia, principalmente considerando a sub-bacia do córrego Botafogo, que os processos de transformação do espaço urbano se deu, historicamente, de forma desordenada, especialmente quando envolve áreas ao entorno de mananciais hídricos.

Observa-se que o item primordial e urgente é a reestruturação do sistema de drenagem urbana na sub-bacia do córrego Botafogo e com implementação de outras medidas que possam minimizar a vazão em determinados picos de chuva que causam os episódios repetidos de alagamento e transbordamento do córrego Botafogo, bem como afeta a estrutura da Marginal Botafogo. Fato é que o corpo hídrico não está conseguindo suportar mais a pressão ocasionada pela antropização.

Primeiramente, destaca-se que o ideal seria que houvesse maior cobertura de vegetação na sub-bacia, visto que possibilitaria maior taxa de infiltração e diminuiria o escoamento superficial gerado nas áreas pavimentadas e intensamente impermeabilizadas. Porém, fato é que a área encontra-se praticamente antropizada integralmente e não há a aplicação do Plano Diretor ao longo do córrego Botafogo que determina faixa APP de 50 m, a partir da calha do leito regular do curso d'água nas respectivas margens (GOIÂNIA, 2007). Isso demonstra que o plano não está condizente com a realidade prática, visto que o próprio poder público ao decorrer do tempo levou a supressão da APP do córrego Botafogo. Faz-se necessário fiscalização e aplicação destas medidas nas demais áreas do município.

O Plano Diretor de Goiânia (2007) apresenta o Programa de Drenagem Urbana, porém, se mantém exclusivamente na definição de termos, sem apresentar soluções pontuais e práticas, bem como é o caso do Plano para Controle de Águas Pluviais e de Drenagem Urbana (2014). Este programa deve ser atualizado e incluído no novo Plano Diretor, de forma a determinar quais pontos de alagamentos, inundações, enxurradas, transbordamentos e áreas de risco encontram-se em Goiânia, realizar estudos considerando as sub-bacias como unidades de análise e intervenção, prever e planejar medidas atenuantes de acordo com cada área, reestruturar as unidades de micro e

macrodrenagem, determinar área mínima permeável maior para os novos loteamentos, dentre outras medidas aplicáveis.

Nesse sentido, Tucci (2008), explica o que falta nesta gestão da drenagem em bacias urbanas:

Existe uma visão limitada do que é a gestão integrada do solo urbano e da sua infraestrutura, e grande parte dos problemas destacados aqui foi gerada por um ou mais dos aspectos mencionados a seguir: i) Falta de conhecimento: da população e dos profissionais de diferentes áreas que não possuem informações adequadas sobre os problemas e suas causas. As decisões resultam em custos altos, e algumas empresas se apoiam para aumentar seus lucros; ii) Concepção inadequada dos profissionais de engenharia para o planejamento e controle dos sistemas: uma parcela importante dos engenheiros que atuam no meio urbano está desatualizada quanto à visão ambiental e geralmente busca soluções estruturais que alteram o ambiente, com excesso de áreas impermeáveis e consequente aumento de temperatura, inundações, poluição, entre outros; iii) Visão setorializada do planejamento urbano: o planejamento e o desenvolvimento das áreas urbanas são realizados sem incorporar aspectos relacionados com os diferentes componentes da infraestrutura de água. Uma parte importante dos profissionais que atuam nessa área possui uma visão setorial limitada; iv) Falta de capacidade gerencial: os municípios não possuem estrutura para o planejamento e gerenciamento adequado dos diferentes aspectos da água no meio urbano. (TUCCI, 2008, p. 98).

Ressalta-se a importância de analisar a sub-bacia como um sistema em total conexão, por isso, não se propõe realizar intervenções na área onde ocorre o histórico de alagamentos, mas sim prevenir que estes episódios aconteçam. Para isso, faz-se necessário a aplicação de medidas atenuantes de forma a evitar ou diminuir a vazão de contribuição a montante, nas linhas de fluxo que convergem para ocasionar estes episódios de alagamentos no canal do córrego Botafogo, seja por meio da construção de bacias de contenção ou redirecionamento do fluxo de água pluvial, ou outras possibilidades que a engenharia atual permita. Ressalta-se que seria necessário estudo detalhado por parte do poder público e órgãos competentes para viabilidade e construção de estruturas como barragens/bacias de contenção, bem como a formalização dos terrenos (espaços) destinados a receber as mesmas.

O PD de Goiânia está em fase de atualização. É importante que o poder público municipal apresente um Programa de Drenagem Urbana aplicável, atualize o Plano para Controle de Águas Pluviais e de Drenagem Urbana. É necessária revisão total destes instrumentos, de forma a abranger de fato medidas e delineamentos pontuais para melhorias nas estruturas de micro e macrodrenagem em Goiânia, principalmente na sub-bacia do córrego Botafogo. Estes instrumentos devem ser mais que simples diagnóstico

da realidade e apresentar quais medidas serão adotadas e onde, ou seja, se tornarem práticos e aplicáveis, a exemplo de definições com medidas estruturais e não-estruturais que deverão compor o sistema de drenagem urbana. Quadro 2.

Quadro 2: Proposição de medidas estruturais e não-estruturais a serem incluídas no Programa de Drenagem Urbana de Goiânia, GO.

<b>MEDIDAS ESTRUTURAIS</b>	<b>MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS</b>
Construção de bacias/barragens de retenção, detenção e amortecimento nas linhas de fluxo.	Controle do uso do solo fora das áreas de riscos.
Bacias de sedimentação, retenção de detritos e lixo.	Securitização da área de risco de alagamentos, enxurradas e transbordamentos.
Detenção em lotes, quadras, empreendimentos, jardins de chuva, telhado verde, armazenamento água chuva, readequação calçadas permeáveis.	Estímulos fiscais aos cidadãos que implantarem alternativas para diminuir a vazão de contribuição de seu terreno.
Redimensionamento das estruturas do sistema de drenagem e manutenção periódica dos mesmos.	Sistema de Previsão, antecipação e alerta e Programa de ação emergencial.
Reflorestamento e ampliação de áreas verdes.	Educação Ambiental.

Fonte: Martins (2012), adaptado pela autora (2019).

É relevante também a adoção de políticas públicas, garantindo, por exemplo, desconto em impostos territoriais, incentivos fiscais ou subsídios para aqueles cidadãos que adotarem meios alternativos, como armazenamento de água da chuva, adoção de telhados verdes, readequação para calçadas com área permeável. São alternativas aplicáveis e contribuições que se somadas levaria a diminuição da vazão que sobrecarrega a sub-bacia e que poderia ser aplicada em todo município, diminuindo riscos parecidos em outras sub-bacias. Ressalta-se que para aplicação destas medidas é importante a elaboração de estudos a serem realizados por profissionais competentes que determinarão metodologia segura e aplicável.

## CONCLUSÕES

Diante do estudo realizado, evidencia-se que toda a sub-bacia do córrego Botafogo sofreu alterações na dinâmica hidrológica, com pontuais locais de alagamentos e enxurradas, principalmente na porção oeste-central. Porém, o local mais alarmante é a faixa ao longo do canal principal, no qual se somam as características topográficas, falhas no sistema de drenagem associados ao tipo de cobertura e uso do solo altamente adensado.

Constatou-se na sub-bacia do córrego Botafogo que a precipitação efetiva e o tempo de concentração foram diminuindo ao passar das quatro décadas analisadas e que o escoamento superficial aumentou. Analisando a condição mais atual (2018) da sub-bacia neste estudo, conclui-se que a precipitação de 69,15 mm, com tempo de concentração em 1,34 h (80,88 min), influenciados pela impermeabilização da área com capacidade de infiltração (4,8-7,3 mm), gera maior área com escoamento superficial máximo em 1, fazendo com que a estimativa de vazão da sub-bacia atinja 62,27 m<sup>3</sup>/s, tornando-se alarmante o risco real de alagamentos e transbordamentos, visto que o canal do córrego Botafogo suporta a vazão máxima de 26,51 m<sup>3</sup>/s, que neste cenário de 2018 acontece aos 60 minutos (1 h) de chuva.

Verificou-se que a existência de parques (áreas verdes) e vegetação remanescente amenizam ou retardam o surgimento de enxurradas pontuais e/ou alagamentos, que conseqüentemente se acumulam em volume proporcional ao escoamento superficial, devido a porcentagem elevada de área impermeabilizada, gerando o efeito acumulativo no canal principal.

Outro fator a se considerar é quanto a construção de shoppings, hipermercados, estádios ou empreendimentos do tipo que requerem áreas maiores destinados aos respectivos estacionamento, que são áreas com alto índice de impermeabilização, e que contribuem fortemente para convergência de fluxo aos canais fluviais localizados em áreas mais baixas, como ocorre na sub-bacia do córrego Botafogo. Sendo assim, sugere-se que as estruturas de drenagem nestes empreendimentos sejam considerados relevantes, assim como adoção de pisos com material permeável, de forma a diminuir a contribuição destas áreas com o escoamento superficial nas bacias que se localizam.

Com a simulação do cenário 1 apresentado, evidenciou-se que 15% de área permeável por lote seria insuficiente para reduzir substancialmente a vazão que causa efeito acumulativo no canal do córrego Botafogo, e que esta medida se tornaria inviável,

visto que a sub-bacia já encontra-se adensada, demonstrando que o Plano para Controle de Águas Pluviais e de Drenagem Urbana não apresenta alternativas para casos como este, em que lotes já consolidados anteriormente ao plano foram totalmente impermeabilizados.

Com o cenário 2, onde foi realizado a prospecção de locais indicados a serem construídos bacias e/ou barragens de contenção, se embasando pelas linhas de fluxo que contribuem com o efeito acumulativo no canal principal, conforme levantadas neste trabalho, percebe-se que são estruturas viáveis de serem construídas e que poderão minimizar a vazão de contribuição que chega no córrego Botafogo. Porém, salienta-se a necessidade de estudo mais aprofundado em relação aos locais, capacidades de retenção e mecanismos estruturais seguros para instalações destes dispositivos hidráulicos.

Diante dos dados e informações apresentadas neste trabalho e considerando as linhas de fluxos que contribuem com o efeito acumulativo no canal principal, faz-se necessário urgentemente a aplicação de medidas reais para prevenir os episódios de alagamentos e transbordamentos no córrego Botafogo, ficando o alerta aos órgãos gestores competentes que devem se atentarem a reformulação medidas das medidas estruturais e não-estruturais de drenagem urbana a serem aplicadas.

Observou-se que vários trabalhos na área de planejamento urbano vem contribuindo para o desenvolvimento de pesquisas frente a necessidade de instrumentos de ordenamento, como o caso do Plano Diretor.

É importante destacar que o envolvimento e parcerias futuras entre a academia e órgãos gestores poderá contribuir para definições de melhorias nas políticas de planejamento urbano, principalmente em relação aos planos de controle de águas pluviais e de drenagem urbana.

Recomenda-se que em trabalhos futuros sejam utilizados ortofotos ao invés de imagens Landsat, por possuírem melhor resolução espacial, possibilitando melhor ajuste na aplicação do modelo hidrológico e resultados. Neste caso, salienta-se a necessidade de tempo mais longo para desenvolvimento do trabalho, bem como disponibilidade de processador e equipamentos computacionais com melhores performances.

Por fim, sugere-se que tanto o Plano Diretor como o PDDU de Goiânia sejam atualizados, deixando de ser apenas diagnósticos, e tornando-se verdadeiros instrumentos de planejamento, cumprindo seus respectivos objetivos, tornando-se práticos e aplicáveis, além de necessidade de incentivos à políticas públicas alternativas que se somadas poderão levar a diminuição da vazão que sobrecarrega o canal principal

na sub-bacia do córrego Botafogo. Medidas estas como: armazenamento de água da chuva, telhados verdes, readequação das calçadas com material e área permeável, dentre outras alternativas sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Programa Soluções para Cidades. Projeto técnico: parques lineares.** Belo Horizonte – MG. 2013. Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AFFParques%20LinearesWeb.pdf>. Acesso em 03 de abr. de 2018.

ALMEIDA, Maria Natalina; STIPP, Nilza Aparecida Feres. **Análise Ambiental de Impactos Sociambientais Urbanos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Limoeiro no Município de Londrina-PR.** In: Encontro de Geógrafos de América Latina. Eixo Temático: Geografia Física. Anais. Peru, 2013. Disponível em: [http://www.egal2013.pe/wpcontent/uploads/2013/07/Tra\\_Maria-Nilza.pdf](http://www.egal2013.pe/wpcontent/uploads/2013/07/Tra_Maria-Nilza.pdf). Acesso em: 01 de jul. de 2018.

ALVES, Obede Rodrigues. **A importância do Estudo de Impacto de Vizinhança para Empreendimentos Residenciais: o caso Tropicale Condomínio, Jardim Nova Esperança, Goiânia – GO.** Dissertação. Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial. PUC Goiás. Goiânia. Ano: 2015.

ANTONUCCI, Denise; ALVIM, Angélica A.T. Benatti; ZIONI, Silvana; KATO, Volia R. C. **UN-Habitat: das declarações aos compromissos.** Editora Romano Guerra. São Paulo – SP. Ano: 2010.

ARAUJO, Gustavo Henrique de Sousa; ALMEIDA, Josimar Ribeiro; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. ISBN 85-286-1095-0. Ano: 2008.

BRANDÃO, Simone Buiate. **De Obsolescência a Parque Linear em Goiânia: intervenções contemporâneas no antigo leito da ferrovia.** Trabalho de Conclusão do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (1992). **Agenda 21 Brasileira.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-brasileira>. Acesso em: 15 de mai. de 2018.

BRASIL. **Lei 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os art. 182 e 183 da Constituição Federal e estabelecem as diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília: 2001. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm). Acesso em: 16 de mai. de 2018.

BRASIL. **Lei 9.433, de 08 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 União. Brasília: 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm). Acesso em: 03 de jul. de 2018.

BRASIL. **Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Política Nacional de Saneamento Básico. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União. Brasília: 2007. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm). Acesso em: 29 de mai. de 2018.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** 2. ed. Editora: Oficina de Textos. São Paulo. Ano: 2014.

CARLOS, Ana Fani Alessandri. A metrópole de São Paulo no contexto da urbanização contemporânea. Revista Estudos Avançados. V. 23. n.º 66. ISSN 1806-9592. São Paulo. 2009.

CARMO, Wagner José Elias; MARCHI, Luciana Favalessa de. **Uma visão holística do plano diretor de drenagem urbana.** Jus.com.br. Site. Sessão: Artigos. Ano: 2013. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/25944/uma-visao-holistica-do-plano-diretor-de-drenagem-urbana>. Acesso em: 28 de mai. de 2018.

CARVALHO, Daniel Fonseca de. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada.** Instituto de Tecnologia. Departamento de Engenharia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Editora UFV. Ano: 2014.

CASSETI, Valter. Geomorfologia do Município de Goiânia - GO. **Boletim Goiano de Geografia.** p. 65 - 85. Goiânia, 1993.

CAU/BR – CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL. **Planejamento Urbano e Territorial: questões e desafios para uma Nova Agenda Urbana.** Site: CAU/BR. Disponível em: <http://www.caubr.gov.br/ii-planejamento-urbano-e-territorial-questoes-e-desafios-para-uma-nova-agenda-urbana/>. Acesso em: 21 de mai. de 2018.

CUNHA, Sandra Baptista; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Degradação Ambiental.** In: Geomorfologia e Meio Ambiente. Cunha, S. B.; Guerra, A. J. T. (orgs). 5ª ed. Berthrand Brasil. ISBN: 852860573-6. Rio de Janeiro, 2004.

DEFESA CIVIL MUNICIPAL DE GOIÂNIA. **Relatório e estudo apresentando 40 pontos críticos de alagamentos na capital goiana.** Ano: 2017.

EUCLYDES, Humberto Paulo. **Saneamento agrícola. Atenuação de cheias: metodologia e projeto.** Belo Horizonte: Rural Minas, 320 p. Ano: 1987.

FERREIRA, Alberto Silva; VIANA, Eugênio Souza; PIMENTA, Glenyo Rocha. **Estudo de caso de uma seção canalizada da bacia do córrego Botafogo na cidade de Goiânia-GO.** Atividade prática supervisionada. Instituto Unificado de Ensino Superior Objetivo. Faculdades Objetivo. Curso: Engenharia Civil. Goiânia, 2014.

FHA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Urban Drainage Design anual, Hydraulic Engineering.** 3. ed.. Washington D. C.: National Highway Institute, USDT, p.478. Ano: 2013.

FILGUEIRAS, Carlos Alberto. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistema de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Ministério da Ciência e Tecnologia. São José dos Campos – SP. Ano: 1999.

FRITSCH, Fabricius Eduardo Danieli. **Influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do alto Rio Ligeiro, Pato Branco – PR.** Departamento Acadêmico de Construção Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. Ano: 2013.

GOBBI, Leonardo Delfim. **Urbanização brasileira.** Site: G1 Educação. Série: Geografia. Tema: Urbanização. Ano: 2018. Disponível em: <http://educacao.globo.com/geografia/assunto/urbanizacao/urbanizacao-brasileira.html>. Acesso: 21 de jul. de 2018.

GOIÂNIA. **Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano. Lei Complementar nº 031 de 29 de dezembro de 1994.** Secretaria Municipal da Casa Civil. Câmara Municipal.

GOIÂNIA. **Plano Diretor. Lei Complementar nº 171 de 29 de maio de 2007.** Secretaria Municipal da Casa Civil. Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo – SEPLAM. Disponível em: [http://www.goiania.go.gov.br/download/legislacao/PLANO\\_DIRETOR\\_DO\\_MUNICIPIO\\_DE\\_GOIANIA\\_2007.pdf](http://www.goiania.go.gov.br/download/legislacao/PLANO_DIRETOR_DO_MUNICIPIO_DE_GOIANIA_2007.pdf). Acesso em: 25 de jul. de 2018.

GOIÂNIA. **Plano para controle de águas pluviais e de drenagem urbana. Lei Municipal nº 9511/2014.** Prefeitura Municipal. Diário Oficial do Município de Goiânia, 2014. Disponível em: [https://www.goiania.go.gov.br/html/gabinetecivil/sileg/dados/legis/2014/lo20141215000009\\_511.pdf](https://www.goiania.go.gov.br/html/gabinetecivil/sileg/dados/legis/2014/lo20141215000009_511.pdf). Acesso em: 22 de ago. de 2018.

GORNIACK, Adilson. **Avaliação de Método de Controle do Escoamento Superficial para Drenagem Urbana Sustentável na Bacia do Rio Itapocu – SC.** Dissertação de Mestrado – MPPT/UDESC. Florianópolis - SC, 2014.

HONDA, Sibila Corral de Arêa Leão; VIEIRA, Marcela do Carmo; ALBANO, Mayara Pissutti; MARIA, Yeda Ruiz. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **URBE - Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)**, 2015 jan./abr., ed. 7, p. 62-73. Ano: 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 1940-2010.** Disponível em: <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>. Acesso em: 21 de jul. de 2010.

KUICHLING, Emil. The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, v.20, n. 1, p. 1-60. Ano: 1889.

LEMOS, Rodrigo Silva; FERREIRA, Rodrigo; CARVALHO, Vilma Lúcia Macagnam; MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira; LOPES, Frederico. A evolução do uso e ocupação em uma bacia hidrográfica urbana e suas consequências para a qualidade ambiental: Reflexões a partir do caso da Lagoa da Pampulha, Região Metropolitana de Belo Horizonte. **ANPUR. Anais do Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo**. ISSN2358-3185. Ano: 2014.

LIANG, Changyu; CAO, Chunshan; WU, Shuren. Hydraulic-mechanical properties of loess and its behavior when subjected to infiltration-induced wetting. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**. February 2018, Volume 77, Issue 1, pp 385–397.

LIMA, Geisiane Aparecida. GENEROSO, Camila Marques. SANTOS, Cosme Martins dos. SILVA, Luciana Aparecida. SOUSA, Rayssa Garcia de. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: estudo de caso Ribeirão Isidoro. **VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental (CONGEA)**. 21 a 24 de nov. de 2016. Anais. Campina Grande – PB. Ano: 2016. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VIII-074.pdf>. Acesso em: 03 de jul. de 2018.

LOPES, Expedito Carlos. **Uma Abordagem para Modelar Fenômenos Espaço-Temporais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Coordenação de Pós-Graduação em Informática, Campina Grande, 2002.

MARICATO, Ermínia. **Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana**. Petrópolis: Vozes, 2008.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?** Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. Artigo Científico. Jul/2012. p. 1-11. São Paulo: 2012.

MARQUES, P. H. G.; **Diagnóstico Ambiental da Micro-Bacia Hidrográfica, do Córrego Samambaia, Município de Goiânia**. Monografia. Bacharelado em Geografia. Instituto de Estudos Sócio-Ambientais – IESA. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2009.

MIRANDA, Ângelo Tiago de. **Urbanização do Brasil: consequências e características das cidades**. Site: UOL Educação. Série: Geografia. Ano: 2006. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/urbanizacao-do-brasil-consequencias-e-caracteristicas-das-cidades.htm>. Acesso em: 17 de mai. de 2018.

MORETON, Luiz Carlos. Estratigrafia. In MORETON, L.C. (Org.). **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Goiânia - Folha SE. 22-X-B-IV. Estado de Goiás. Escala 1:100.000**. p. 124. Brasília - DF:DNPM/CPRM, 1994.

MUBDG – MAPA URBANO BÁSICO DIGITAL DE GOIÂNIA. Versão 24. Prefeitura Municipal de Goiânia. Secretaria Municipal de Ciência, Tecnologia e Inovação – SETEC. **Banco de dados digitais de Goiânia**.

MULVANEY, Thomas J. **On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relations of rainfall and flood discharges in a given catchment.** Trans. Inst. Civil Eng. Ireland, v. 4, p. 18-33. 1851.

NRCS - NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. **Estimation of direct runoff from storm rainfall.** In: National Engineering Handbook Hydrology Chapters. NRCS: Washington, D. C., 79 p. Ano: 1997.

NUNES, Elizon Dias. **Ensaio Sobre Modelagem de Bacia Hidrográfica no Contexto dos Sistemas Dinâmicos - Ribeirão Lajeado - Goiânia – GO.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, 2011.

NUNES, Elizon Dias. BORBA, Lana Lima. Avaliação dos efeitos do adensamento urbano na dinâmica hidrológica de bacias hidrográficas – Aparecida de Goiânia – GO. ISSN: 1984-8501 **Boletim Goiano de Geografia.** (Online). Goiânia, v. 38, n. 2, p. 205-226, maio/ago. 2018.

OLIVEIRA, Luiz F. C. de; CORTÊS, Fernando Cardoso; WEHR, Tiago Roberto; BORGES, Lucas Bernardes; SARMENTO, Pedro Henrique L.; GRIEBELER, Nori Paulo. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 1, p. 13-18, 2005.

PENNA, Nelba Azevedo. Urbanização, cidade e meio ambiente. **Revista GeoUSP – Espaço e Tempo.** nº 12, p. 125-140. São Paulo. 2002.

PEREIRA, Ticiania Muniz. **Avaliação da capacidade de escoamento da canalização efetuada no córrego do São Pedro com auxílio da ferramenta HEC-RAS.** Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Sanitária e Ambiental. Linha de pesquisa: Hidrologia e drenagem urbana. Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Juiz de Fora – MG. Ano: 2015.

FERREIRA, Alberto Silva; VIANA, Eugênio Souza; PIMENTA, Glenyo Rocha. **Estudo de Caso de uma Seção Canalizada da Bacia do Córrego Botafogo na Cidade de Goiânia-Go.** Atividades Práticas Supervisionadas. Instituto Unificado de Ensino Superior Objetivo. Faculdades Objetivo. Engenharia Civil. Goiânia: 2014.

PINTO, Nelson L. de Sousa; HOLTZ, Antônio Carlos T.; MARTINS, José A.; GOMIDE, Francisco L. S. **Hidrologia básica.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 278 p. Ano: 1976.

PORTO, Rubem La Laina. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. de. (Org.). **Drenagem urbana.** Porto Alegre: ABRH, p. 107-162. (v. 5). 1995.

PORTO, Rubem La Laina; ZAHED, K.; TUCCI, Carlos E. M.; BIDONE, F. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: ABRH, p. 805-847. Ano: 2004.

PRIETO, Immaculada; MENEZES, Murilo; CALEGARI, Diego. **Plano Diretor: como é feito e pra que serve?** Site: Politize. Série: Planejamento Urbano. Ano: 2017. Disponível em: <http://www.politize.com.br/plano-diretor-como-e-feito/>. Acesso em: 21 de mai. de 2018.

QUEIROGA, Antônio. **Requalificação urbano paisagística - Parque Linear Botafogo**. Monografia (TCC de Arquitetura e Urbanismo) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2010.

RIBEIRO, Maria Eliana Jubé. **Goiânia: os planos, a cidade e o sistema de áreas verdes**. Goiânia: Ed. da UCG, 2004.

ROMÃO, Patrícia de Araújo. **Modelagem de terreno com base na morfometria e em sondagens geotécnicas - região de Goiânia - GO**. Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Ano: 2006.

SANTOS, Irani dos. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica**. Tese. Doutorado em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Ano: 2009.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. Editora Hucitec. São Paulo. 1993.

SEIBT, Ana Carolina. **Modelagem hidrológica da Bacia Hidrográfica do Córrego Botafogo – Goiânia – Go**. Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente. Dissertação. Universidade Federal de Goiás – UFG. Goiânia – Go. Ano: 2013.

SEMDUS - SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL. Prefeitura Municipal de Goiânia. **Ortofotos do município de Goiânia, Goiás. Anos: 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016**.

SEPLAM - SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E URBANISMO. Prefeitura Municipal de Goiânia. **Coletânea Urbanística**. Ano: 2018. Disponível em: <http://www.goiania.go.gov.br/shtml/seplam/legislacao/legislacao.shtml#uso>. Acesso em: 22 de set. de 2018.

SETEC - SECRETARIA MUNICIPAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Prefeitura Municipal de Goiânia. **Shapefiles, arquivos em extensão kmz do Município de Goiânia**. 2018.

SIEG - SISTEMA ESTADUAL DE GEOINFORMAÇÃO. Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento - SEGPLAM. Estado de Goiás. **Shapefiles, arquivos em extensão kml e kmz do estado de Goiás**. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>.

SIKORSKA, Anna E.; VIVIROLI, Daniel; SEIBERT, Jan. Effective precipitation duration for runoff peaks based on catchment modelling. **Journal of Hydrology**. Volume 556, January 2018, Pages 510-522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.028>.

SILVA, Alexandre Marco; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa de: **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2004.

SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão. **Capitalismo e Urbanização**. Editora Contexto. 10ª edição. ISSN: 978-85-8513-427-3. São Paulo. 2000.

SOARES, Marcia Regina Gomes de Jesus; FIORI, Chisato Oka; SILVEIRA, Claudinei Taborda da; KAVISKI, Eloy. Eficiência do método *curve number* de retenção de águas fluviais. **Mercator**, v. 16, e16001, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16001>. ISSN: 1984-2201. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – CE. 2017.

SOFTWARE ARCGIS. **Versão 10.3. ArcMap**. ESRI – Official Distributor, portadora de direitos sobre a plataforma. Laboratório de informática da Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

SCS - SOIL CONSERVATION SERVICE. **Design hydrographs**, section 4, hydrology. In: MOKUS, V. 127 p. National Engineering Handbook, USDA, Washington D. C. Ano: 1971.

TAKEDA, Tatiana. **Uso e ocupação do solo urbano**. Site: JurisWay. Artigo de Opinião. Ano: 2013. Disponível em: [https://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id\\_dh=12363](https://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=12363). Acesso em: 16 de mai. de 2018.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. Cap. 21. Noções de hidrologia. ed. 1. Ano: 2010. Disponibilizado em meio digital gratuitamente. Disponível em: [http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf). Acesso em: 09 de jan. de 2019.

TOMAZ, Plínio. **Fórmula de Manning**. Cap. 50. Noções de hidrologia. ed. 1. Ano: 2010. Disponibilizado em meio digital gratuitamente.

THOMPSON, David B. **The Rational Method**. Civil Engineering Department. Texas Tech University. Draft: 20 September 2006.

TUCCI, Carlos E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**. v. 2.n. 2. jul/dez. p. 5-12. Ano: 1997.

TUCCI, Carlos E. M. Águas Urbanas. **Revista Estudos Avançados**. ed. 22. p. 97-112. Ano: 2008.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades. Global Water Partnership. Banco Mundial. Unesco. Brasília: 2005.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal Rio Grande do Sul/Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Ano: 2012.

USGS - United States Geological Survey - Serviço Geológico dos Estados Unidos. **Imagens de satélite: Landsat 5 e Landsat 8. Anos: 1988, 1998, 2008 e 2018.** Disponível em: <https://www.usgs.gov/>.

VAZ, Valéria Borges; Drenagem urbana. Núcleo de Pesquisa e Extensão em Gerenciamento de Recursos Hídricos Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo - Comitê Pardo. **Boletim Informativo** n.º 05/ Ano VI - Maio/2004. Disponível em: <http://www.comitepardo.com.br/boletins/2004/boletim05-04.html>. Acesso em: 13 de mai. de 2018.

VILLAÇA, Flávio. **Espaço interurbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 1998.

VILLAÇA, Flávio. As ilusões do Plano Diretor. **Revista USP**. 1ª edição. São Paulo. 2005.

VILLELA, Swami M.; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 245 p. Ano: 1975.

ZARATÉ, Halina Veloso e; PANTALEÃO, Sandra Catharine. Análise da fragmentação urbana em Goiânia: o caso do Botafogo. **Revista Estudos**, Goiânia, v. 41, especial. p. 137-154, dez. 2014.

## ANEXO 1 – Pontos críticos de alagamento em Goiânia – Defesa Civil



### PLANILHA COM PONTOS CRÍTICOS

Nº	SETOR	DELIMITAÇÃO	Código Brasileiro de desastres, (COBRADE)
01	PARQUE AMAZONAS	AVENIDA FEIRA DE SANTANA CÓRREGO SERRINHA	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
02	VILA REDENÇÃO	RUA NONATO MOTA CÓRREGO BOTAFOGO	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
03	PARQUE AMAZONAS	RUA C-183 CÓRREGO BOTAFOGO	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
04	PARQUE AMAZONAS	AVENIDA JOSÉ RODRIGUES DE MORAIS NETO. CORREGO SERRINHA	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
05	PARQUE AMAZONAS	RUA ANACÁ, CHACRA 67,107 E 108 CÓRREGO MINAÇU	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
06	JARDIM AMÉRICA	AVENIDA C- 107 CÓRREGO CASCAVEL	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
07	SETOR PEDRO LUDOVICO	AVENIDA 2ª RADIAL CÓRREGO BOTAFOGO	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
08	VILA NOVO HORIZONTE	AVENIDA MAURICIO GOMES CÓRREGO MACAMBIRA	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
09	JARDIM PRESIDENTE	AVENIDA PRESIDENTE KUBISCHEK CÓRREGO MACAMBIRA	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
10	VILA ALTO DA GLÓRIA	AVENIDA RECIFE CÓRREGO BARREIRO	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas

11	SETOR NOVO HORIZONTE	AVENIDA MIGUEL DO CARMO CÓRREGO MACAMBIRA	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
12	PARQUE AMAZONAS	AVENIDA D. TEREZINHA DE MORAIS CÓRREGO MINGAU	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
13	JARDIM PLANALTO	AVENIDA T-9 CÓRREGO CASCAVEL	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
14	JARDIM ESMERALDA	RUA TEREZINHA FRENTE A UNIFAN	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
15	VILA NOVO HORIZONTE	AVENIDA CESAR LATES CÓRREGO MACAMBIRA	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
16	SETOR PEDRO LUDOVICO	AVENIDA 3ª RADIAL CÓRREGO BOTAFOGO	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
17	JARDIM AMÉRICA	RUA C-107, COM RUA C-190 PRÓXIMO A DPCA	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
18	Setor Aeroviário	AVENIDA ANHANGUERA COM RUA 13. TERMINAL DO DERGO	1.2.3.0.0- Alagamento
19	SETOR AEROVIÁRIO	CÓRREGO CASCAVEL, PROX. FAC. PADRÃO	1.2.3.0.0- Alagamento
20	JARDIM AMÉRICA	RUA C-206, COM RUA C- 198 PROX. BAR MOURÃO	1.2.3.0.0- Alagamento
21	SETOR BUENO	AV. T -9 PROX. CLUBE OASIS	1.2.3.0.0- Alagamento
22	SETOR BUENO	AV. T-10, AO LADO DO PARQUE VACA BRAVA GYN SHOPPING	1.2.3.0.0- Alagamento
23	SETOR BUENO	AV. T-8, ESQ. C/ T- 27 PROX. INSTITUTO ORTOPÉDICO	1.2.2.0.0- Enxurradas
24	SETOR BUENO	Avenida T-8, com T -30, Prox. Praça Gilberto da Veiga	1.2.3.0.0- Alagamento
25	Conjunto Caiçara	R. dona Maria Kubstcheck/Irmã Helena de Figueiredo	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações
26	Campinas	Av. Anhanguera c/ Quintino Bocaiuva	1.2.3.0.0- Alagamento
27	Centro	Av. Dona Gercina Borges C/Alameda dos Buritis	1.2.2.0.0- Enxurradas

28	Centro	Av. 85 c/ Praça Pedro Ludovico Teixeira	1.2.2.0.0- Enxurradas
29	Centro	Av. Paranaíba com Rua 23, Frente ao Estádio Olímpico	1.2.3.0.0- Alagamento
30	Centro	Avenida Paranaíba, Frente ao Ginásio Rio Vermelho	1.2.3.0.0- Alagamento
31	Cidade Jardim	Av. Armando de Godoy, Prox. Detran	1.2.3.0.0- Alagamento
32	Setor Coimbra	Rua 217, com a Praça A	1.2.3.0.0- Alagamento
33	Curitiba III	Av. Oriente c/ Rua JC51	1.2.3.0.0- Alagamento
34	Estrela Dálva	Av. Oriente com Airton Sena	1.2.3.0.0- Alagamento
35	Setor dos Funcionários	Av. Anhanguera com Avenida Perimetral	1.2.3.0.0- Alagamento
36	Setor Goiânia Viva	Av. Tóquio, próximo ao terminal de ônibus	1.2.3.0.0- Alagamento
37	Bairro João Braz	Rua Marajoara, entre o Bairro Goyá e João Braz	1.2.3.0.0- Alagamento
38	Jardim Guanabara	Rua Belo Horizonte, prox. A Igreja Católica Jesus Bom Pastor	1.2.3.0.0- Alagamento
39	Residencial Itamaracá	Rua RIT 13	1.2.3.0.0- Alagamento
	Residencial	Rua RIT c/ rua SP 19	1.2.3.0.0- Alagamento
40	Itamaracá	Prox. Ribeirão Anicuns	

\*Obs: Todos os pontos, tiveram ocorrências de grandes enxurradas, alagamento e inundações graduais, inclusive com vítimas fatais. Pontes ou bueiros, com guardas corpos inadequados, vão das bocas de lobos ou de leão, com as aberturas sem proteções.

Francisco do Carmo Vieira  
 Matrícula nº 245054-01  
 Coordenador Executivo da COMDE