

Goiânia

Córrego Botafogo

WANESSA SILVA ROCHA
ANTÔNIO PASQUALETTO
ELIZON DIAS NUNES



Wanessa Silva Rocha

Mestre em Desenvolvimento e Planejamento Territorial pela PUC Goiás (2019). Engenheira Ambiental pela PUC Goiás (2015). Engenheira Ambiental Plena na Energy

System. Analista ambiental no Sanear Cidades - Planos Municipais de Saneamento Básico pelo IFG - Goiânia e FUNASA (2019).

Engenheira ambiental pela Lopes Engenharia (2016/2017).

Atuou em atividades nos cursos de Geoprocessamento voltado para o CAR pelo INEAA (2016), na Gerência de Meio Ambiente pela SANEAGO (2014/2015). Iniciação Científica em Química Ambiental - bolsista CAPES/CNPq (2012/2015), em comunicação e marketing no Fórum CREA Goiás Júnior (2013/2014), geoprocessamento pela Geobras (2013) e na SAMA Minerações Associadas (2013). Técnica Ambiental pelo IFGoiano - Campus Ceres (2010).

Contato: wrochaamb@gmail.com

Patrocínio:



Antonio Pasqualetto

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (1991), Mestre e Doutor em Fitotecnia (Produção Vegetal) pela Universidade Federal de Viçosa - UFV (1994 e 1999).

Pós-Doutor em *Environmental Engineering* pela *Università di Pisa*. Professor Titular da Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC Goiás e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG. Consultor da CAPES, CNPq, FAPEG, SENAI, CREA-GO, ABES. Avaliador do Prêmio CREA-GO de Meio Ambiente. Parecerista do Guia Abril do Estudante e MEC. Projetos financiados pela CAPES, CNPq, Ministério da Integração e FAPEG. Supervisor do Laboratório Urbano de Pesquisas Aplicadas - LUPA. Membro da Rede Ibero-americana de Estudos sobre Desenvolvimento Territorial e Governança (REDETEG) e *Sustainability Transitions Research Network*. Editor Adjunto da Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos - BARU

Contato: profpasqualetto@gmail.com



Elizon Dias Nunes

Possui graduação - Licenciatura Plena em Geografia (2008), e Bacharelado em Geografia - Análise Ambiental (2010); Mestrado em Geografia - área de concentração Natureza e Produção do Espaço (2011), e Doutorado em Geografia - Tratamento da Informação Geográfica (2015), pela Universidade Federal de Goiás. Professor com experiência em projetos com uso de cartografia e geoprocessamento. Colaborador convidado para ministrar módulos práticos-operacionais no ensino de Geografia Física no Mestrado e Doutorado em Geografia - PPGEO-UFG.

Contato: elizonnunes@hotmail.com

GOIÂNIA:
CÓRREGO BOTAFOGO



Grão Chanceler
Dom Washington Cruz, CP

Reitora
Profa. Olga Izilda Ronchi

Editora da Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Pró-Reitora de Pós-Graduação e Pesquisa
Presidente do Conselho Editorial
Profa. Milca Severino Pereira

Coordenador da Editora
Prof. Lauro Eugênio Guimarães Nalini

Conselho Editorial

Milca Severino Pereira | Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Alba Lucínia de Castro Dayrell | Academia Feminina de Letras e Artes de Goiás
Angel Marcos de Dios | Universidade Salamanca, Espanha
Catherine Dumas | Université Sorbonne Nouvelle, Paris 3, França
Edival Lourenço | União Brasileira de Escritores
Francisco Carlos Félix Lana | Universidade Federal de Minas Gerais
Hussam El-Dine Zaher | Universidade de São Paulo
Isabel Ponce de Leão | Universidade Fernando Pessoa, Portugal
Jack Walter Sites Jr. | Brigham Young University, USA
José Alexandre Felizola Diniz-Filho | Universidade Federal de Goiás
José Maria Gutiérrez | Instituto Clodomiro Picado, Costa Rica
Lêda Selma de Alencar | Academia Goiana de Letras
Marcelo Medeiros | Universidade Federal de Goiás
Marcelo Rodrigues de Carvalho | Universidade de São Paulo
Nelson Jorge da Silva Jr. | Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Paulo Petronílio Correia | Universidade de Brasília
Steven Douglas Aird | Okinawa Institute of Science and Technology, Japan

WANESSA SILVA ROCHA
ANTÔNIO PASQUALETTO
ELIZON DIAS NUNES

GOIÂNIA:
CÓRREGO BOTAFOGO



Goiânia, Goiás, Brasil | 2021

© 2021, by Wanessa Silva Rocha, Antônio Pasqualetto, Elizon Dias Nunes

Editora da Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Rua Colônia, Qd. 240C, Lt. 26-29, Chácara C2, Jardim Novo Mundo. CEP. 74.713-200
Goiânia - Goiás - Brasil, Coordenação (62) 3946-1816, Secretaria (62) 3946-1814

Comissão Técnica

Biblioteca Central da PUC Goiás
Normatização

Juliana Magalhães Rézio
Keila Matos
Revisão

Humberto Melo
Editoração eletrônica e Design de capa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, GO, Brasil

R672g Rocha, Wanessa Silva
Goiânia : Córrego Botafogo / Wanessa Silva Rocha,
Antônio Pasqualetto, Elizon Dias Nunes. -- Goiânia
: Ed. da PUC Goiás, 2021.

140 p.: il.; 22 cm

Bibliografia.
ISBN 978-65-89488-01-9

1. Planejamento urbano - Goiânia (GO). 2. Córrego
Botafogo (Goiânia, GO). 3. Urbanização - Goiânia (GO).
4. Bacias hidrográficas - Restauração - Goiânia (GO)
I.Pasqualetto, Antônio - 1966. II.Nunes, Elizon Dias. III. Título.

CDU: 502.51(817.3)

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida, armazenada em sistema de recuperação ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio (eletrônico, mecânico, fotocópia, microfilmagem, gravação ou outro) sem a expressa permissão do(s) detentor(es) do *copyright*, conforme a Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Impresso no Brasil

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

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de pesquisa, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás – FAPEG pelos constantes apoios à pesquisa na Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás e ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Goiás – CREA-GO pelo patrocínio desta obra.

SUMÁRIO

13	PREFÁCIO
15	APRESENTAÇÃO
19	INTRODUÇÃO
23	CAPÍTULO 1 URBANIZAÇÃO E OS INSTRUMENTOS DE PLANEJAMENTO
23	1.1 Conceito de Urbanização e suas Características
26	1.2 O Processo de Urbanização no Brasil Pós-Década de 1950
30	1.3 Planejamento Urbano e Ambiental no Brasil
33	1.4 Planos Diretores como Instrumentos de Ordenamento Territorial
38	1.5 Plano Diretor de Drenagem Urbana: o manejo de águas pluviais
43	1.6 Transformações na Sub-Bacia do Córrego Botafogo no Contexto Histórico do Planejamento de Goiânia
47	CAPÍTULO 2 O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES NOS SISTEMAS HIDROGRÁFICOS
47	2.1 Impactos da Urbanização nas Bacias Hidrográficas
51	2.2 Bacia Hidrográfica como Unidade de Análise e Planejamento
56	2.3 Definição de Sistema Hidrográfico e suas Propriedades
57	2.4 Modelagem de Processos e Fenômenos em Sistemas Ambientais
60	2.5 Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas

65	CAPÍTULO 3
	METODOLOGIA
65	3.1 Caracterização da Área de Estudo
65	3.1.1 Características gerais da sub-bacia do Córrego Botafogo
68	3.1.2 Características físicas: hipsometria, declividade e comprimento de fluxo
70	3.1.3 Geologia: unidades geológicas e litologias predominantes
71	3.1.4 Geomorfologia: características morfométricas, morfográficas e morfogenéticas
73	3.1.5 Pedologia: principais classes de solo, textura e profundidade
74	3.1.6 Clima: dinâmica atmosférica regional, intensidade, duração e frequência dos eventos pluviométricos
75	3.2 Procedimentos Técnico-Operacionais
75	3.2.1 Propósito da estrutura conceitual adotada
77	3.2.2 Preparação do banco de dados e mapeamentos
78	3.2.3 Método racional: variáveis e equacionamento
82	3.2.4 Aplicação esquematizada do modelo hidrológico
84	3.3 Modelagem Hidrológica diante dos Cenários Propostos para Atenuação dos Efeitos do Adensamento Urbano
85	3.4 Forma de Apresentação dos Resultados
87	CAPÍTULO 4
	RESULTADOS E DISCUSSÃO
87	4.1 Alterações da Cobertura e Uso do Solo Urbano na Sub-Bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)
92	4.2 Dinâmica Hidrográfica na Bacia
92	4.2.1 Grau de antropização (coeficiente K) e estimativas de velocidade de escoamento superficial
95	4.2.2 Tempo de concentração
97	4.2.3 Precipitação efetiva
102	4.2.4 Coeficiente de infiltração e coeficiente de escoamento superficial
106	4.2.5 Estimativa de vazão

109	4.3 Avaliação das Diretrizes Propostas para Atenuação dos Efeitos do Adensamento Urbano
109	4.3.1 Cenário 1: lotes na sub-bacia com 15% de área permeável
113	4.3.2 Cenário 2: sugestão de locais para construção de bacias e barragens de contenção nas principais linhas de fluxo
115	4.3.3 Ações necessárias para melhorias dos instrumentos de planejamento urbano ante o controle de águas pluviais e drenagem urbana
121	CONCLUSÕES
125	REFERÊNCIAS
135	ANEXO

PREFÁCIO

Goiânia está localizada na bacia do Rio Meia Ponte, possuindo 03 ribeirões, 80 córregos e, entre eles, o Córrego Botafogo, que é objeto deste estudo devido a localização e ocupação desordenada de sua microbacia, trazendo impactos relevantes na mobilidade urbana de nossa capital. O Córrego Botafogo tem nascente na região leste, com o fluxo de 150.000 veículos por dia na região.

Esta é uma pesquisa bastante pertinente, pois leva em consideração os impactos da urbanização dessa sub-bacia hidrográfica sem o planejamento prévio. Processo esse que começou em 1991, com a construção da Marginal Botafogo, considerada um símbolo da urbanização de Goiânia. O projeto, à época, foi elaborado sem visão holística de integração com a natureza. Nas etapas seguintes, apesar da área da microbacia estar bastante comprometida, o projeto e a construção do canal foi um dos aspectos positivos visando causar menos danos ambientais em relação ao curso do Córrego Botafogo.

O adensamento com muitos empreendimentos sem estudos prévios e omissão dos gestores no sentido de mitigar os impactos ambientais tornou-se problema a ser resolvido. Na legalização e urbanização da região por parte da prefeitura não foi considerada a permeabilidade do solo, técnicas de retenção para diminuir a velocidade das águas pluviais e nem tampouco as construções de galerias.

Neste estudo foi considerado um período de 30 anos, tempo suficiente para levantar, com segurança, os aspectos urbanísticos visando detalhar as áreas permeáveis e impermeáveis e a caracterização do uso do solo para futuras soluções, assim, amenizando os efeitos dessa urbanização. As técnicas sugeridas neste livro devem ser empregadas

em toda a região metropolitana, que merece acolhida, principalmente na revisão do Plano Diretor em análise na Câmara Municipal.

Quero parabenizar os profissionais Wanessa Rocha, Antônio Pasqualetto e Elizon Dias, que integram o Sistema CONFEA-CREA, pela excelente produção e tenho certeza que a mesma servirá para que possamos atenuar os efeitos da ocupação desordenada dessa região.

Eng. Francisco Almeida
Ex-Presidente do CREA-GO
Dir. Presidente da Mútua Nacional

APRESENTAÇÃO

Para compreender o processo de urbanização, face as transformações de caráter dinâmico introduzidas no ambiente natural, que alteram o sistema hidrográfico em bacias urbanizadas, com impactos diretos na drenagem, necessitam-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 de representação de fenômenos espaço-temporais, com informações e resultados de caráter quantitativos e qualitativos, os mesmos são apresentados na forma 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 acarretaram, ao longo do tempo, diversas consequências ambientais, como: alto índice de impermeabilização do solo, supressão da cobertura vegetal, canalização e redução do potencial hídrico de drenagem natural do Botafogo, 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 às características físicas, acarretou na convergência de fluxo para o canal principal, tornando o mesmo suscetível a alagamentos e inundações.

O livro está estruturado em quatro capítulos. O primeiro 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, apresentando 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 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 expõe 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 com-

primento de fluxo). Também se apresenta 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 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.

Wanessa Silva Rocha
Antônio Pasqualetto
Elizon Dias Nunes

INTRODUÇÃO

Na busca por compreender o acelerado processo de urbanização pelo qual as cidades passam, bem como as transformações de caráter dinâmico 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 necessária 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 se encontra 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 se trata 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.

Conseqüentemente, esta sub-bacia possui todo o conjunto de transformações do uso e ocupação que resultam em diversas conseqüências 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 busca proporcionar um horizonte seguro, possibilitando alcançar os objetivos propostos.

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, p. 5):

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 transforma-

ções 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.

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: legisla-

ções equivocadas quanto ao controle do espaço urbano; incapacidade do poder municipal em planejar e até mesmo antecipar a urbanização; valorização imobiliária que gera 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 necessita 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 à 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 se tornou cada vez mais acelerada, devido, sobretudo, à intensificação da industrialização brasileira ocorrida 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, p. 31, 36) 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.

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.

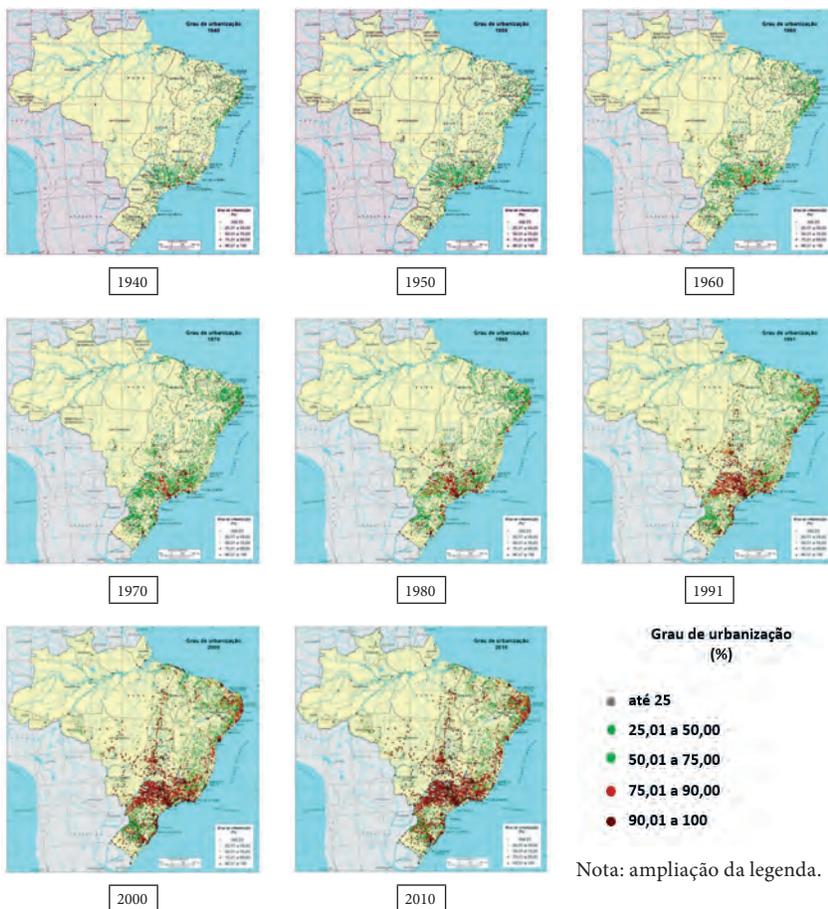


Figura 1: Grau de urbanização brasileira ao longo das décadas de 1940 a 2010
 Fonte: Adaptado pela autora a partir de dados do IBGE - Censo demográfico 1940-2010.¹

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

¹ 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.

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.

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 existência de alguns fatores importantes, como: a configuração territorial foi formada por um conjunto de sistemas relacionados à 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 entanto, o rápido e desordenado processo de urbanização ocorrido no Brasil trouxe uma série de consequências negativas. 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, esse 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 da melhor forma possível os benefícios (VILLAÇA, 1998).

A partir da Constituição Federal de 1988, considerando os artigos 182 e 183, que estão as temáticas referentes à política urbana, 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 ge-

ográficas, 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 às 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 à 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 ².

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, p. 65) apresenta esta relação entre o planejamento urbano e ambiental:

2 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.

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.

É evidente que ainda exista inúmeros desafios para a 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 Metrôpoles.

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.

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, p. 238) 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.

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, p. 4), 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, sindic-

tos, 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).

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 favorecer com que a cidade seja 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 são apresentados alguns produtos gerados pelo Plano Diretor de Goiânia, Lei Complementar 171/2007³. Observa-se de forma genérica que esse tipo de diagnóstico aborda tanto os elementos

3 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.

fixos, que se caracterizam 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.

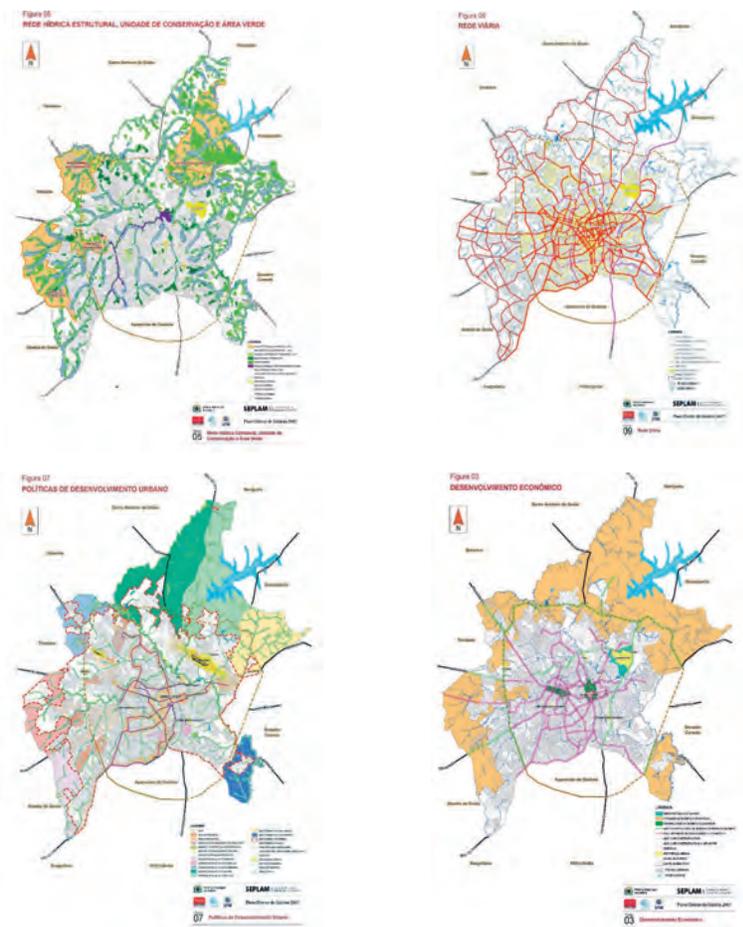


Figura 2: Mapas apresentados no Plano Diretor de Goiânia - Goiás (Versão Ano 2007): diagnóstico da rede hídrica e viária, políticas de desenvolvimento urbano e econômico. Fonte: Adaptado pela autora a partir do Plano Diretor de Goiânia – Lei Complementar nº 171/2007 (GOIÂNIA, 2007).

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, p. 5) 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.

Evidentemente, já houve avanços significativos no desenvolvimento deste instrumento para o planejamento urbano brasileiro, porém, como destaca Villaça (2005), a questão relevante é que a maioria dos PDs 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 esta seja elaborada 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 garantir 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 escoar 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 apresentadas pelo Quadro 1.

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

MEDIDAS ESTRUTURAIS	MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS
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 à 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 atra-

vés 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. Define-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 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, p. 9) 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.

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, p. 9), o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

apresenta dados estatísticos importantes referente à 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.

Portanto, é evidente que são muitos os desafios para a real efetivação do PDDU nos municípios brasileiros. Para Martins (2012, p. 1), 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.

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 Goiânia, no 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 à 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 ao 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 Attílio 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, p. 3) 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.

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 50m 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 a 1950.

Ainda segundo o trabalho de Zaraté e Pantaleão (2014, p. 142):

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.

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, p. 65), 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.

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, p. 65) revela:

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.

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 Botafogo, realizada na década de oitenta, houve em seguida 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 Botafogo (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 relacionados 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 trazem consequências à drenagem urbana das cidades, justamente por diminuir, ou até mesmo extinguir, as áreas naturais de armazenamento e escoamento.

A partir desse 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 alteram 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 submetidos a diferentes tipos de usos, os quais tendem a impermeabilizar a superfície, causando um aumento no escoamento superficial e deixando os cursos hídricos suscetíveis a 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 se inserem 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 à jusante das bacias em ambientes urbanos.

A urbanização também pode gerar alterações sobre o ciclo hidrológico em bacias, conforme Tucci (2005, p. 47-48) 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 os aquíferos, tendo efeito inverso do mencionado (...).

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.

A Figura 3 apresenta 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 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 são 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, conse-

quentemente, 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.



Figura 3: Evolução das alterações temporais ocorridas no canal fluvial do Córrego Botafoço – Goiânia (GO) devido ao fluxo de energia.
Fonte: Adaptado pela autora (2018).

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 km²). 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 à 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 consequências 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 provindas 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.

As alterações na bacia modificam a capacidade de infiltração, escoamento e armazenando hídrico, alterando tanto a microdrenagem como a macrodrenagem.

Verifica-se, atualmente, uma tendência quanto à 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.

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, p. 27-28) 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.

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).

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.



Ortofotos de Goiânia:
1992, 2001, 2006, 2011 e 2016.
Concedidas pela Secretaria Municipal
de Desenvolvimento Urbano Sustentável
(SEMDUS). Prefeitura de Goiânia.

Figura 4: Exemplo de evolução temporal da urbanização e restauração ambiental associada 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, p. 3) 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.

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, p. 19) 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.

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.

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 em 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).

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, p. 37-38) 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.

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 à 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 têm sido explorados através de modelagens, melhorando os resultados e explorando melhor as informações existentes.

Com isso, Santos (2009, p. 20) 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 consequentemente, na evolução da paisagem.

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, p. 23) 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.

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

Assim, em relação às alterações que a urbanização reflete no uso e ocupação do solo e determinam as alterações no ciclo hidrológico, Pereira (2015, p. 10) 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.

Para Gorniack (2014), o 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, p. 9) 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 monitora-

dos 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.

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 se trata 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 30,62km² e localiza-se na porção sul/central da capital Goiânia, Goiás. Está inserida integralmente na Macrozona Construída, conforme Plano Diretor Municipal (GOIÂNIA, 2007), conforme a Figura 5.

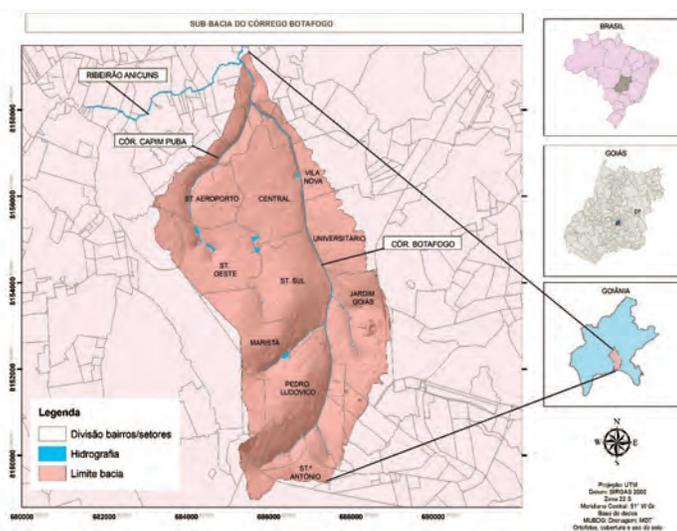


Figura 5: Localização da sub-bacia hidrográfica do Córrego Botafogo, Goiânia – Goiás
Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

O Córrego Botafogo possui extensão de 9,8km 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 à 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 seis, que são Bosque dos Buri-tis, Lago das Rosas, Parque Areião, Parque Botafogo, Parque Flamboyant e Jardim Botânico, totalizando área verde de 1,18km² remanescente (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 870m² (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 será apresentado no Capítulo 4.

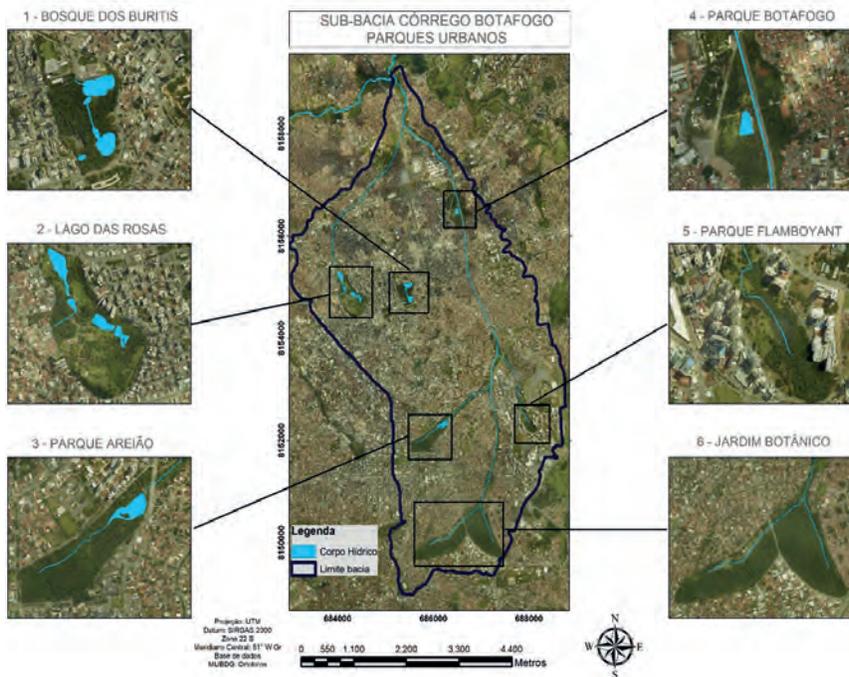


Figura 6: Parques urbanos existentes na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: Ortofoto de 2016. SEMDUS/MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

3.1.2 Características físicas: hipsometria, declividade e comprimento de fluxo

Em relação às 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 do comentário do item anterior, fica visível que se trata 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.

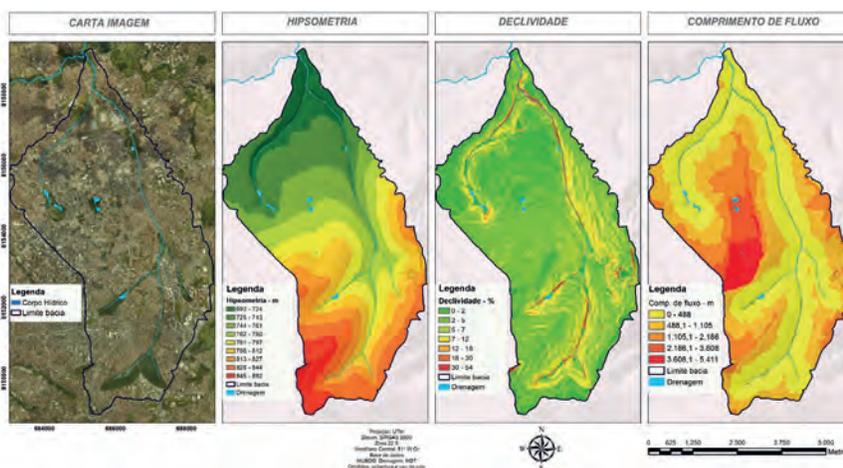


Figura 7: Carta imagem, hipsometria, declividade e comprimento de fluxo da sub-bacia hidrográfica do Córrego Botafogo, Goiânia – Goiás
Fonte cartográfica: SEMDUS/MUBDG/SECTEC.
Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

Quanto à hipsometria (topografia), que se trata da representação da elevação (cotas) do terreno, a área da sub-bacia apresenta altitude máxima em 892m e mínima em 603m. O importante é destacar que em relação às altitudes máximas há maior variabilidade das clas-

ses, 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 apresenta maior porcentagem de declividade variando de 30 a 50%; nas bordas mais aclives de 12 a 18%; em determinados trechos de 18 a 30%. Nas áreas em que originalmente seriam consideradas superfícies de inundações dos cursos hídricos, a declividade fica entre 7 e 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 de 0 a 2%.

Em relação ao comprimento de fluxo, destaca-se foi 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 (0-488m), 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 (488,1-1105m; 1101,1-2186m), ao passo que a porção oeste-central da sub-bacia possui comprimento de fluxo mais alongado (2186-3608m; 3608,1-5414m), justamente por ser esta área mais plana e não ter canal. Ressalta-se que, como foi considerada a direção acumulativa aos canais, as vertentes, que são as áreas com alturas mais elevadas, pois são os limites topográficos da sub-bacia, passam a influenciar diretamente nascentes e respectivos canais.

3.1.3 Geologia: unidades geológicas e litologias predominantes

Quanto à 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 se utilizou 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 possui 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 quartzo-muscovita 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 holocênicos, 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 morfogenéticas

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

As unidades geomorfológicas foram extraídas do trabalho de Casseti (1993), conforme a 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), individualizada em terraços fluviais suspensos, associada 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.

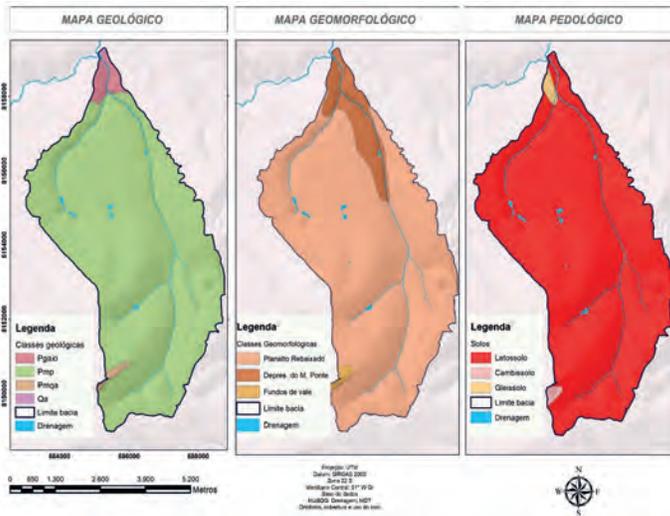


Figura 8: Mapas geológico, geomorfológico e pedológico da sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: Campos *et al.* (2003), Casseti (1993) e MUBD/G/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

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

- Vale aberto com Córrego Botafogo ligeiramente encaixado: corresponde ao trecho compreendido entre suas nascentes e a afluição com Córrego Areião, apresentando 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, abrigoando 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 Botafogo encaixado: compreende o trecho situado entre a Av. Independência e a margem do Córrego Capim Puba, sendo que, neste trecho, o Botafogo 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 às 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, 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 do horizonte relativamente espesso – com alta saturação por bases e cor escura, em geral moderadamente ácido e fortemente alcalino, com argila de atividade alta – está associada 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, apresentando 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 15mm 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 20mm e aqueles com menor frequência ficam em torno de 35mm, sendo que excepcionalmente podem chegar a 60mm (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 250mm e média anual de cerca de 1500mm (ROMÃO, 2006). No mês de janeiro, a frequência de precipitações tende a se reduzir, bem como sua intensidade, sendo

que, ainda que ocorram grandes eventos pluviométricos na casa dos 60mm, eles tendem a ocorrer de forma isolada, com a média em torno de 32mm. 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 100mm (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 10mm (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 e 31°C, muitas vezes chegando a índices superiores a 35°C. Os meses mais frios correspondem a junho e julho, com médias das mínimas oscilando entre 13 e 18°C. A esse mesmo período associam-se os menores índices de umidade relativa do ar, com 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 a alterações, bem como a 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 adensa-

mento 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 fundamentam-se no paradigma sistêmico, conforme ilustrado pela Figura 9 e descrito em seguida.

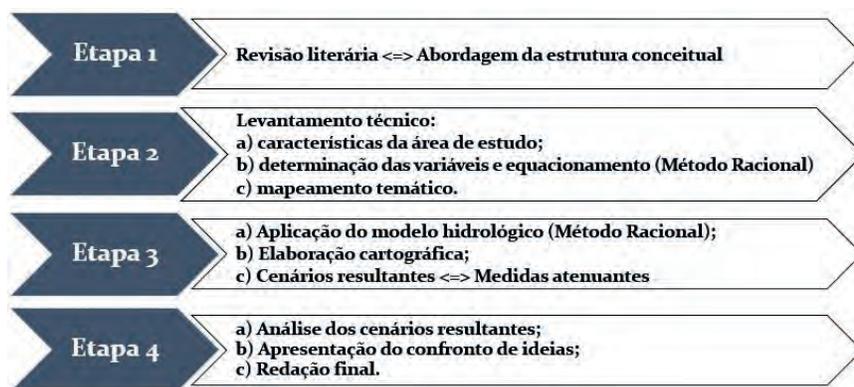


Figura 9: Roteiro geral adotado na pesquisa
Fonte: elaborado pela autora (2018).

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 em fim realizar-se aplicação com álgebra matricial no *software* Arc Gis 10.3. Essa etapa compreendeu também 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.

- 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 30m e resolução espectral de sete bandas, coletadas gratuitamente no site do United States Geological Survey (USGS), ou seja, Serviço Geológico dos Estados Unidos.

Para recortes espaciais detalhados, localização e dimensionamento, utilizou-se de ortofotos de Goiânia, com 0,50m 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 (Sectec).

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 1m 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:

$$Q_{\max} = C_i A / 3,6 \quad \text{Equação 1}$$

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:

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

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 intercepções e retenções em depressões.

Esse 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 número de escoamento (CN), 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 13mm e menor que 53mm.

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

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; 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 Vilella e Mattos (1975). Esses autores afirmam que a intensidade-duração-frequência (IDF) dos eventos meteorológicos utiliza o histórico de chuvas disponibilizado pelo INMET para o período correspondente a esta pesquisa.

Conforme sistematizado por Oliveira *et al.* (2005) para a região de Goiânia o IDF equivale à seguinte Equação:

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

Em que:

Im = 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 a 2018. Estes são determinados pelo Método Cinemático, conforme o SCS (1971), por meio da Equação 6:

$$Tc = 1/60 \times \Sigma \frac{Li}{Vi} \quad \text{Equação 6}$$

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 Equação 7 (PORTO, 1995):

$$Vi = C \times Si^{0,5} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

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

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

S_i = 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 a seguir:

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

Em que:

θ = coeficiente de retardamento em função da área da bacia;

0,278 e 0,00034 são constantes;

S = área da bacia em 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 à 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; 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.

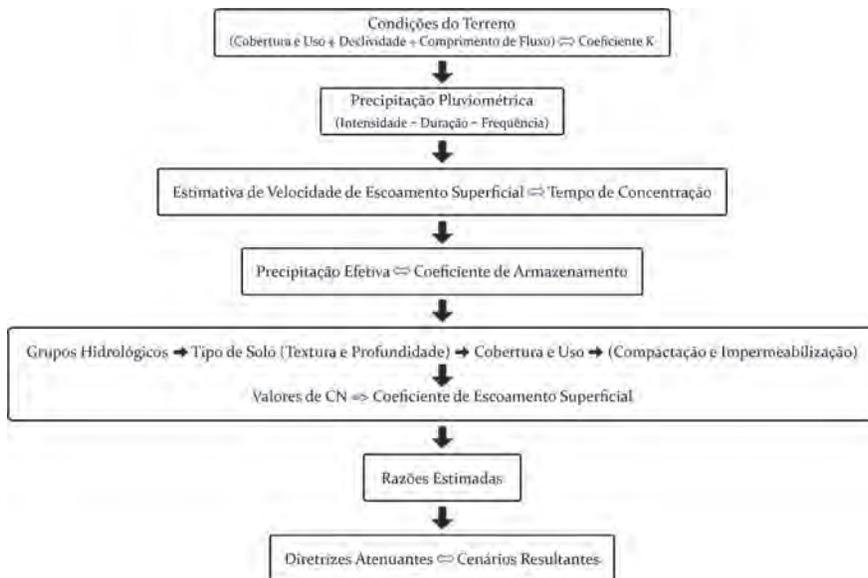


Figura 10: Fluxograma metodológico para aplicação do modelo hidrológico
Fonte: elaborado pela autora (2019).

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 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. 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, determinada 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 diante dos Cenários Propostos para Atenuação dos Efeitos do Adensamento Urbano

A partir da aplicação do modelo estabelecido para 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: avaliam-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 determinam-se 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 $-1/3$;

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 por causa de toda contribuição da sub-bacia à montante. Para determinar o valor de R (raio hidráulico) baseou-se 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.

Aplicada a fórmula, obteve-se velocidade média na seção (V) de 0,59667 m/s. Com área da seção transversal (A) de 44,44 m², 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 m³/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 qualiquantitativos, os mesmos são apresentados nas formas de mapas/figuras e/ou gráficos, com a proposição de duas medidas recomendadas 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, como também análise de sua importância ante o 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 isso, conclui-se que ela passou por diversas alterações referentes ao tipo de cobertura e uso do solo urbano. Visando então analisar e quantificar essas transformações ao longo do período de estudo (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 a 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 à 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. Esses fatores diminuem a capacidade de infiltração e aumentam circunstancialmente a velocidade do escoamento superficial.

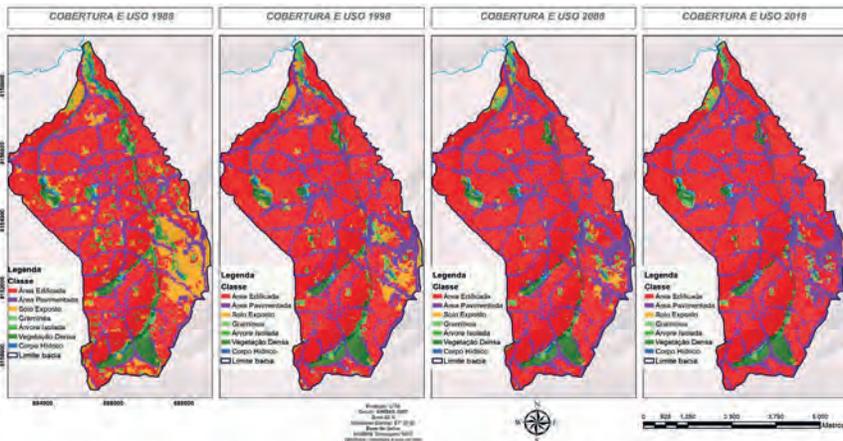


Figura 11: Mapas da evolução temporal da cobertura e uso do solo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita 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 se encontravam edificados 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 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.

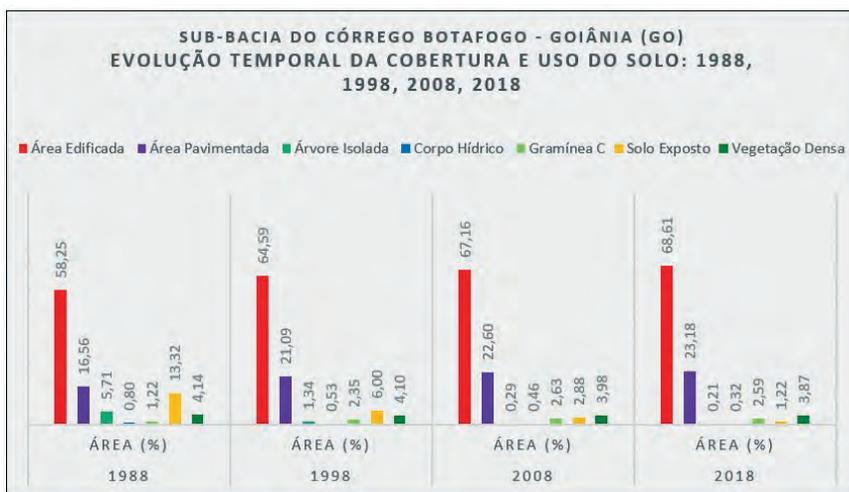


Figura 12: Evolução temporal da cobertura e uso do solo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

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 km² (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 a 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 a 1,22% de área de solo exposto na sub-bacia do Córrego Botafogo. Constatou-se que, proporcionalmente ao longo das décadas analisadas em que a área edificada aumenta relativamente, o percentual de área de solo exposto diminuiu.

Esses fatos são o reflexo do processo de urbanização no Brasil, que se intensificou nas décadas de 1980 a 1990, 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, é associado à valorização do terreno, à especulação imobiliária e ao forte processo de verticalização do espaço urbano ocorrido nas últimas décadas em Goiânia.

Analisando área de vegetação densa, percebe-se que diminuiu ao longo do tempo observado, representando 4,14%, em 1988, e 3,87%, em 2018, sinalizando que 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 a área que corresponde à 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 a 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 tais 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 (PD) 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.

Esses 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 apresentada 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, apresentada logo em sequência, pela Figura 14.

O coeficiente K é uma variável adimensional que corresponde ao grau de antropização ocorrida em determinada área (TOMAZ, 2010), ou seja, quanto 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.

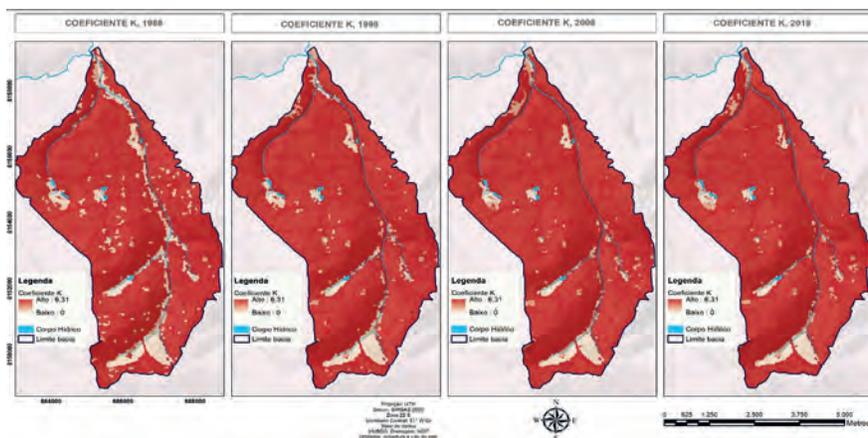


Figura 13: Evolução do grau de antropização para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

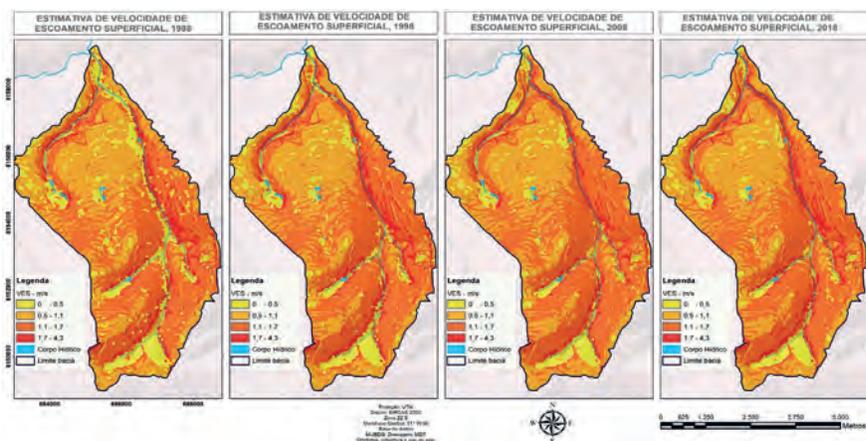


Figura 14: Estimativas de velocidade de escoamento superficial para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)
 Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC.
 Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

Quanto à 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 ocorre na passagem da década de 1988 para 1998. E dessa década em questão até 2018 esse coeficiente se manteve estável, acompanhando a evolução da urbanização ocorrida na sub-bacia, como já discutido, perante alterações de cobertura e uso do solo urbano.

Ainda em relação à 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 13, 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 à 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 são mais influenciadas pela declividade do terreno na área em questão. Observa-se portanto que a estimativa de velocidade nas porções mais planas, localizadas 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 à 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 essa faixa na área estudada, assim como o 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 e 4,3 m/s. À 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 a 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, ocorreram 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 será 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 é uma característica que afeta 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 nas 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.

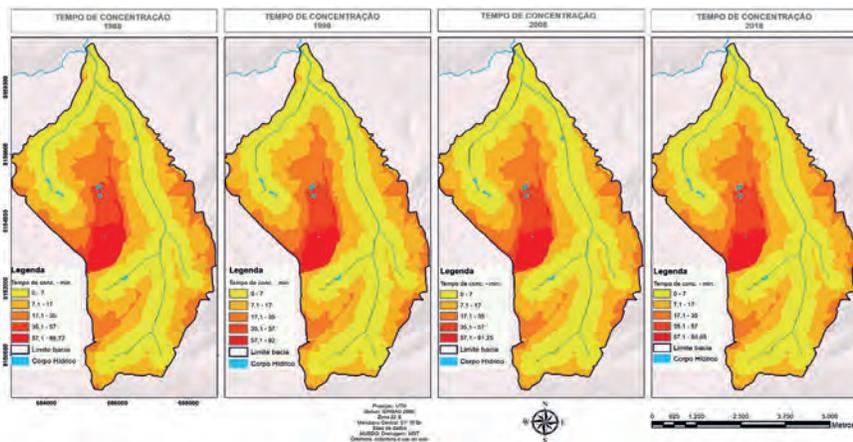


Figura 15: Tempo de concentração (tc) para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita 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 os canais de drenagem. Para tanto, foram observadas 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 17,1-35min. 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. Porém, 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 na medida em 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, 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 à estabilidade da sub-bacia antropizada, ficando, em 2008, com tc de 81,25 min. e, em 2018, de 80,88min. 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 IDF 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 a proposta por Villela e Mattos (1975), que relaciona a IDF dos eventos meteorológicos sendo sistematizada 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. Essas informações subsidiaram a estimativa do coeficiente K, da velocidade de escoamento superficial e tempo de concentração, no período de estudo, de 1988 a 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

Ano	IMMP (mm)	TC (min)	TC (h)	Pc (mm)
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 na Tabela 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. 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, 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).

Assim, considerando os valores apresentados na Tabela 2, constatou-se que para 1988 tem-se que a partir de IDF de chuva gerando IMMP no valor de 48,98mm em tempo de concentração de 1,44h gerou precipitação considerada de 70,79mm, ponto extremamente crítico na sub-bacia. Para 1998, com IMMP de 50,84mm e com o tempo

de concentração de 1,36 h, a sub-bacia teve o cenário crítico no canal principal com precipitação considerada de 69,48mm. Em 2008, com IMMP de 51,15mm e tc de 1,35h, a precipitação considerada foi de 69,27. Já em 2018, a tendência continua sendo que IMMP aumenta para 51,30mm, o tc diminui para 1,34h e, conseqüentemente, o canal principal teve seu momento crítico com precipitação considerada no valor de 69,15mm.

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; SEIBERT, 2018).

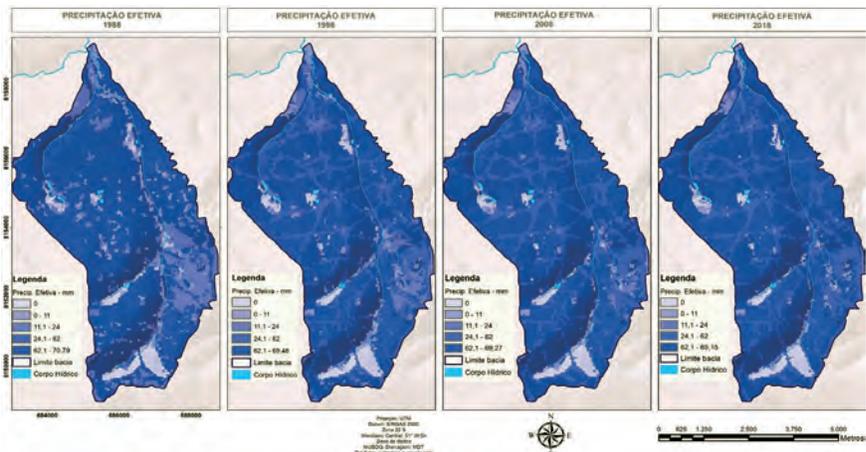


Figura 16: Precipitação efetiva para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

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 à cobertura e ao 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 áreas de vegetação densa (parques urbanos) e vegetações remanescentes são ambientes em que não há precipitação efetiva, ou seja, não existe contribuição para o escoamento superficial, pois contribuíram 100% para a infiltração.

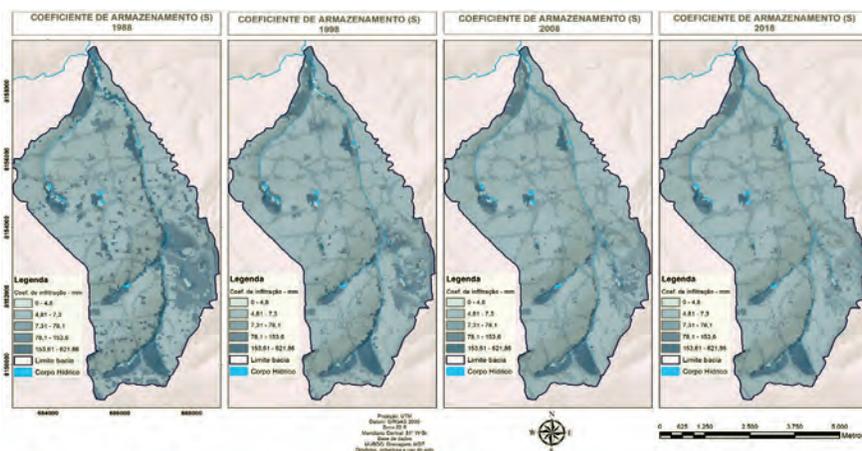


Figura 17: Coeficiente de infiltração (S) para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

Considerando os valores apresentados na Tabela 2 e 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 70,79mm, em 1998 diminui para 69,48mm, na década

seguinte, em 2008, a precipitação considerada e precipitação efetiva máxima foi de 69,27 e já em 2018 ficou no valor de 69,15mm para ambas precipitações determinadas. Este fato se dá porque, nos espelhos d'água superficiais (canais fluviais) localizados 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 ela foi diminuindo ao longo do tempo. Verifica-se, portanto, que, à medida que a cobertura e uso na sub-bacia do Córrego Botafogo foi alterada, se tornando mais impermeabilizada, proporcionalmente, ocorre o mesmo em relação à 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 dimensão.

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 0-11mm e de 11, 1-24mm, 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, 79mm 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 e 62mm, e quando edificada fica entre 62,1mm e valores máximos de precipitação para cada ano (1998: 69,48mm; 2008: 69,27mm; e 2018: 69,15mm). Ressalta-se que o

valor final máximo de precipitação efetiva para cada ano corresponde aos espelhos d'água, conforme já explicado, e que 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 ocorre 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 621,86mm 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 0-4,8mm e de 4,81-7,3mm, 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.

Diante do exposto, Gorniack (2014, p. 36) 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 à rugosidade e à 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.

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 apresentado 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

Legenda: * Figura 16.

Fonte: elaborado a partir dados de CN por Tucci e Marques (2001 apud NUNES; BORBA, 2018).

Nota: adaptado conforme valores equações 2, 3 e 4 pela autora (2019).

A partir do CN foi possível estabelecer o coeficiente de escoamento superficial (CES) que é apresentado na Figura 18.

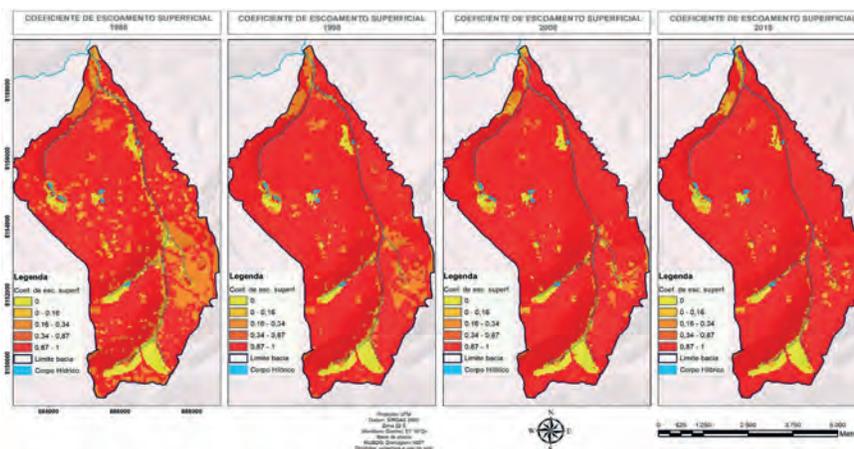


Figura 18: Coeficiente de escoamento superficial (CES) para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

Conforme apresentado na 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; 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 às 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, 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 em sua totalidade, com CES entre 0,87 a 1, consequência do forte grau de impermeabilização.

4.2.5 Estimativa de vazão

Tucci (1997, p. 27) apresenta a seguir 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.

Para determinar a estimativa de vazão máxima na sub-bacia, conforme a 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 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 às estimativas de vazão máxima, percebe-se que em 1988 a vazão era de $38,1\text{m}^3/\text{s}$, 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 $51,91\text{m}^3/\text{s}$. É, como esperado, o maior aumento relativo, sendo que em 2008 a vazão fica em $58,8\text{m}^3/\text{s}$ e em 2018 atinge

62,27m³/s. Fica evidente como a impermeabilização na sub-bacia influencia diretamente no aumento da estimativa de vazão que contribui 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, ocorre conseqüentemente 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.

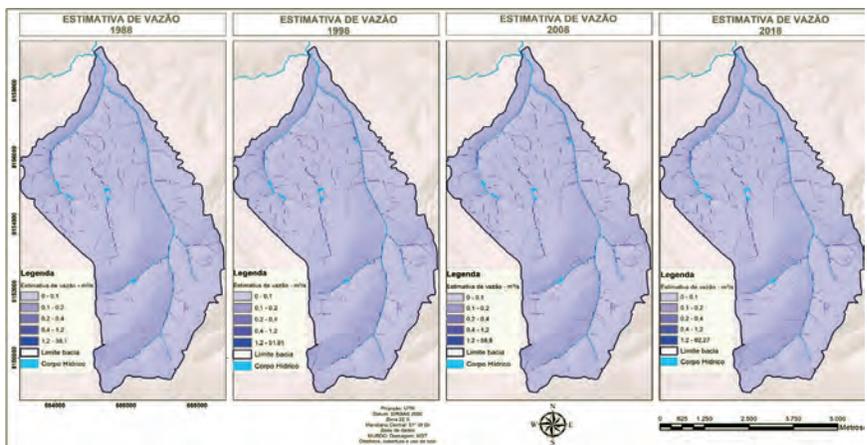


Figura 19: Estimativa de vazões máximas para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018 na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

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 se acredita 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 o 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 estacionamentos *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, como também demonstra que o Plano para Controle de Águas Pluviais e de Drenagem Urbana (Lei Municipal nº 9511/2014) é falho por não levantar esses fatores e não determinar medidas pontuais de intervenção, como no dimensionamento de estruturas de micro e/ou macrodrenagem e inserção de barragens/bacias de contenção em locais pontuais de forma a melhorar a drenagem urbana em Goiânia.

Como consequência dessa 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 que a topografia, conforme já apresentado pela Figura 7, forma o efeito gradiente, tornando essa 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, fazendo com que a vazão (escoamento) perca velocidade e, associada à convergência de fluxo, se torne uma área onde de fato ocorrem historicamente os episódios de alagamento ao longo da Marginal Botafogo, bem como o transbordamento do Botafogo, 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 como os resultados e discussão dos mesmos será demonstrado 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 com infiltração de água (área permeável), considerando 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 à cobertura e ao uso do solo, a classificação de área segue o padrão es-

tabelecido na estrutura deste trabalho, com área edificada, pavimentada, solo exposto, gramínea compactada, árvore isolada e vegetação densa, visto que a quantidade de cada classe continua com a mesma porcentagem para o ano de 2018. O que altera é apenas a inserção da divisão dos lotes na área edificada.

Sendo o CN para área edificada 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.

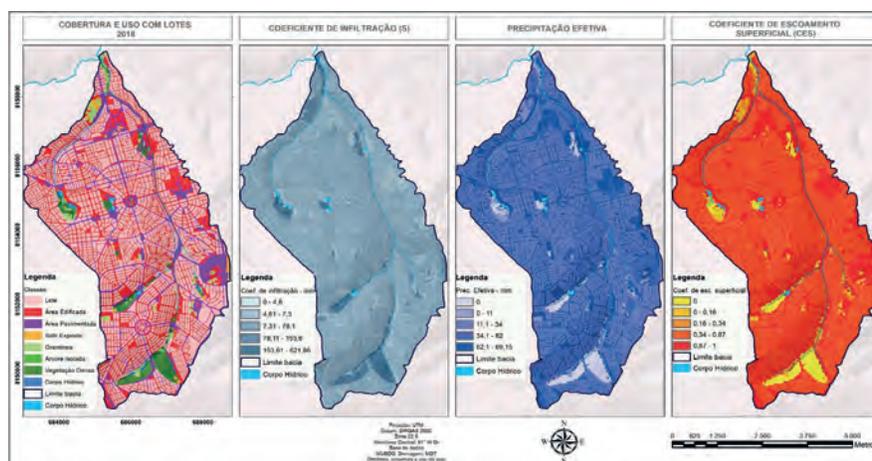


Figura 20: Cobertura e uso, coeficiente de infiltração, precipitação efetiva e coeficiente de escoamento superficial para cenário com 15% de área permeável por lote na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

Em relação às alterações no sistema hidrológico, o modelo adotado subtraiu 15% de área permeável em cada lote. Analisando a Figura 20, o coeficiente de infiltração, verifica-se que as áreas verdes continuam proporcionando maior taxa de infiltração, e que, diferente dos valores definidos de forma geral, como feito anteriormente, com a inserção dos lotes, o coeficiente de infiltração com menor con-

tribuição (0-4,8mm) fica exclusivamente onde a área com terreno é totalmente edificada e/ou pavimentada (impermeabilizada), com os lotes passando a contribuir na infiltração (4,81-7,3mm).

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

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 a 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).

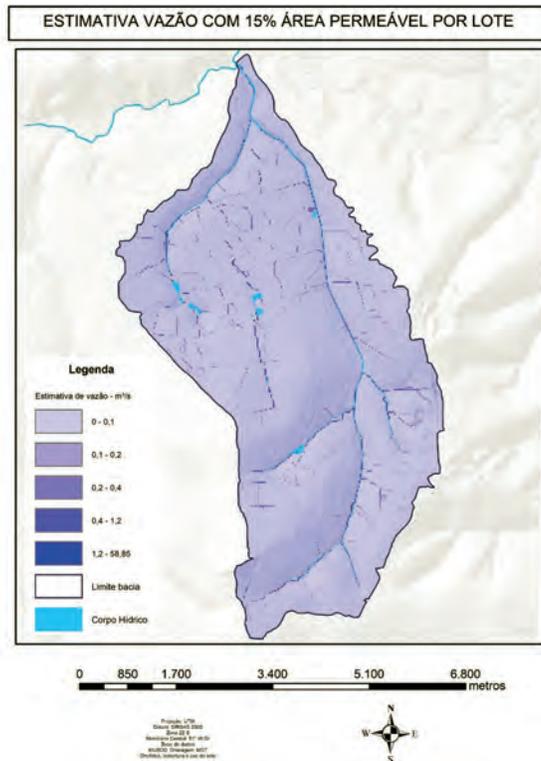


Figura 21: Estimativa de vazão para cenário com 15% de área permeável por lote na sub-bacia do Córrego Botafogo, Goiânia (GO)

Fonte cartográfica: MUBDG/SEC-TEC.

Nota: elaboração cartográfica feita pela autora (2019).

Analisando a Figura 21, percebe-se que as linhas de fluxo que convergem para o canal do Córrego Botafogo continuam 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 m³/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, consi-

derando ano de 2018, a redução é praticamente insignificante, já que a estimativa de vazão ficaria em 58,85 m³/s, conforme a Figura 21.

Tais resultados, considerando intensidade média máxima de precipitação de 69,15mm (2018), apresentando a vazão real de contribuição da sub-bacia de 62,27 m³/s, para 2018, quanto à vazão de 58,85 m³/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 m³/s, conforme determinada pelos cálculos realizados considerando a fórmula de Manning (Equação 9).

Ressalta-se que como a sub-bacia já se encontrava urbanizada quando foi estabelecido o Plano para Controle de Águas Pluviais e de Drenagem Urbana em 2014, 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 são insuficientes para reduzir substancialmente a vazão que causa efeito acumulativo no canal do Córrego Botafogo, uma vez que a vazão suportada pelo canal é de 26,51 m³/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 que mais contribuem para o efeito acumulativo no canal do Córrego Botafogo para determinar os locais mais apropriados à construção de estruturas destinadas à captação de água e ao 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 alagamentos e/ou transbordamentos. Ressalta-se que não foram considerados aspectos legais sobre a propriedade dos terrenos aqui apresentados para receber estas estruturas de drenagem urbana.

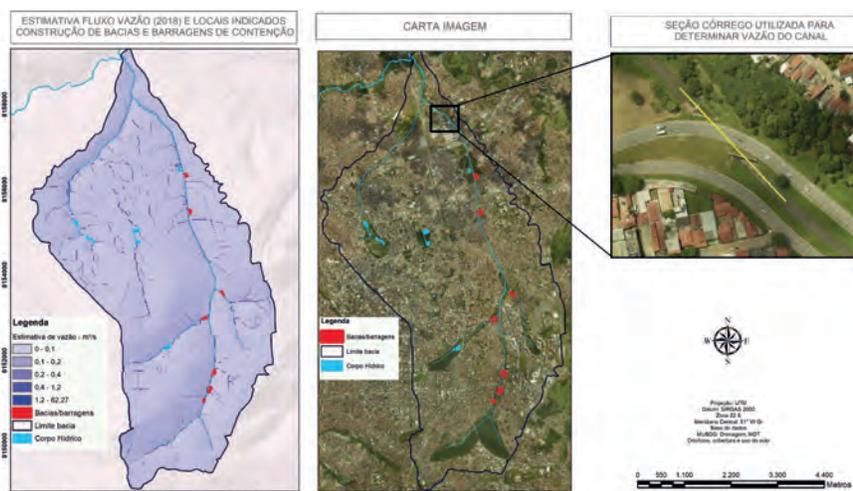


Figura 22: Estimativa de vazão e principais linhas de fluxo que convergem para o Córrego Botafogo e locais indicados à construção de bacias ou barragens de contenção na sub-bacia estudada em 2018

Fonte cartográfica: SEMDUS/MUBDG/SECTEC.

Nota: elaboração cartográfica feita 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 indicada 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, próximo à nascente, onde a declividade contribui com maior velocidade do escoamento superficial (Figura 22 – G), à margem esquerda no Córrego Areião (Figura 22 – D) e à 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 deve ser interceptado, tendo em vista que no início de precipitação nem todo fluxo converge para o canal principal, portanto é necessário deixar o fluxo fluir. Isso se dá pelo fato de que essas 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 $26,51\text{m}^3/\text{s}$, conforme determinado utilizando-se a Fórmula de Manning.

4.3.3 Ações necessárias para melhorias dos instrumentos de planejamento urbano ante o 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 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, a área se encontra praticamente antropizada integralmente e não há a aplicação do PD ao longo do Córrego Botafogo que determina faixa APP de 50m 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, promoveu a supressão da APP do Córrego Botafogo. Contudo, faz-se necessário uma fiscalização e aplicação dessas medidas também 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, 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 PD, 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, p. 98) explica o que falta nesta gestão da drenagem em bacias urbanas da seguinte maneira:

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 conseqüente 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.

Ressalta-se a importância de analisar a sub-bacia como um sistema em total conexão. Em função disso não se propõe a intervir na área onde ocorre o histórico de alagamentos, mas, sim, prevenir para que esses episódios não 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, seja por outras possibilidades que a engenharia atual permita. Ressalta-se ainda que seria necessário um estudo detalhado por parte do poder público e dos órgãos competentes para a viabilidade e construção de estruturas como barragens/bacias de contenção, bem como a formalização dos terrenos (espaços) destinados a recebê-las.

O PD de Goiânia está em fase de atualização. É importante que o poder público municipal apresente um Programa de Drenagem Urbana aplicável, atualizando o Plano para Controle de Águas Pluviais e de Drenagem Urbana. É fundamental uma revisão total desses 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. Esses instrumentos devem ser mais que um simples diagnóstico da realidade, mas 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).

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, levariam à diminuição da vazão que sobrecarrega a sub-bacia. Além disso poderiam ser aplicadas em todo município, diminuindo riscos parecidos em outras sub-bacias. Ressalta-se que para aplicação dessas medidas é importante a elaboração de estudos a serem realizados por profissionais competentes que determinarão metodologia segura e aplicável.

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

MEDIDAS ESTRUTURAIS	MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS
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).

Nota: adaptado pela autora (2019).

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 69,15mm com tempo de concentração em 1,34h (80,88 min.), influenciada pela impermeabilização da área com capacidade de infiltração (4,8-7,3mm), gera maior área com escoamento superficial máximo em 1, fazendo com que a estimativa de vazão da sub-bacia atinja 62,27 m³/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 m³/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 à porcentagem elevada de área impermeabilizada, gerando o efeito acumulativo no canal principal.

Outro fator a se considerar é quanto à construção de *shoppings*, hipermercados, estádios ou empreendimentos que requerem áreas maiores destinadas aos respectivos estacionamentos, que são áreas com alto índice de impermeabilização e que contribuem fortemente para uma convergência de fluxo aos canais fluviais localizados em áreas mais baixas, como ocorre na sub-bacia do Córrego Botafogo. Assim, sugere-se que as estruturas de drenagem nesses empreendimentos sejam consideradas relevantes, assim como a adoção de pisos com material permeável, de forma a contribuírem para o escoamento superficial nas bacias em que se localizam.

Com a simulação do Cenário 1, evidenciou-se que 15% de área permeável por lote seriam insuficientes para reduzir substancialmente a vazão que causa efeito acumulativo no canal do Córrego Botafogo, e que essa 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 realizada a prospecção de locais indicados a serem construídas 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, à capacidades de retenção e aos mecanismos estruturais seguros para instalações desses 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 atentar à reformulação das medidas estruturais e não-estruturais de drenagem urbana a serem aplicadas.

Observou-se que vários trabalhos na área de planejamento urbano vêm contribuindo para o desenvolvimento de pesquisas perante a necessidade de instrumentos de ordenamento, como o caso do PD.

É importante destacar que parcerias futuras entre a academia e órgãos gestores poderão 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 nos 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 à diminuição da vazão que sobrecarrega o canal principal na sub-bacia do Córrego Botafogo como, por exemplo, 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/AFParques% 20LinearesWeb.pdf](http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AFParques%20LinearesWeb.pdf). Acesso em: 03 abr. 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: Encuentro 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. Acesso em: 01 jul. 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, Goiás, Brasil, 2015.
- ANTONUCCI, Denise; ALVIM, Angélica A.T. Benatti; ZIONI, Silvana; KATO, Volia R. C. *UN-Habitat: das declarações aos compromissos*. São Paulo: Editora Romano Guerra, 2010.
- ARAÚJO, 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. 2008.

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

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Agenda 21 Brasileira*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1992. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-brasileira>. Acesso em: 15 maio 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/l10257.htm. Acesso em: 16 de maio 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/l9433.htm. Acesso em: 03 jul. 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/l11445.htm. Acesso em: 29 de maio 2018.

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

CARLOS, Ana Fani Alessandri. A metrópole de São Paulo no contexto da urbanização contemporânea. *Revista Estudos Avançados*, São Paulo, v. 23, n. 66, 2009.

CARMO, Wagner José Elias; MARCHI, Luciana Favaleza de. Uma visão holística do plano diretor de drenagem urbana. *Jus.com.br.*, 2013.

Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/25944/uma-visao-holistica-do-plano-diretor-de-drenagem-urbana>. Acesso em: 28 maio 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, 2014.

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

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

CUNHA, Sandra Baptista; GUERRA, Antônio José Teixeira. Degradação Ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 5. ed. Rio de Janeiro: Berthrand Brasil, 2004.

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

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

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, 2013. p. 478.

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, 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, 2013.
- GOBBI, Leonardo Delfim. *Urbanização brasileira*. G1 Educação. Série: Geografia. Tema: Urbanização. 2018. Disponível em: <http://educacao.globo.com/geografia/assunto/urbanizacao/urbanizacao-brasileira.html>. Acesso: 21 jul. 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. 1994.
- 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. Acesso em: 25 jul. 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/lo20141215000009511.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2018.
- GORNIACK, Adilson. *Avaliação de Método de Controle do Escoamento Superficial para Drenagem Urbana Sustentável na Bacia do Rio Itapocu-SC*. Dissertação (Mestrado) – MPPT/UEDESC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 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)*, n. 7, p. 62-73, jan./abr. 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 jul. 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, 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... Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo*, 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*, v. 77, n. 1, p. 385-397, fev. 2018.
- 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*, 2016. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VIII-074.pdf>. Acesso em: 03 jul. 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, jul./2012. p. 1-11.
- MARQUES, Paulo Henrique Gonçalves. *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*. UOL Educação. Série: Geografia, 2006. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/urbanizacao-do-brasil-consequencias-e-caracteristicas-das-cidades.htm>. Acesso em: 17 maio 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. *National Engineering Handbook Hydrology Chapters*. NRCS: Washington, D. C., 1997. 79p.

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, Goiânia, Goiás, Brasil, 2011.

NUNES, Elizon Dias; BORBA, Lana Lima. Avaliação dos efeitos do adensamento urbano na dinâmica hidrológica de bacias hidrográficas - Aparecida de Goiânia-GO. *Boletim Goiano de Geografia*, 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*, São Paulo, n. 12, p. 125-140, 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 (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, 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, 1976. 278p.
- 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, 1995. p. 107-162, v. 5.
- 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, 2004. p. 805-847.
- PRIETO, Immaculada; MENEZES, Murilo; CALEGARI, Diego. *Plano Diretor: como é feito e pra que serve?* Site: Politize. Série: Planejamento Urbano, 2017. Disponível em: <http://www.politize.com.br/plano-diretor-como-e-feito/>. Acesso em: 21 maio 2018.
- QUEIROGA, Antônio. *Requalificação urbano paisagística - Parque Linear Botafogo*. Monografia (TCC de Arquitetura e Urbanismo) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Brasil, 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 (Doutorado) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 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, 2009.

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

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

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

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

SIKORSKA, Anna E.; VIVIROLI, Daniel; SEIBERT, Jan. Effective precipitation duration for runoff peaks based on catchment

modelling. *Journal of Hydrology*, v. 556, p. 510-522, jan. 2018. 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*. 10. ed. São Paulo: Editora Contexto, 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*, Fortaleza-CE, v. 16, e16001, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16001>. ISSN: 1984-2201.

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. National Engineering Handbook, USDA, Washington D.C., 1971. 127p.

TAKEDA, Tatiana. *Uso e ocupação do solo urbano*. Site: JurisWay, 2013. Disponível em: https://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=12363. Acesso em: 16 maio 2018.

TOMAZ, Plínio. *Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis*. Noções de hidrologia. ed. 1. 2010. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov_aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf. Acesso em: 09 jan. 2019.

TOMAZ, Plínio. *Fórmula de Manning*. Noções de hidrologia. ed. 1., 2010.

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

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

- TUCCI, Carlos E. M. Águas Urbanas. *Revista Estudos Avançados*. n. 22, p. 97-112, 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*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal Rio Grande do Sul/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 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/>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- 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. 05, ano VI, maio 2004. Disponível em: <http://www.comitepardo.com.br/boletins/2004/boletim05-04.html>. Acesso em: 13 maio 2018.
- VILLAÇA, Flávio. *Espaço interurbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel, 1998.
- VILLAÇA, Flávio. As ilusões do Plano Diretor. *Revista USP*. 1. ed. São Paulo, 2005.
- VILLELA, Swami M.; MATTOS, Arthur. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 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

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 Moraes Neto Córrego Serrinha	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações 1.2.2.0.0- Enxurradas
05	Parque Amazonas	Rua Anacá, Chácara 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 Maurício 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 Kubitschek 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 Moraes 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 em frente à 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 à 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 próximo à Faculdade Padrão	1.2.3.0.0- Alagamento
20	Jardim América	Rua C-206 com rua C- 198 próximo ao Bar Mourão	1.2.3.0.0- Alagamento
21	Setor Bueno	Av. T -9 próximo ao Clube Oásis	1.2.3.0.0- Alagamento
22	Setor Bueno	Av. T-10, ao lado do Parque Vaca Brava, Goiânia Shopping	1.2.3.0.0- Alagamento

23	Setor Bueno	Av. T-8, esq. com T- 27, próximo ao Instituto Ortopédico	1.2.2.0.0- Enxurradas
24	Setor Bueno	Avenida T-8 com T-30, próximo à Praça Gilberto da Veiga	1.2.3.0.0- Alagamento
25	Conjunto Caiçara	Rua Dona Maria Kubitschek/Irmã Helena de Figueiredo	1.2.3.0.0- Alagamento 1.2.1.0.0- Inundações
26	Campinas	Av. Anhanguera com Quintino Bocaiuva	1.2.3.0.0- Alagamento
27	Centro	Av. Dona Gercina Borges com Alameda dos Buritis	1.2.2.0.0- Enxurradas
28	Centro	Av. 85 com Praça Pedro Ludovico Teixeira	1.2.2.0.0- Enxurradas
29	Centro	Av. Paranaíba com Rua 23, em frente ao Estádio Olímpico	1.2.3.0.0- Alagamento
30	Centro	Avenida Paranaíba, em frente ao Ginásio Rio Vermelho	1.2.3.0.0- Alagamento
31	Cidade Jardim	Av. Armando de Godoy, próximo ao Detran	1.2.3.0.0- Alagamento
32	Setor Coimbra	Rua 217 com Praça A	1.2.3.0.0- Alagamento
33	Curitiba III	Av. Oriente com Rua JC-51	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, próximo à 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 com rua SP 19	1.2.3.0.0- Alagamento
40	Itamaracá	Próximo ao Ribeirão Anicuns	

Nota: todos os pontos tiveram ocorrências de grandes enxurradas, alagamento e inundações graduais, inclusive com vítimas fatais. Pontes e bueiros possuem guardas corpos inadequados, bocas de lobos ou de leão com aberturas sem proteções.

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

Financiamento:

Obra financiada com recursos obtidos via Edital de Seleção Pública de Projetos para Concessão de Patrocínio N° 001/2021, do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Goiás (CREA-GO), Processo N° 77160/2021.



Uso de imagens:

Na obra, o uso das imagens foi devidamente autorizado pelos detentores dos direitos autorais, estando os documentos autorizatórios, tal como apresentados pelos autores, arquivados na Editora da Pontifícia Universidade Católica de Goiás.



SOBRE O LIVRO

Formato: 16 x 22 cm

Mancha Gráfica: 11,5 x19 cm

Tipologia: Minion Pro 12

Miolo: Papel Alta Alvura 90 g/m²

Capa: Papel Cartão Supremo 250 g/m²

Os textos conferem com os originais,
sob responsabilidade dos autores.

ESTA PUBLICAÇÃO FOI ELABORADA PELA EDITORA
DA PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
E IMPRESSA NA DIVISÃO GRÁFICA E EDITORIAL DA
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

Rua Colônia, Qd. 240-C, Lt. 26 a 29, Chácara C2,
Jardim Novo Mundo. Goiânia, Goiás, Brasil || CEP 74.713-200
Secretaria +55 62 3946.1814 || Coordenação +55 62 3946.1816

Quem ler este livro se atualizará sobre as dinâmicas de drenagem urbana na sub-bacia hidrográfica do Córrego Botafogo e como o processo de crescimento das cidades deve passar por observação e planejamento, de tal modo que, as consequências sejam benéficas à população e ao meio ambiente. A impermeabilização do solo, supressão da cobertura vegetal, canalização e redução do potencial hídrico de drenagem natural do córrego, e a infraestrutura do sistema de drenagem promovem alterações na dinâmica hidrológica (tempo de concentração, precipitação efetiva, infiltração, escoamento superficial, estimativas de vazões). Ao final, concordo com os autores desta obra: a reflexão sobre as cidades e o meio ambiente é fundamental para se encontrar o equilíbrio da sustentabilidade.

Eng. Civil Lamartine Moreira Junior
Presidente do Crea GO



Patrocínio:

