



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA GERAÇÃO DE ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUIÁ, JOÃO PESSOA,
PARAÍBA, BRASIL**

NOILDA ANDRÉA DIAS SOUSA

João Pessoa, PB

Outubro de 2018

NOILDA ANDRÉA DIAS SOUSA

**INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA GERAÇÃO DE ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUIÁ, JOÃO PESSOA,
PARAÍBA, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso
com pré-requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental pela Universidade
Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Gustavo Barbosa
Lima da Silva

JOÃO PESSOA

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S725i Sousa, Noilda Andrea Dias.

Influência da urbanização na geração de escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Cuiá, João Pessoa, Paraíba, Brasil / Noilda Andrea Dias Sousa. - João Pessoa, 2018.

77 f.

Orientação: Gustavo Barbosa Lima da Silva Silva.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Drenagem urbana. 2. modelagem hidrológica. 3. planejamento urbano. 4. Sistemas de Suporte à Decisão. 5. ABC6. I. Silva, Gustavo Barbosa Lima da Silva. II. Título.

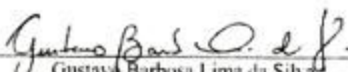
UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

NOIL DA ANDRÉA DIAS SOUSA


ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA GERAÇÃO DE
ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUTÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 04/10/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:



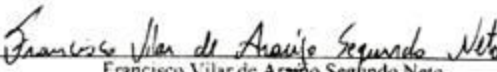
Gustavo Barbosa Lima da Silva
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA



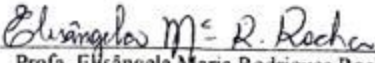
Camila Cunico
Universidade Federal da Paraíba

APROVADA



Francisco Vilar de Araújo Segundo Neto
Universidade Federal da Paraíba

APROVADO



Profª. Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Profª Elisângela M. R. Rocha
Coord. CCGEAMCT/UFPB
Mat. SIAPE 1821373

AGRADECIMENTOS

Como sendo meu alfa, agradeço em primeiro lugar a **Deus** por estar comigo sempre, seja caminhando comigo nos momentos de felicidade ou me carregando nos braços quando eu não aguentava caminhar com minhas próprias pernas.

À minha mãe **Francilene** por me ter feito gente em todos os aspectos, acadêmicos, psicológicos, sentimentais, odontológicos e todos que se possam imaginar. Pelo seu esforço sobre-humano durante toda a minha vida, espero poder dar algum retorno com as minhas conquistas.

Ao meu pai **Riovany** por ter me mostrado que não é necessário cometer certos erros para aprender na vida e que, ao invés, podemos aprender com os defeitos dos outros o tipo de pessoas que não queremos ser. Mesmo com sua forma singela de amar, eu finalmente entendo o significado de “eu tô na rua mas tô pensando em vocês”.

À minha irmã **Naiane** por me mostrar que a felicidade não existe sob uma só forma de viver, mas que existem várias maneiras de aproveitar a vida e que devemos aprender a lidar com pessoas diferentes de nós mesmos.

Ao meu namorado **Paolo**, simplesmente por me mostrar o que significa ter sua alma conectada a outra pessoa, por me encorajar a explorar o planeta em que vivemos de forma simples e livre, e finalmente por ser a combinação perfeita de amor *philos* e *eros*.

Aos meus tios **Rivana** e **Livieto** e padrinhos **Neide** e **Luis Henrique** por terem sido como segundos pais para mim durante toda minha vida.

À **vovó Gracinha** por ter sempre cuidado de mim e por ter ajudado a minha mãe quando eu quis estudar no João XXIII. A **vovô Francisco** e **vovô Aua** por sempre terem sido meu exemplo de pessoas trabalhadoras.

Aos meus familiares, avós, tios, primos, por me proporcionarem um ambiente familiar tão agradável, por serem amáveis e fazerem as melhores festinhas de aniversário em dias de semana à noite. Um salve para as pessoas “da casa de tia Jane e de tia Rivana”.

Ao meu orientador **Gustavo Lima** por ter sido um professor exemplar desde os primeiros momentos em Mecânica dos Fluidos, também durante as disciplinas de Drenagem e Modelagem e pela paciência e orientação durante todo o período de concepção desse TCC.

Aos meus irmãozinhos de estimação **Nina** e **Bartolomeu**, e **Nhunhu** que se foi durante a preparação desse TCC e não está mais entre nós mas que me marcou pela sua

inocência em explorar o mundo a sua volta e por seu amor leve e divertido. Agradeço tanto pelo amorzinho desses meus pequenos e pela diversão que eles me proporcionam.

A todos os professores que eu já tive até hoje, a algumas que me especialmente me marcaram como Tia **Lurdinha** do maternal, tia **Adeilda** da 1ª série, tia **Sulenir** da 4ª série, prof. **Elisângela** e **Camila Cunico** da universidade, e a todos outros que me marcaram abrindo portas do conhecimento para que eu pudesse entrar.

Ao professor **Francisco Vilar de Araújo Segundo Neto**, ou simplesmente Segundo, por ter me ajudado como um amigo no geoprocessamento de mapas desse trabalho. Ainda no ramo dos mapas, um agradecimento especial para **Antônio Costa** e **Leonardo Silva**, que não conheço pessoalmente, mas que ajudaram com as informações de delimitação de sub-bacias e usos e tipos de solo.

A todos os amigos que já fiz durante a vida, alguns que foram muito importantes entretanto não fazem mais parte do meu convívio mas que contribuíram de alguma forma para minha caixinha de memórias de momentos felizes. Um agradecimento de coração àqueles que permaneceram, principalmente aos **Batutinhas**, aos **BocoZidadeS**, à **Galera do Edsão** e a meus amigos de curso e do peito **Jordanna** e **Túlio** por serem as pessoas mais legais do mundo! Um carinho especial a minha amiga de curso **Virginia Insfran** que se tornou uma estrela no céu no meio da caminhada por continuar brilhando no céu sempre me lembrando de viver a vida intensamente.

Obrigada à Engenharia Ambiental por ter me levado a lugares que eu nunca imaginei que eu pudesse chegar na minha vida e a me fazer perceber que gostar de uma área de conhecimento não é amar.

Enfim, a toda e qualquer indivíduo que contribuiu para esse trabalho e para a pessoa que eu sou hoje, às vezes de forma negativa, outras de forma positiva, mas que me proporcionaram um aprendizado de alguma forma.

*“I’ll spread my wings and I’ll learn how to fly
Though it’s not easy to tell you goodbye
I gotta take a risk, take a chance, make a change
And breakaway
Out of the darkness and into the sun
But I won’t forget the place I come from
I gotta take a risk, take a chance, make a change
And breakaway”*

- Avril Lavigne

RESUMO

O processo de urbanização das cidades brasileiras causou, por meio do aumento da população, mudanças drásticas no espaço físico das cidades. O planejamento urbano precário contribuiu para a desorganização do espaço físico causando problemas econômicos, sociais e ambientais, tais como aumento das vazões máximas, aumento da produção de resíduos sólidos e perda de qualidade de água. O enfoque deste trabalho será em problemas de natureza hidrológica, mais especificamente em inundações, tendo como objetivo analisar a influência de diferentes cenários de uso e ocupação do solo na geração de escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Cuiá, João Pessoa, PB, área com aglomerações populacionais e de recorrência de inundações. Para isso, será utilizada uma ferramenta de Sistema de Suporte à Decisão, o *software* ABC6, que facilita a aplicação de modelos hidrológicos na área de estudo com o fim de se obter os hidrogramas relativos a diferentes cenários de uso e ocupação do solo. Os modelos utilizados para tal análise são o de Precipitação Efetiva e Hidrograma Unitário Sintético triangular ambos do Soil Conservation Service, os dois embutidos no ABC6. Estudos como esse são importantes para dar suporte às decisões de gerenciamento da drenagem urbana, no intuito de saber quais medidas de controle melhores se aplicam à situação. Viu-se que o processo de urbanização de uma área natural afeta profundamente o ciclo hidrológico urbano tornando o ambiente urbano mais vulneráveis a eventos de precipitação com altos índices pluviométricos.

Palavras chave: Drenagem urbana, modelagem hidrológica, planejamento urbano, Sistemas de Suporte à Decisão, ABC6.

ABSTRACT

The process of urbanization in Brazilian cities caused, through the increase of the population, drastic changes in the physical space of the city. Precarious urban planning contributes to the disorganization of the physical space causing economic, social and environmental problems, such as increase in river flow levels increase, growth of solid waste production and loss of water quality. This work will be focusing on hydrological nature problems, specifically floods, with the objective of analyzing the influence of different scenarios of land use and occupation in the generation of surface runoff in the Cuiá river basin, João Pessoa, PB, Brazil, area with population agglomerations and recurrence of floods events. To do so, a Decision Support System tool, the software ABC6, will be used to facilitate the application of hydrological models in the area of study in order to obtain hydrographs corresponding to different land use and occupation scenarios. The models used for such analysis are the SCS Effective Precipitation and SCS Triangular Synthetic Unit Hydrographs, both embedded in ABC6. Studies such as this are important to support urban drainage management decisions, in order to know what better control measures apply to the situation. It has been seen that the process of urbanization of a natural area profoundly affects the urban hydrological cycle making the urban environment more vulnerable to rainfall events with high rainfall rates.

Keywords: Urban drainage, hydrological modeling, urban planning, Decision Support Systems, ABC6.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Carroceiro cobra R\$ 5 para atravessar motos em alagamento na rua Brasilino Alves da Nóbrega em João Pessoa	16
Figura 2 - Evolução da área urbana de João Pessoa entre 1990 e 2006.....	18
Figura 3 – Correlação entre superfícies impermeáveis e a geração de escoamento superficial	19
Figura 4 - Efeitos da urbanização na potencialização de inundações e poluição	20
Figura 5 – Características do leito do rio	21
Figura 6 - Fatores que influenciam inundações	21
Figura 7 – Aparência de um hietograma construído por meio do método dos blocos alternados	22
Figura 8 – Variação da vazão devido a um evento de precipitação	23
Figura 9 – Princípio da proporcionalidade na teoria do hidrograma unitário	25
Figura 10 - Princípio da superposição na teoria do hidrograma unitário	28
Figura 11 – Estrutura do HU sintético triangular do SCS	29
Figura 12 – Delimitação e localização da bacia do rio Cuiá	30
Figura 13 – Ordens da rede de drenagem do rio Cuiá	31
Figura 14 – Configuração dos tipos de solo na bacia do rio Cuiá	40
Figura 15 – Imagens de satélite da bacia do rio Cuiá em dezembro de 1984	46
Figura 16 – Imagens de satélite da bacia do rio Cuiá em dezembro de 2016	47
Figura 17 – Atual uso e ocupação do solo da bacia do rio Cuiá	47
Figura 18 – Mapa com potenciais áreas de inundação da bacia do rio Cuiá	48
Figura 19 – Sub-bacias do rio Cuiá consideradas no estudo	51
Figura 20 – Sub-bacias no ABC6	52
Figura 21 – Informações topográficas da bacia do rio Cuiá	54
Figura 22 – Preenchimento da aba “Dados da Bacia” no ABC6	55
Figura 23 – Entrada de dados na aba “Precipitação” no ABC6	56
Figura 24 – Hietogramas das chuvas de projetos para os Tr de 25, 50 e 100 anos	57
Figura 25 – Hidrogramas para todos os cenários e tempos de retorno	61
Figura 26 – Hidrogramas de todos os cenários para uma chuva de projeto com tempo de retorno de 25 anos	62
Figura 27 – Hidrogramas de todos os cenários para uma chuva de projeto com	62

tempo de retorno de 50 anos	
Figura 28 – Hidrogramas de todos os cenários para uma chuva de projeto com	
tempo de retorno de 100 anos	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Módulos de funcionamento do ABC6	38
Tabela 2 – Tempos de retorno adotados para projeto de estruturas de drenagem	42
Tabela 3 – Os quatro tipos de solos considerados pelo método do SCS	44
Tabela 4 – Valores de CN para os usos e coberturas do solo encontrados na bacia do rio Cuiá	53
Tabela 5 – Exemplo de construção da tabela para cálculo do $CN_{\text{médio}}$	53
Tabela 6 – CNs obtidos por sub-bacia para cada cenário de uso e ocupação	58
Tabela 7 – Volume total escoado em cada simulação	58
Tabela 8 – Valores máximos de vazão e seus tempo de ocorrência para os diferentes cenários	60

LISTA DE SIGLAS

ABC6 – Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas
BH – Bacia Hidrográfica
CN – <i>Curve Number</i> ou Número de Escoamento
DEP – Departamento de Esgotos Pluviais
DNIT – Departamento Nacional de Estrutura de Transportes
HU – Hidrograma Unitário
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF – Intensidade Duração Frequência
IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas
LabSid – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões
MDE – Modelo Digital de Elevação
PNSB – Política Nacional de Saneamento Básico
SCS – <i>Soil Conservation Service</i>
SSD – Sistema de Suporte a Decisões
USP – Universidade de São Paulo
UTM – Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	MOTIVAÇÃO	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
2	ÁREA DE ESTUDO	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
3.1	A URBANIZAÇÃO E SEU DESDOBRAMENTO NO BRASIL E EM JOÃO PESSOA, PB	24
3.2	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE OS PROCESSOS HIDROLÓGICOS E NO SISTEMA DE DRENAGEM	26
3.2.1	Geração de escoamento superficial	26
3.2.2	Consequências de problemas de drenagem em ambientes urbanos	29
3.3	REGULAMENTAÇÃO E LEGISLAÇÃO EM DRENAGEM URBANA	32
3.4	A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO	35
3.5	A IDIOSINCRESSIA DO PLANEJAMENTO, DIMENSIONAMENTO E GESTÃO PÚBLICA DO SISTEMA DE DRENAGEM NO BRASIL	36
3.6	SOFTWARE ABC6	37
3.7	TEORIA DOS MODELOS HIDROLÓGICOS UTILIZADOS	39
3.7.1	Chuva de projeto	40
3.7.2	Precipitação Efetiva do SCS	42
3.7.3	Hidrograma Unitário	46
3.7.4	Hidrograma Unitário Sintético triangular do SCS	48
4	METODOLOGIA	50
4.1	DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE ANÁLISE E TEMPOS DE RETORNO	50
4.2	DEFINIÇÃO DOS <i>CURVE NUMBERS</i>	51
4.3	CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	54
4.4	CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO DE PROJETO	54
4.5	OBTENÇÃO DOS HIDROGRAMAS PARA OS DIFERENTES CENÁRIOS NO ABC6	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1	PRECIPITAÇÕES DE PROJETO	57
5.2	<i>CURVE NUMBERS</i> PARA TODAS AS SUB-BACIAS EM DIFERENTES CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO	58
5.3	HIDROGRAMAS	59
6	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICES	70

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos elementos mais importantes para o desenvolvimento das cidades ao longo da história. Os cursos d'água sempre estiveram intimamente conectados com o processo de sedentarização das populações, sendo um dos fatores mais influentes para a criação de assentamentos (BAPTISTA E NASCIMENTO, 2002). Contudo, com o aumento da população ao longo do tempo, ocorrem mudanças drásticas no espaço físico das cidades. Muitas vezes, essas modificações na paisagem vêm acompanhadas de diversos problemas, dentre eles, a alteração do ciclo hidrológico urbano, causando assim, problemas de natureza hidrológica.

Em relação a esses problemas de natureza hidrológica, conforme uma cidade vai ampliando sua área, verifica-se o surgimento de problemas. De acordo com Tucci (2008), esses problemas são:

aumento das vazões máximas [...] devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
aumento da produção de sedimentos devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (lixo);
e a deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

Inundações, dentre outros problemas de natureza hidrológica, afetam a qualidade de vida das pessoas que vivem em ambientes urbanos. Em eventos de precipitação extrema, problemas de alagamento e inundação se tornam mais frequentes, e, dependendo da sua intensidade, podem causar desde consequências leves como desconforto aos pedestres devido ao escoamento superficial, e até mesmo mortes e grandes perdas econômicas. O interesse que deve partir de órgãos governamentais de planejamento urbano deve dar importância às decisões mais custo-efetivas sobre investimentos em infraestrutura e decisões de futuros usos e ocupações do solo para minimizar o impacto das enchentes e assegurar um futuro sustentável para a população (EASTERN RESEARCH GROUP Inc., 2014).

À vista disso, o planejamento urbano se faz imprescindível. Conforme Tucci (2008), por intermédio do Plano Diretor Urbano, é feita uma previsão de como deve ocorrer a ocupação da cidade e também das ações que devem ser executadas para corrigir as condições atuais. Isso deve ser feito por meio da implantação de infraestrutura viária, de água, energia, comunicação e transporte recorrendo às premissa de uma gestão socioambiental, que deve ser municipal, estadual ou federal, conforme a estrutura institucional.

Nesse processo, estudos preliminares da influência do uso e cobertura da terra são de grande valia no desenvolvimento do zoneamento. Esses estudos podem ser feitos por meio de modelos que permitam avaliar os efeitos de mudanças no uso e ocupação sobre as vazões dos rios, e conseqüentemente no processo de enchentes.

Dessa forma, este trabalho tem como premissa de pesquisa que a urbanização causa aumento do volume de escoamento superficial e fará a quantificação desta diferença. Além disso, gerará um banco de dados que poderá auxiliar na tomada de decisões, podendo ser usado para diversos aspectos do planejamento urbano, como por exemplo a instalação de reservatórios, de canais artificiais, de superfícies impermeáveis, etc.

1.1 MOTIVAÇÃO

Enchentes são o perigo que mais causam desastres, morbidade e mortalidade em todo o mundo (DU *et al.*, 2010), uma vez que existe uma tendência a esse tipo de fenômeno ocorrer mais frequentemente. De 1994 a 2013, 71% dos desastres naturais no mundo foram de natureza hidrológica, sendo 43% desses enchentes (CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS, 2015).

Mesmo sabendo-se que custos com prevenção tem sido sempre inferiores aos de reconstrução e reabilitação, as enchentes ocorrem tão frequentemente pois as cidades normalmente não são previamente planejadas para suportar eventos como a chuva. O sistema que se mostra mais susceptível ao crescimento populacional é o de drenagem por dois motivos: os obstáculos que naturalmente ocorrem no processo de captação de águas pluviais como também a interferência de demais sistemas de infraestrutura no mesmo (BRASIL, 2015). Em outras palavras, com o aumento populacional, problemas como diminuição da capacidade de captação do sistema e ligações clandestinas são potencializados.

O planejamento ineficaz da drenagem urbana é uma situação comum no Brasil, causando inúmeros impactos econômicos, ambientais e sociais. Dados do IBGE (2013) mostram que entre 2008 e 2013 aproximadamente 28% das municipalidades brasileiras foram atingidas por 8.942 eventos de enchentes ou inundações graduais, sendo estas atingidas por 13.244 enxurradas ou inundações bruscas, conseqüentemente deixando um total de 1.406.713 desalojados ou desabrigados, acarretando um problema mais sério ainda, o de perdas humanas, que são irreversíveis e apelam para o patamar do direito

humano, pois afetam a prerrogativa à vida por conta da negligência na prevenção e planejamento.

A cidade de João Pessoa, PB também tem sofrido com eventos de inundações, não sendo diferente na bacia do rio Cuiá, objeto de estudo do presente trabalho, onde os efeitos de enchentes são potencializados quando os equipamentos urbanos se encontram nas planícies de inundações em eventos de precipitação. A bacia hidrográfica já é objeto de planos de ações preventivas fora do período de chuva por parte da Prefeitura devido a sua alta frequência de problemas de inundação.

Um exemplo desse tipo de problema é a rua Brasilino Alves da Nóbrega. Ela cruza o rio Cuiá na divisa dos bairros de Mangabeira e Valentina onde, em 2017, ocorreu um evento de chuva de 146,2 mm em 24 horas causando transtornos acentuados à população, que precisou atender a métodos não convencionais para poderem atravessar o local (Figura 1).

Figura 1 – Carroceiro cobra R\$ 5 para atravessar motos em alagamento na rua Brasilino Alves da Nóbrega em João Pessoa



Fonte: Annaline Araújo para G1 Paraíba, 2018.

Muitos outros eventos como esse, de maior ou menor magnitude ocorrem na área, causando diversos transtornos à população

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a influência da intensificação da urbanização na geração de escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Cuiá, João Pessoa, PB.

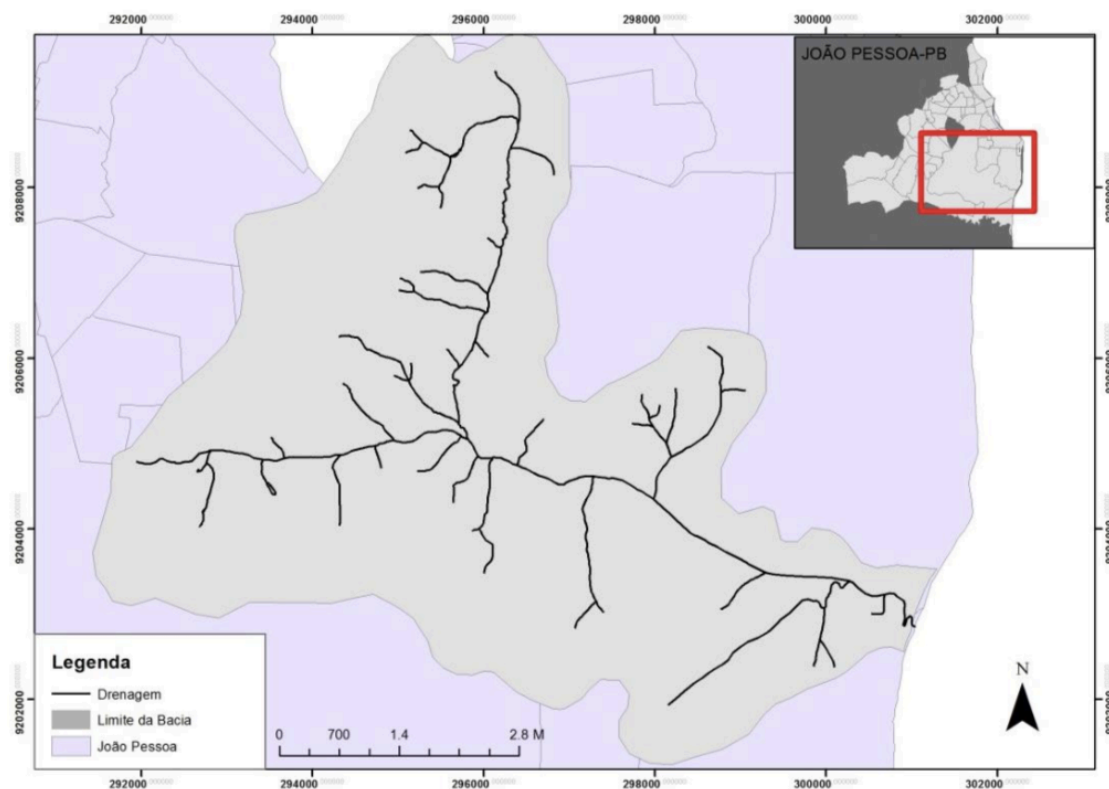
1.2.2 Objetivos específicos

- Quantificar o impacto da urbanização sobre as vazões máximas para chuvas de diferentes magnitudes.
- Avaliar as alterações provocadas pelo avanço da urbanização sobre o padrão dos hidrogramas de cheia.
- Analisar o efeito do aumento da magnitude da precipitação sobre a geração de escoamento para diferentes níveis de urbanização.

2 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Cuiá (Figura 2) é uma bacia hidrográfica (BH) urbana localizada no município de João Pessoa, PB, Brasil, tendo seu exutório situado no litoral sul da cidade. Tem uma área de aproximadamente 40 Km², sendo limitada com a Bacia do Rio Jacarapé a norte, a Bacia do Rio Gramame a sul, o conjunto Habitacional Ernany Sátiro a oeste, e o Oceano Atlântico a leste (SILVA, 2007).

Figura 2 – Delimitação e localização da bacia do rio Cuiá



A bacia abrange vinte e um bairros da cidade de João Pessoa,

sendo por completo os bairros de Água Fria, Anatólia, Boa Esperança, Cidade dos Colibris, Cuiá, José Américo, Valentina e Paratibe e parcialmente os bairros dos Bancários, Barra do Gramame, Costa do Sol, Cristo Redentor, Ernesto Geisel, Grotão, Gramame, Jardim Cidade Universitária, Jardim São Paulo, João Paulo Segundo, Mangabeira, Mucumagro e Jardim Botânico Benjamim Maranhão (Silva, 2006).

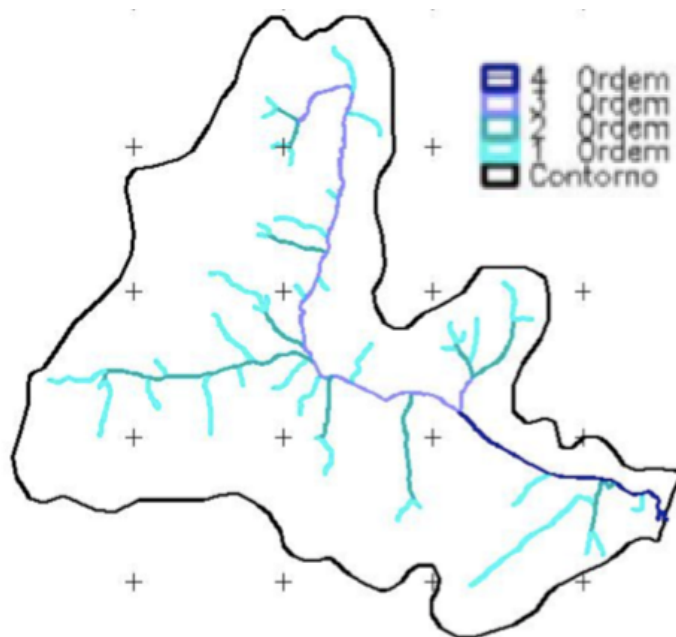
No âmbito do clima, possui o do tipo tropical úmido, com ocorrência de uma pluviosidade média anual de 2000 mm e temperatura média entre 26 e 27 °C. Seu percurso corre de oeste a leste, tendo a nascente mais distante do exutório no bairro do Grotão e desembocadura no Oceano Atlântico, mais especificamente na Praia do Sol no

bairro de Valentina de Figueiredo. Além disso, possui outros afluentes, alguns de maior porte como o Laranjeiras e Buracão que, junto com outros córregos menores, permitem que o rio Cuiá conserve sua vazão permanentemente, assegurando assim sua perenização (REIS, 2010).

Sua rede de drenagem é de ordem 4 (figura 3) e é classificado, de acordo com o Conselho de Política Ambiental do Estado da Paraíba (REIS, 2010), como um rio de ‘Água Doce, Classe 3’, tendo como finalidades características de uso

- O abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado.
- A irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.
- A pesca amadora.
- A recreação de contato secundário.
- A dessedentação de animais. (CONAMA, 2005)

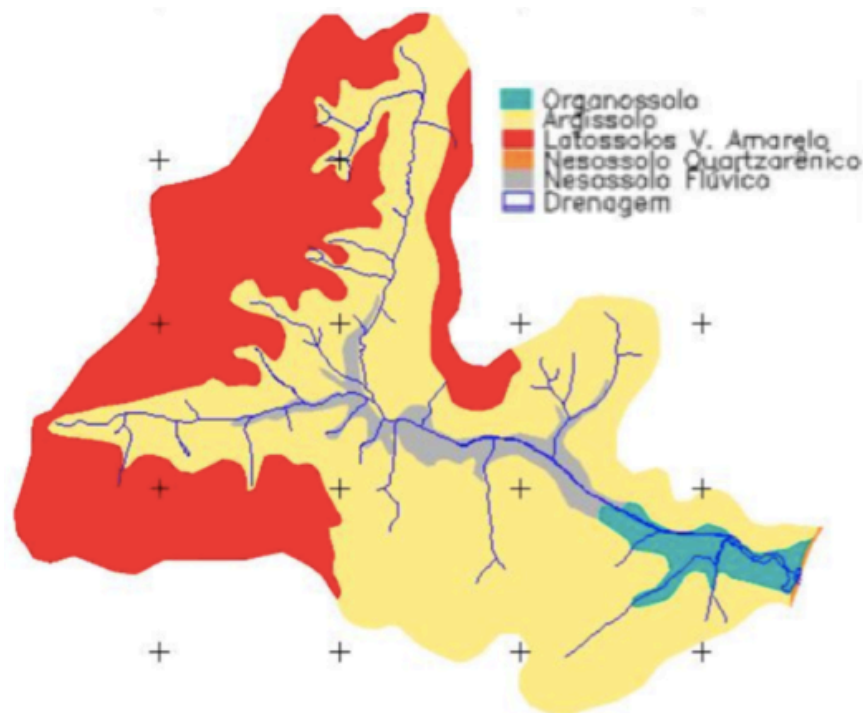
Figura 3 – Ordens da rede de drenagem do rio Cuiá



Fonte: Adaptado de Silva, 2007.

Um aspecto físico da bacia importante para o presente estudo é a caracterização do seu solo, pois propriedades dessa esfera influenciam na produção de escoamento superficial. Também o modelo do SCS requer esse tipo de informação para a determinação dos CNs. Com isso, buscou-se na literatura as informações da configuração das áreas de diferentes tipos de solo na bacia (figura 4), que também foram concedidos por Silva (2007) em formato de shapefile para futura análise.

Figura 4 – Configuração dos tipos de solo na bacia do rio Cuiá

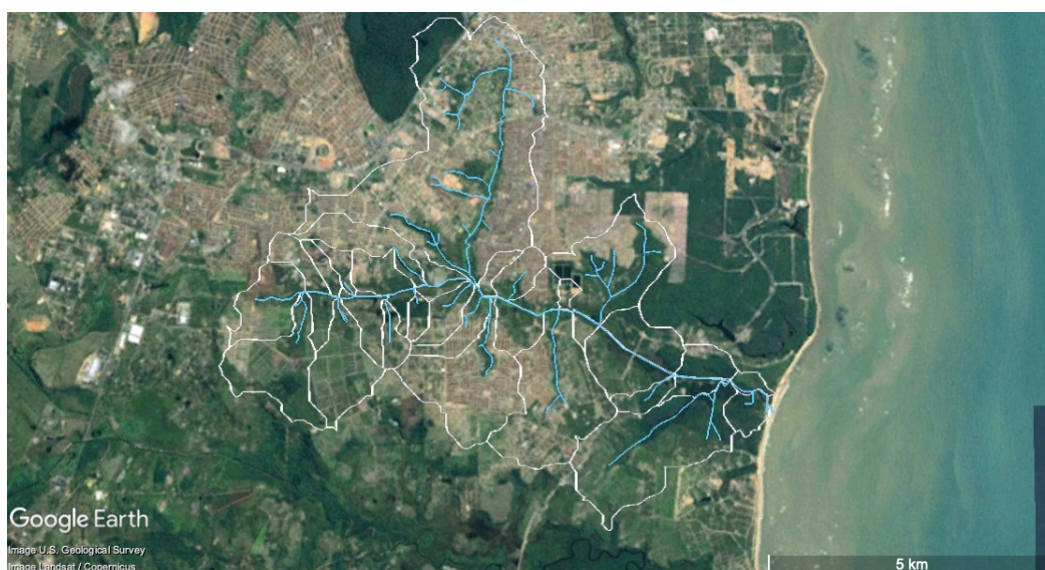


Fonte: Adaptado de Silva, 2007.

Outro aspecto essencial que influencia na infiltração se dá pelo estudo do uso e ocupação do solo. Devido ao processo de urbanização, a bacia possui características e paisagísticas intensamente modificadas, causadas pelo crescimento de conjuntos habitacionais a partir da década de 1970 (Reis, 2010).

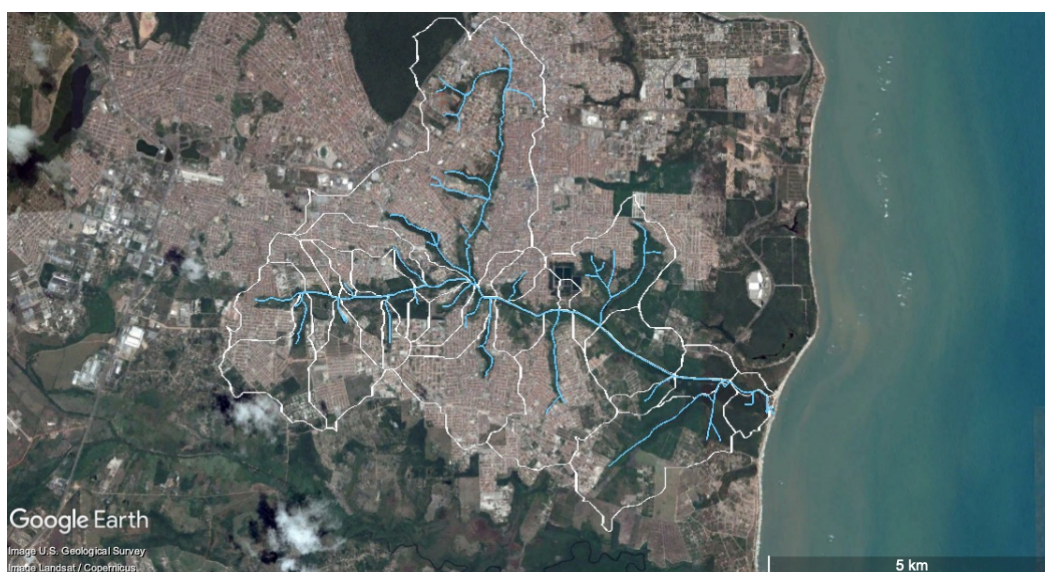
Nessa etapa, se faz importante o auxílio de ferramentas de geoprocessamento para amparar o estudo. Relatos pessoais coletados de entrevistas semiestruturadas com habitantes que residem desde a década de 1970 no bairro do José Américo, um dos bairros dentro dos limites da bacia do rio Cuiá, expressam o quanto a paisagem foi alterada. O espalhamento de residências, que antes só estavam a um quarteirão justaposto à rua principal, se espalhou em áreas onde antes existia floresta, sendo assim o fator modificante mais radical. Além disso, a partir dos anos 2000, o processo de metamorfose de um conjunto que era tipicamente habitacional intensificou-se, e muitas casas se transformaram dando lugar a comércio, edifícios, além da expansão da unidade habitacional dentro do lote onde, como fonte de renda, muitos moradores construíram salas comerciais para aluguel, diminuindo a área permeável do terreno. Imagens de satélite (figuras 5 e 6) ajudam a ilustrar a perda de áreas verdes pela evolução da urbanização na área.

Figura 5 – Imagens de satélite da bacia do rio Cuiá em 1984



Fonte: Google Earth Pro.

Figura 6 – Imagens de satélite da bacia do rio Cuiá em 2016



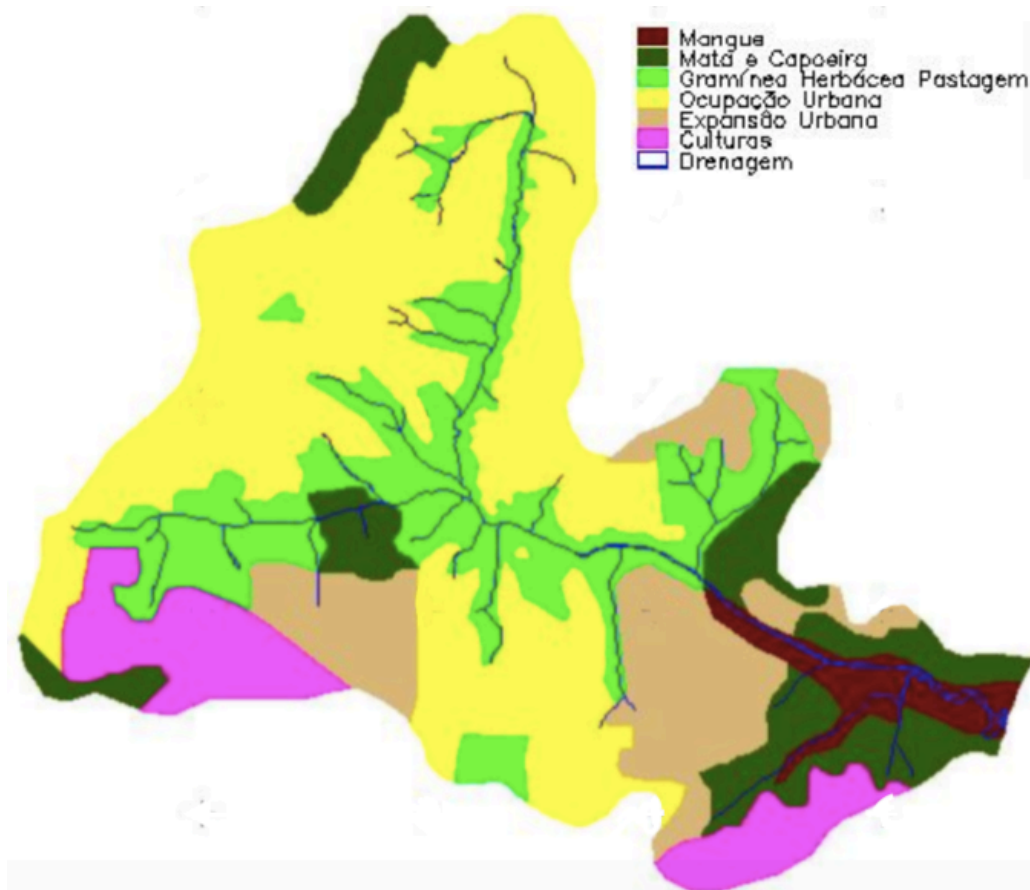
Fonte: Google Earth Pro.

A partir da interpretação de imagens de satélite, Silva (2007), criou classes de uso e cobertura do solo da bacia (figura 7), que junto com as informações de tipo de solo, os CNs das diversas coberturas heterogêneas da bacia podem ser obtidos. As classes foram:

- Culturas: irrigadas e do tipo 'ciclo-curto', majoritariamente lavradas por pequenos produtores;
- Expansão urbana: terrenos loteados com focos de ocupações e em processo de espalhamento, assim como áreas de solo exposto;

- Ocupação urbana: espaços preenchidos por ocupações urbanas como conjuntos habitacionais e edificações;
- Gramíneas, herbáceas e pastagens: áreas cobertas por vegetação de pequeno e médio porte com árvores isoladas, incluindo também terrenos preparados para o cultivo;
- Matas e Capoeiras: extensões cobertas por vegetação natural como Mata Atlântica e Capoeirão;
- Mangue: áreas úmidas (*wetlands*) cobertas por vegetação de mangue e com influência da maré.

Figura 7 – Atual uso e ocupação do solo da bacia do rio Cuiá



Fonte: Adaptado de Silva, 2007.

Devido à profunda transformação fisiográfica, como pode-se observar a grande quantidade de ocupação e expansão urbana, são recorrentes os eventos de inundação na bacia. Existem estudos de base cartográfica que já preveem áreas com alto potencial de inundação nas áreas ribeirinhas (figura 8).

Figura 8 – Mapa com potenciais áreas de inundação da bacia do rio Cuiá



Fonte: Santos e Silva, 2010.

As inundações que abrangem a zona norte da BH, as quais incluem os bairros do José Américo, Cidade dos Colibris, Mangabeira e Jardim Cidade Universitária, possuem maior adensamento urbano, logo, são as mais complexas de serem manejadas, ainda mais por conterem também aglomerados subnormais, ou favelas (Silva e Santos, 2010). Na área próxima à desembocadura do rio, o risco se potencializa para aqueles que vivem mais próximos ao rio. De fato, existe uma área de expansão urbana nessa área como pode ser observada na figura 6, que cresceu consideravelmente quando comparada com a imagem de 1984 (Figura 5).

Cientes dos problemas recorrentes, a gestão municipal propôs em 2018 medidas de controle, a serem gerenciadas pela Defesa Civil. As medidas consistem em um projeto de grande porte de dragagem incluindo todos os afluentes do rio Cuiá que tem como princípio a implantação de ações de prevenção durante o período não chuvoso com o intuito de diminuir os transtornos à população (PMJP, 2018).

O coordenador da Defesa Civil, Noé Estrela, afirma que as medidas de controle integradas são “desassoreamento de rios, capinação, roçagem, remoção de entulhos, demolição de residências em áreas de risco, poda de árvores, limpeza de canaletas, loneamento de barreiras, desobstrução e recuperação de galerias pluviais e assistência social” (PMJP, 2018).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A URBANIZAÇÃO E SEU DESDOBRAMENTO NO BRASIL E EM JOÃO PESSOA, PB

É importante entender a origem dos problemas que a engenharia ambiental busca solucionar, pois amiúde, eles têm origem social, uma faceta que muitas vezes não é considerada para estudos no âmbito das ciências exatas.

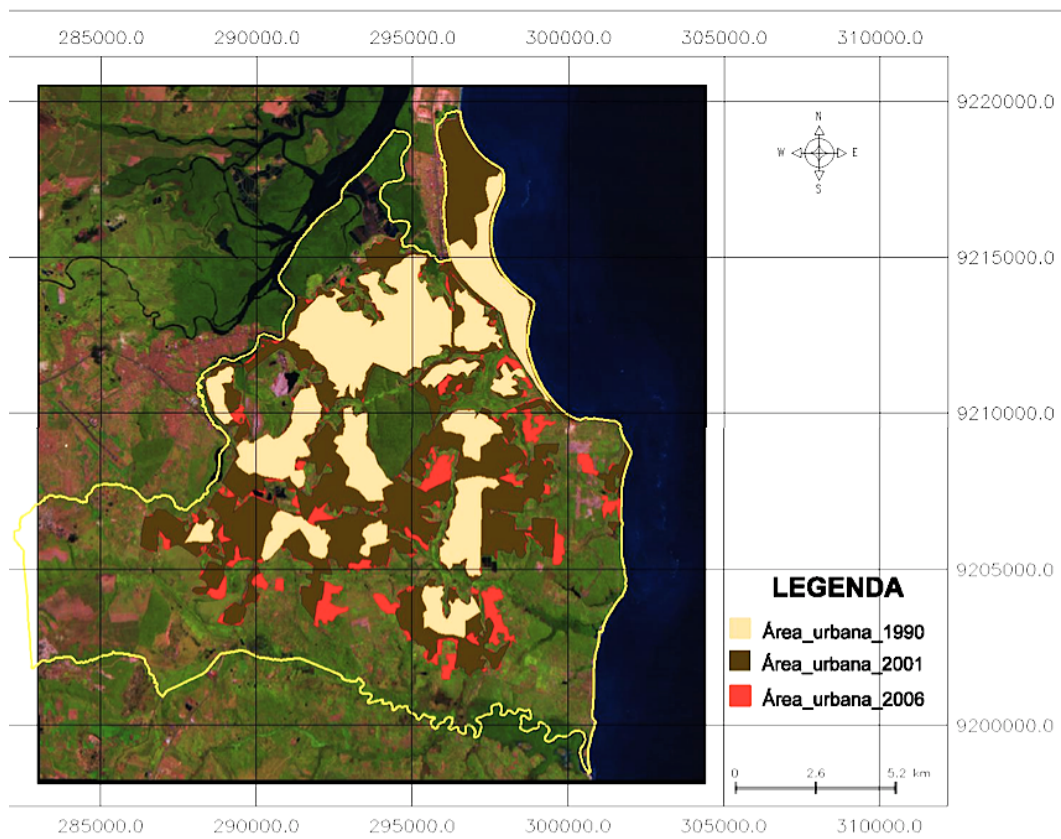
Muitos problemas presentes nas cidades são causados pelo modo como ocorreu a ocupação de seu território e desenvolvimento. As cidades foram, e ainda são, profundamente influenciadas pelo processo de urbanização, que por definição ampla, segundo McGranahan e Satterthwaite (2014), é a transição da população de meios rurais para urbanos envolvendo aspectos populacionais, de uso do solo, de atividade econômica e cultura, aspectos esses que podem ocorrer de forma simultânea ou não.

Esse processo contribuiu para a aglomeração populacional em pequenas áreas, alterando profundamente a organização do território e trazendo implicações como por exemplo padrões de assentamento mais intensos, aumento do perímetro urbano, cooperando, dessa forma, para perda de qualidade ambiental do meio físico em que ocorrem (FARINA, 2006; MCGRANAHAN E SATTERTHWAITE, 2014).

No Brasil, esse processo começou a se intensificar a partir da década de 60, com o crescimento das cidades, principalmente as capitais, devido ao êxodo rural, como indicam os dados do IBGE (2018) quando em 1950 a população rural era 63,84% da população total do Brasil em oposição à 15,64% dos anos 2010.

Em João Pessoa, o processo de urbanização se deu, inicialmente, devido ao progresso da indústria algodoeira, o que favoreceu o desenvolvimento do setor terciário na cidade (GONÇALVES *et al.*, 1999 *apud* RAFAEL *et al.*, 2009). Para a bacia do rio Cuiá, a área de estudo deste trabalho, um marco importante para a urbanização dessas áreas anteriormente pouco habitadas foi o estabelecimento da Universidade Federal da Paraíba, do distrito industrial e de conjuntos habitacionais na zona sul (RAFAEL *et al.*, 2009). Pode-se observar que, ao longo dos anos, as áreas de ocupações urbanas se expandiram intensamente, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Evolução da área urbana de João Pessoa entre 1990 e 2006



Fonte: Rafael *et al.*, 2009.

Vale salientar que esses padrões de crescimento urbano se estenderam à bacia do rio Cuiá, existindo, portanto, diferentes cenários de uso e ocupação do solo ao longo dos anos.

Na Figura 9, percebe-se que a expansão de área urbana ocorre de maneira acelerada, o que dificulta a efetividade da gestão pública em oferecer serviços básicos para a população, exercendo influência na ocupação de áreas inadequadas e na divergência de usos do solo (RAFAEL *et al.*, 2009). Conforme Silva (2010) explica:

A urbanização gera enormes problemas, deteriora o ambiente urbano, provoca a desorganização social, com carência de habitação, desemprego, problemas de higiene e de saneamento básico. Modifica a utilização do solo e transforma a paisagem urbana. A solução desses problemas obtém-se pela intervenção do poder público, que procura transformar o meio ambiente e criar novas formas urbanas.

A incongruência das necessidades exploratórias do homem e a capacidade natural do ambiente favorece o engendramento de problemas socioambientais tais como “a construção de infraestruturas sobre áreas inadequadas, a poluição dos recursos

hídricos pela instalação de indústrias, a invasão de áreas ecologicamente sensíveis pela população de baixa renda, entre outros” (FARINA, 2006, p. 5).

O problema com esse tipo de modelo de desenvolvimento fragmentado é que a população perde em qualidade de vida, muitas vezes sendo exposta a riscos de inundações, enchentes, deslizamentos de terra e dentre outros. Por isso, se faz importante o planejamento efetivo, buscando alternativas sustentáveis e que promovam a qualidade de vida que considere o contexto urbano (BARBOSA, 2008).

3.2 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE OS PROCESSOS HIDROLÓGICOS E NO SISTEMA DE DRENAGEM

A forma como ocorre a ocupação do solo, com o passar do tempo, se dá pelo preenchimento dos espaços não habitados com adensamento urbano, alterando profundamente o ciclo hidrológico, dentre outros aspectos naturais. De todas as mudanças de uso de solo que afetam a hidrologia de uma área, a urbanização é de longe a mais significativa (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 1968), pois aumenta a área de superfícies impermeáveis.

No sistema de drenagem, as alterações provocadas pela urbanização se dão por meio dos efeitos desse processo no ciclo hidrológico. As condições hidrológicas de pré-urbanização são completamente alteradas, gerando quatro efeitos: mudanças nas características da vazão de pico, assoreamento do rio pelo aumento da produção de sedimentos, mudanças na qualidade da água superficial e subterrânea e infraestrutura urbana implantada de maneira desorganizada (TUCCI, 2008). Como esses efeitos hidrológicos são causadores de danos e perdas, tanto humanas como monetárias, deve-se imprescindivelmente considerar e compreender o ciclo hidrológico urbano no processo de planejamento.

3.2.1 Geração de escoamento superficial

Para se projetar um sistema de drenagem eficiente, é necessário entender a hidrologia de ambientes urbanos. Em eventos de precipitação, o principal contribuinte para o aumento da vazão de um rio é a chuva que não conseguiu penetrar no solo e escoou até encontrar os cursos d'água, gerando dessa forma picos de vazão e as cheias ou inundações.

São reconhecidos como processos geradores de escoamento superficial a precipitação superior à capacidade de infiltração do solo e a precipitação sobre solos

saturados (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015). O primeiro, também conhecido como processo Hortoniano, decorre das propriedades do solo em absorver e percolar a água da chuva e o segundo ocorre quando o solo já atingiu o nível máximo de armazenamento de água.

A modificação da cobertura vegetal natural é um fator modificador da hidrologia de uma bacia que tem como resultado a redução de tempos de concentração e aumento do volume de escoamento superficial propiciando as condições para a ocorrência de inundações (POMPÊO, 2000).

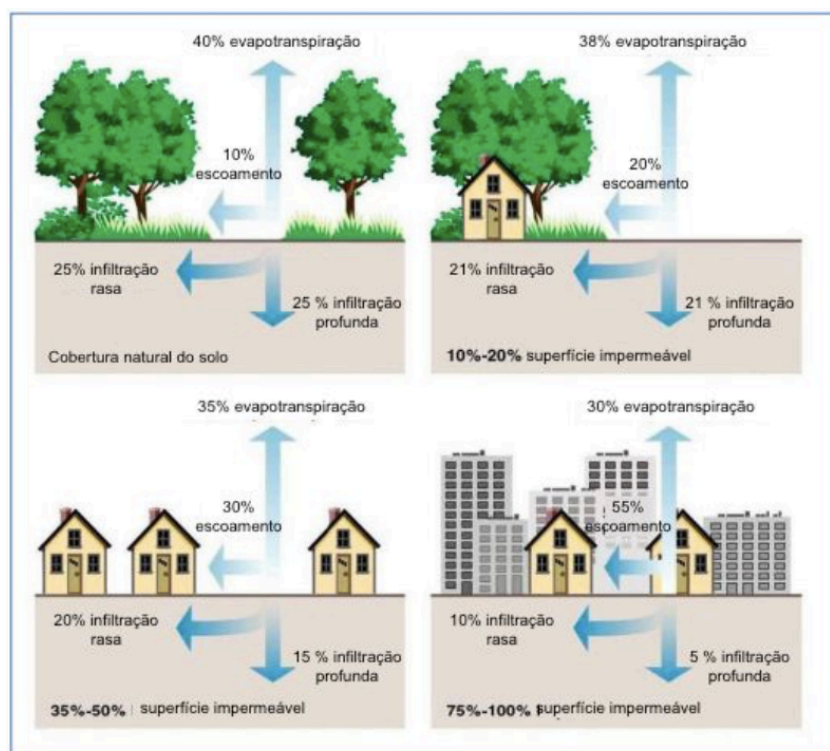
Em áreas urbanizadas, um fator crucial é a quantidade de superfícies impermeáveis (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015). Estas desequilibram processos como evapotranspiração, escoamento e principalmente infiltração, interferindo fortemente no ciclo da água. Esse fator se torna bastante significativo no processo Hortoniano, pois a capacidade de infiltração e retenção do solo se aproximará de zero.

O volume de escoamento superficial é controlado principalmente pela infiltração, e ainda é influenciado pela declividade do terreno, tipo de solo e tipo de cobertura vegetal, e dessa forma está diretamente ligado à percentagem de área coberta por telhados, asfalto, e outras superfícies impenetráveis (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 1968).

Planícies de inundação, se deixadas em seu estado natural, funcionam como reservatórios que liberam gradualmente o fluxo de água. Se a percentagem de área impermeável de uma bacia hidrográfica aumenta, o volume de escoamento superficial aumenta conseqüentemente a quantidade de água disponível para manter a umidade do solo e lençóis subterrâneos diminui (EASTERN RESEARCH GROUP INC., 2014).

Além da impermeabilização, outros fatores causados pela urbanização que influenciam na alteração da geração do escoamento superficial é a transformação ou remoção da rede de drenagem natural, por exemplo, pela implantação de canais artificiais, sarjetas e galerias, assim como, por meio de alterações do relevo, o que acaba por provocar uma resposta mais rápida da bacia hidrográfica à eventos de precipitação (SÃO PAULO 2012; LOPES, 2017). A Figura 10 exemplifica a correlação entre o aumento de equipamentos urbanos e a geração de escoamento superficial.

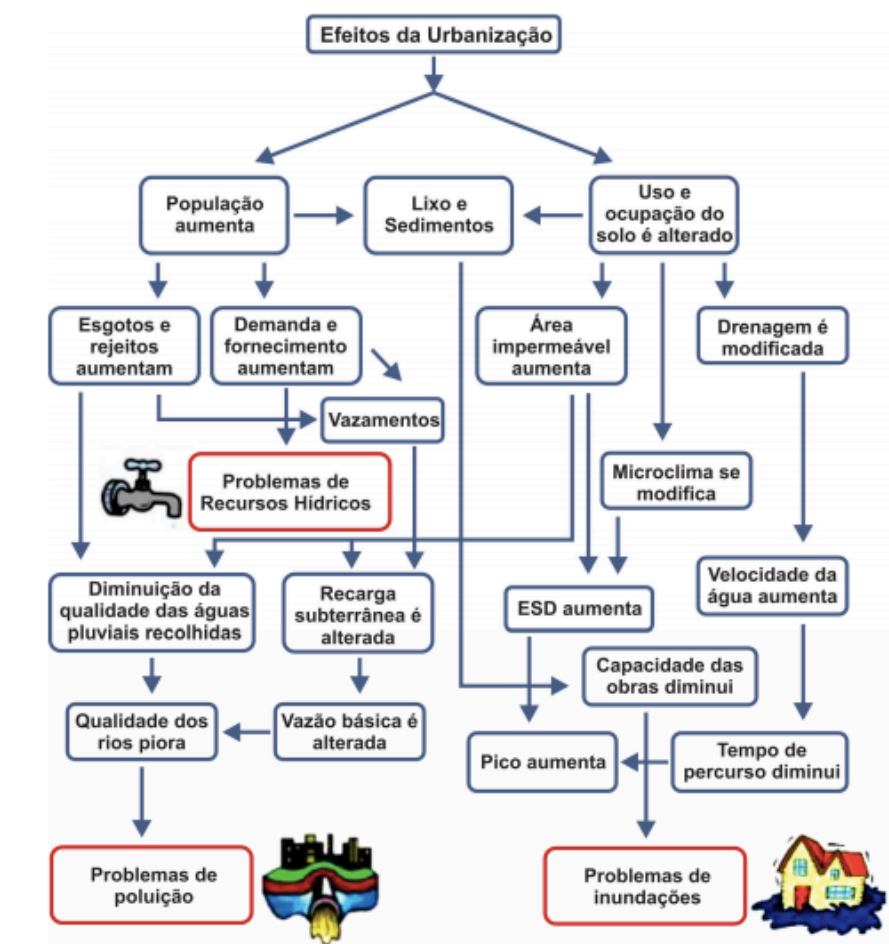
Figura 10 – Correlação entre superfícies impermeáveis e a geração de escoamento superficial.



Fonte: Traduzido de Federal Interagency Stream Restoration Working, 1998 *apud* Eastern Research Group Inc., 2014.

Em suma, vazões de magnitude elevada tendem a ser geradas em bacias com “alto grau de impermeabilização, com alta declividade [e] com sistemas de drenagem muito velozes” (SÃO PAULO, 2012), sem mencionar ainda que, em bacias urbanas, ocorre o aumento de poluição dos ecossistemas, principalmente de corpos aquáticos, acarretando em diversos problemas de saúde ambiental. A Figura 11 auxilia a visualização nos efeitos da urbanização em episódios de inundações, assim como na poluição em ambientes citadinos.

Figura 11 - Efeitos da urbanização na potencialização de inundações e poluição



Fonte: São Paulo, 2012.

3.2.2 Consequências de problemas de drenagem em ambientes urbanos

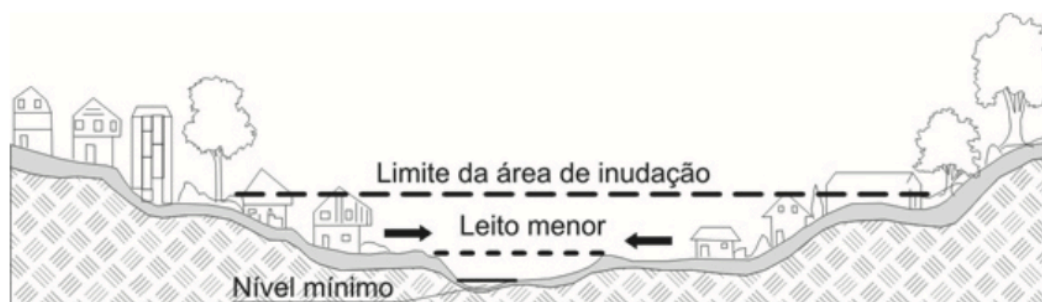
A hidrologia pós-desenvolvimento de áreas urbanas é usualmente bastante diferente da hidrologia pré-desenvolvimento, pois devido ao modelo de ocupação, as planícies de inundação podem não conseguir conter o aumento de escoamento de águas pluviais (EASTERN RESEARCH GROUP INC., 2014).

O escoamento superficial, em eventos de precipitação, pode se manifestar por meio de dois processos que tem a possibilidade de ocorrer simultânea ou isoladamente: por meio de inundações ribeirinhas, que sucedem quando o leito maior dos rios é ocupado por águas provenientes da variabilidade temporal e espacial da precipitação, e inundações em razão da urbanização, que ocorrem devido ao efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento (TUCCI, 2008).

Esses processos ocorrem quando a precipitação se acumula acima do solo numa taxa maior do que ela pode ser infiltrada, evaporada, transpirada, armazenada, ou

conduzida aos corpos de água receptores (EASTERN RESEARCH GROUP INC., 2014). Inundações são um processo natural que ocorrem periodicamente devido a eventos de altos índices pluviométricos (POMPÊO, 2000) mas que podem ser intensificadas pelo aumento da geração de escoamento superficial, que é o que acontece em ambientes urbanos. Podem ser catastróficas em episódios de cheias quando as planícies de inundação e áreas adjacentes são ocupadas, como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 – Características do leito do rio



Fonte: Tucci, 2008.

As consequências de uma enchente abrangem vários tipos de danos, como perdas ambientais, danos econômicos e perda de vidas (JONKMAN E VRIJLING, 2008). Problemas de ordem física diretamente ligados à drenagem consistem em inundação, erosão, deslizamentos de terra e infiltração em pontos indesejados. A intensidade desses efeitos no ambiente dependem diretamente tipo de solo, cobertura, geologia, pluviosidade e clima da região (TUCCI, 1997). Além desses problemas, a qualidade da água é afetada por meio de aumento de temperatura, e cargas de sedimentos, patógenos e nutrientes (EASTERN RESEARCH GROUP INC., 2014), se tornando um problema de saúde pública e também fontes de poluição hídrica.

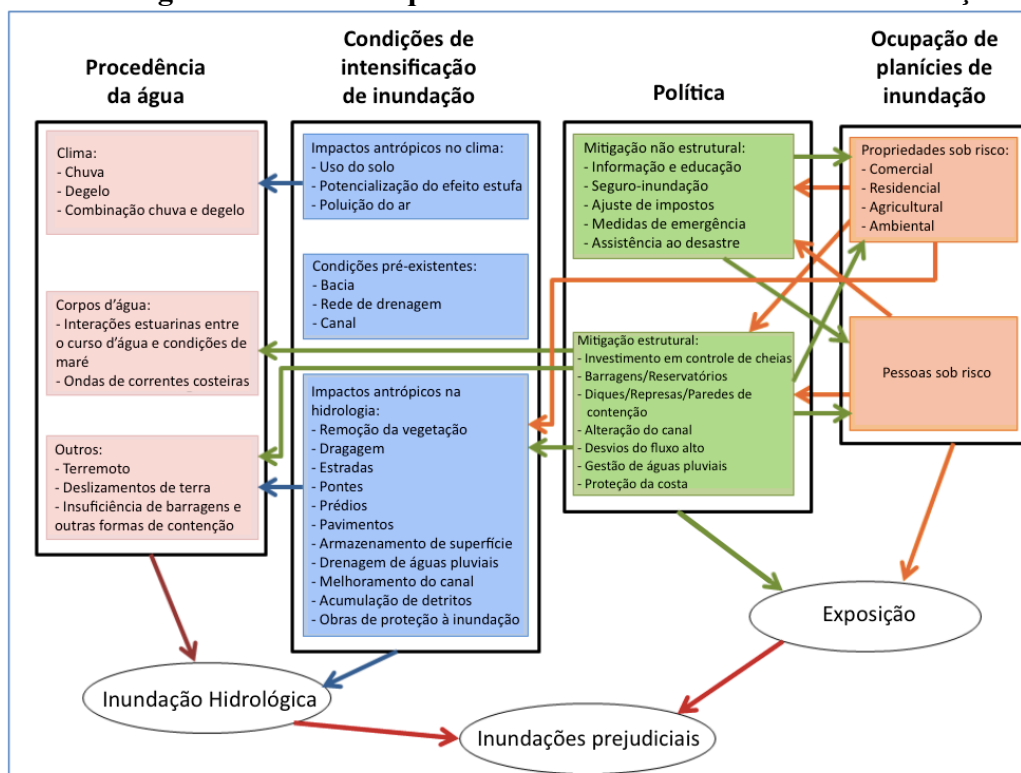
À vista disso, é importante ressaltar que as consequências de inundações vão muito além de apenas problemas infraestruturais. Problemas específicos no âmbito da saúde humana abrangem efeitos imediatos, que incluem afogamento, quando o nível e a corrente das águas representam risco a pessoas; lesões físicas, em tentativas do indivíduo escapar do perigo; choque elétrico, quando linhas, circuitos e equipamentos elétricos entram em contato com a água; queimaduras e explosões, que podem ser causadas quando as águas de enchentes interrompem condutos de gás natural e tanques químicos; hipotermia, quando a temperatura da água está abaixo da que humanos podem suportar; e interrupção do fornecimento de serviços de saúde, quando as

enchentes causam danos nas instalações (DU *et al.*, 2010).

Esses problemas representam elementos de risco não só para a população mas também para os ecossistemas urbanos e edificações, representando, dessa forma, fonte de perdas econômicas e ecológicas e de risco de perdas de vida, dano este considerado o mais importante (JONKMAN E VRIJLING, 2008) e que mais deve-se tentar evitar.

Ainda, o modo como a infraestrutura urbana é construída acarreta também a certos impactos como “(i) pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento; (ii) redução de seção do escoamento em aterros; (iii) deposição e obstrução de rios, canais e condutos de lixos e sedimentos; (iv) projetos e obras de drenagem inadequadas” (TUCCI, 1997, p.4). Na Figura 13, pode-se observar um sumário esquemático dos fatores que influenciam episódios de inundação e como esses fatores relacionam-se.

Figura 13 - Fatores que influenciam na ocorrência de inundações



Fonte: Traduzido de Pielke and Downton, 2000 *apud* Eastern Research Group Inc., 2014.

Pode-se constatar que a exposição de pessoas e propriedades ao risco de inundação pode levar a ocorrências que causam danos. Por isso, é importante que procure-se minimizar a preponderância desses eventos por meio de estudos para a determinação de hidrogramas de cheia, e assim, poder planejar medidas de controle.

3.3 REGULAMENTAÇÃO E LEGISLAÇÃO EM DRENAGEM URBANA

A lei federal que estabelece as diretrizes que a drenagem urbana deve seguir no Brasil é a nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, também conhecida como a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB). O saneamento básico compreende o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana, o manejo de resíduos sólidos, e por fim a drenagem e manejo das águas pluviais que, em julho de 2016, teve sua definição estendida pela lei federal nº 13.308 para que este setor do saneamento básico abrangesse também a manutenção preventiva das respectivas redes urbanas, por meio de limpeza e fiscalização (BRASIL, 2007; 2016).

A Lei nº 13.308 define como “conjunto de serviços, infra-estruturas e instalações operacionais” da drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas o “conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas” (BRASIL, 2016).

Ainda, deve-se considerar as premissas com que esses serviços de saneamento básico, incluindo os de drenagem urbana, devem ser prestados. De acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007), os princípios fundamentais são:

I - universalização do acesso; II - integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados; III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente; IV - disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes, adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado; V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais; VI - articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, 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; VII - eficiência e sustentabilidade econômica; VIII - utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas; IX - transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados; X - controle social; XI - segurança, qualidade e regularidade; XII - integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Alguns pontos citados nos princípios fundamentais da PNSB que se destacam para o presente estudo é a adição do caráter preventivo da drenagem (Inciso IV); o incentivo a entender as características específicas do local e não apenas aplicar

procedimentos provenientes de outras regiões com a premissa que se encaixará onde será implantado o serviço (Inciso V); considerar políticas de desenvolvimento que visem a melhoria de problemas sociais, proteção do meio ambiente e da saúde (Inciso VI); a sustentabilidade (Inciso VII); aplicação de tecnologias que ajudem o estudo ser mais eficiente, como neste caso, o uso de ferramentas de sistemas de informação geográficas e modelagens hidrológicas (Inciso VIII); controle social, mais especificamente, como será sugerido a seguir neste trabalho, por meio da aplicação de zoneamento (Inciso X); prestar serviços que objetivem a segurança que se mantenha com regularidade ao longo do tempo; e por fim que os serviços de saneamento e suas estruturas físicas sejam integrados com a administração competente dos recursos hídricos de forma que funcionamento de um não interfira na qualidade do outro (Inciso XII), como acontece de, por exemplo, o sistema de drenagem, que encaminha seu escoamento para corpos aquáticos, receber efluentes de esgotamento sanitário causando contaminação.

Ainda, outra política notável para a drenagem é a Política Nacional de Recursos Hídricos que reforça ainda mais a natureza preventiva da drenagem objetivando promover “a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais” (BRASIL, 1997).

Existem ainda as legislações municipais de drenagem urbana que definem parâmetros importantes para o controle de escoamento superficial. Em João Pessoa, o Decreto 5.900/2007 em seu art. 6º caracteriza solo permeável como sendo a parcela do terreno deixada em seu estado natural destinada a drenagem de águas pluviais onde a jardinagem é obrigatória. Além disso, determina os percentuais mínimos de áreas de solos permeáveis em diferentes tipos de propriedades sendo um mínimo de 4% para todas as edificações verticais, e em caso de lotes com mais de uma frente, um mínimo de 4% por número de frente. No caso de passeios públicos, que devem ter no mínimo 1,20 m de largura em pavimento plano, deve-se conservar uma área mínima de 10% de sua área para solo permeável

Outra determinação de área de solo permeável mínima é nos postos de combustíveis, 15%, e de 50% no Setor de Amenização Ambiental do Parque do Cabo Branco, onde, neste último caso, a jardinagem deve ser feita com espécies nativas exceto se o órgão ambiental competente o especificar diferentemente. Dessa forma, em João Pessoa, a destinação de uma parcela do terreno para solo permeável a única forma de controle de escoamento superficial determinada por lei (PEREIRA, 2007).

Embora a legislação de João Pessoa no âmbito da drenagem urbana precise se desenvolver mais, existem outras localidades brasileiras que já avançaram mais nesse quesito e que podem servir como base para o desenvolvimento da regulamentação específica local.

A cidade de Porto Alegre, por outro lado, se destaca por ser a única capital brasileira a ter um departamento público designado a lidar especialmente com a drenagem urbana, (PORTO ALEGRE, 2018). Possui uma política de desenvolvimento de drenagem urbana forte, tendo elaborado o Plano Diretor de Drenagem Urbana que busca “direcionar as novas condutas dos profissionais que atuam em drenagem e no planejamento de obras na cidade” (PORTO ALEGRE, 2005). Dentro deste desenvolveu o Manual de Drenagem Urbana que se tornou referência nos estudos de drenagem no país. Conta com o Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) que tem como objetivo instaurar, conservar e desenvolver aplicações práticas do conhecimento científico dentro desse domínio e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) com o intuito de gerar conhecimento qualificado nos âmbitos da hidráulica, recursos hídricos, saneamento ambiental e meio ambiente.

A lei complementar nº 434 de 1999 instaura, no Art. 63, parágrafo 1º, que o sistema de drenagem é primordial para a sustentar a vida urbana, ilustrando, assim, sua importância no planejamento urbano. O Art. 96, parágrafo 3º, prevê a conservação de árvores em margens de rios, nascentes e olhos d’água. No Art. 97, são instituídos os reservatórios de retenção de águas pluviais em zonas problemáticas de drenagem. No Art. 135, parágrafo 6º cita

§ 6º Os empreendimentos de parcelamento do solo na parcela que lhes compete deverão ter na sua concepção a permanência das condições hidrológicas originais da bacia, através de alternativas de amortecimento da vazão pluvial, respeitando as diretrizes determinadas pelo macropiano de saneamento e drenagem do Município, a ser elaborado pelo Poder Executivo (PORTO ALEGRE, 1999).

o que é uma das medidas mais importantes que se pode tomar no gerenciamento da drenagem urbana que é preservar a magnitude do geração de escoamento superficial da bacia hidrográfica. O Decreto 18.611 de 2014 expressa os esforços de Porto Alegre em mitigar os impactos da urbanização instaurando os princípios do desenvolvimento urbano de baixo impacto sobre toda nova ocupação urbana buscando implantar métodos que privilegiem a infiltração e a reservação de águas pluviais e estabelecendo um limite máximo de vazão de 20,8 l/s.ha que cada lote pode despejar na rede pública.

Ainda no Brasil, o estado de São Paulo avançou bastante no âmbito da drenagem urbana. Estabeleceu a Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (SMUL) que busca promover e otimizar o desenvolvimento urbano, possuindo também diversas leis, decretos que promovem a taxa de permeabilidade mínima por lote, a lei das piscininhas que rege a obrigatoriedade da instalação de sistemas de captação e retenção de águas pluviais, a instalação de pavimentos permeáveis em estacionamentos ou similares, (Pereira, 2007) e assim por diante. Também, como Porto Alegre, já desenvolveu seu próprio manual de drenagem urbana.

Existem ainda outras cidades brasileiras que têm avançado nessa esfera como Recife, Rio de Janeiro, Curitiba, Belo Horizonte, entre outros. Porém, espera-se que esses avanços não fiquem somente na teoria da legislação, sendo realmente executados e fiscalizados.

3.4 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO

As propriedades de um sistema dependem de sua totalidade. Conforme Cunico (2007), quando as partes de um todo sofrem um processo de observação isolada, o sistema sofre uma visão reducionista fazendo com que essas propriedades do conjunto propendam-se a desaparecer. Dessa forma, para que a drenagem de um rio e suas implicações no ambiente urbano sejam analisadas da melhor maneira, deve-se estudar a unidade que contribui para as características do rio.

A delimitação da bacia hidrográfica é essencial para determinar qual é a área de contribuição atrelada ao exutório. A bacia é a unidade mínima para qualquer estudo hidrológico e assim têm sido historicamente realizados os trabalhos teóricos, experimentais e as ações de planejamento de recursos hídricos (Pompêo, 2000).

Em oposição a sistema de análises utilizados antes da década de 1980 como quadrículas delimitadas por coordenadas geográficas, unidade político administrativas ou ainda áreas definidas vagamente por zonas climáticas e de vegetação, a bacia hidrográfica leva em consideração características geomorfológicas do terreno (Cunico, 2007), as quais traduzem em termos práticos a região de contribuição de escoamento superficial à vazão do rio.

A designação da bacia hidrográfica como unicidade é reforçada pela Política Nacional de Recursos Hídricos que considera a mesma como unidade territorial onde a mencionada política deve ser posta em prática, assim como, elege-a o território onde o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos deve operar (Brasil, 1997).

Estudos para o planejamento de recursos hídricos, como, por exemplo, o presente trabalho, devem ter como base para a adoção do limite de alcance a delimitação da bacia dentro de um limite municipal a fim de regulamentar o uso e ocupação do solo de forma que o sistema de drenagem seja implantado de forma sistemática e sustentável (PEREIRA et al., 2005).

3.5 A IDIOSINCRESSIA DO PLANEJAMENTO, DIMENSIONAMENTO E GESTÃO PÚBLICA DO SISTEMA DE DRENAGEM NO BRASIL

Muitas vezes, o planejamento do sistema de drenagem urbana é feito de forma a não considerar nem os princípios fundamentais da Política Nacional de Saneamento Básico nem da Política Nacional de Recursos Hídricos. São frequentes os episódios em que o sistema urbano de drenagem não tem capacidade para conter inundações e seus impactos, caracterizando sua comum obsolescência e ineficiência (BAPTISTA E NASCIMENTO, 2002). Os impactos decorrentes da ineficiência do sistema de drenagem podem ser amortecidos ou até mesmo extinguidos por meio de um planejamento urbano eficaz, o qual é feito considerando os aspectos ecológicos, físico-territoriais, econômicos, sociais, administrativos e as demais parcelas do ambiente urbano (UGEDA JUNIOR E AMORIM, 2012).

Contudo, esse modelo holístico de planejamento normalmente não é adotado. Segundo Farina (2006, p. 2), “o modelo de planejamento adotado até há pouco tempo pelos municípios é parcial e fragmentado”, o que favorece a ocorrência de inundações e, conseqüentemente, a extensão desses eventos para a população.

Para os dois tipos de inundações apresentados anteriormente (na seção 2.2.2), o planejamento urbano e a gestão pública tem alcances de danos diferentes. As inundações ribeirinhas são diretamente influenciadas pela inexistência de restrição quanto à ocupação das áreas de risco de inundação no Plano Diretor de Desenvolvimento, pela ocupação ilegal de áreas ribeirinhas por pessoas de baixa renda em terrenos de patrimônio público e pelo povoamento de zonas de risco médio que ao serem inundadas são prejudicadas (TUCCI, 2008).

De fato, vale ressaltar que existem duas categorias gerais de medidas de controle que podem ser utilizadas para o gerenciamento da drenagem urbana: as medidas estruturais e as não estruturais. De acordo com Simons *et al.* (1977 *apud* Tucci, 1997), as medidas estruturais são aquelas implementadas por meio de obras de engenharia com o intuito de minimizar inundações, podendo ser extensivas, quando sua execução se dá

no nível macro da bacia hidrográfica buscando intervir nas relações precipitação *versus* vazão retardando os picos de vazão, ou intensivas quando as medidas são executadas diretamente nos rios e que podem ser de três tipos: por meio da aceleração do escoamento (diques e *polders*, aumento da capacidade de descarga dos rios e corte de meandros), da retardação do escoamento (reservatórios e bacias de amortecimento) e do desvio do escoamento (canais e desvios). Já as medidas não estruturais envolvem zoneamento, seguros, sistemas de alerta, construções com resistência a enchentes (ANDRADE FILHO, SZÉLIGA E ENOMOTO, 2000).

Uma das razões pelas quais medidas de prevenção não são valorizadas se fundamenta no modo com que o sistema político-administrativo brasileiro lida com situações de enchente. Uma vez ocorridos episódios de inundação, os municípios recebem recursos a fundo perdido, e além disso, grande parte das soluções sustentáveis são não-estruturais, ou seja, não são visíveis nem palpáveis ou então incluem a imposição de limitações à população, como intervenção nas propriedades das áreas de risco, muitos prefeitos evitam este tipo de prática (TUCCI, 2008). Por isso, o zoneamento e sua eficácia na prática se fazem tão importantes. Porém, faz-se mais significativa ainda a capacidade da gestão pública em efetivá-lo com jogo de cintura e instaurar medidas que promovam um ambiente urbano mais saudável e seguro.

3.6 SOFTWARE ABC6

As aplicações dos modelos hidrológicos feitas no presente trabalho se deram por meio do SSD ABC, Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas, traduzido para a linguagem computacional pelo *software* ABC6, que é uma ferramenta computacional desenvolvida pela USP, inicialmente para finalidades didáticas, mas que atualmente é utilizado de forma profissional devido à sua interface *user friendly* e aos modelos inseridos no programa (LABSID, 2016).

SSDs, ou Sistemas de Suporte a Decisões, são sistemas computacionais que utilizam uma interface gráfica para incorporar modelos matemáticos a uma base de dados, onde seus resultados são usados como base para tomada de decisões, não com o objetivo de determinar a escolha correta mas para que se tenha insumos necessários para que a decisão seja congruente (AHMAD & SIMONOVIC, 2006 E PORTO & AZEVEDO, 2002 *apud* GALBETTI, 2015).

No caso do ABC6, ele integra Sistemas de Informações Geográficas a modelos hidrológicos, utilizando como dados de entrada informações sobre o uso e ocupação do

solo, traçado de bacias e sub-bacias hidrográficas, comprimentos de cursos d'água, etc., para, dessa forma, prever vazões de cheias. Sua ideia básica consiste em utilizar métodos sintéticos para obter o comportamento da vazão em eventos de precipitação em bacias urbanas ou rurais sem dados de vazão medida de forma direta (LABSID, 2016).

A integração de ferramentas de geoprocessamento à modelagem computacional se dá no processo preliminar à modelagem, para a obtenção de dados de entrada do programa, pois, como será explicado mais detalhadamente *a posteriori*, o cálculo da vazão de um rio depende diretamente do tipo de solo e cobertura de solo.

Por meio da definição de diferentes cenários de uso e ocupação do solo, simulações são feitas para antecipar a resposta do rio a eventos de precipitação, e assim se ter uma compreensão dos possíveis danos que podem de ser causados. Dessa forma, o ABC6 se faz importante no leque de tomada de decisões auxiliando o planejamento urbano e a gestão pública no âmbito da realocação da população de áreas de risco, deliberação da necessidade de obras de engenharia, entre outras medidas de controle estruturais e não estruturais, mas principalmente na elaboração do zoneamento e planos diretores, que segundo Farina (2006), regulariza o uso do solo e defendendo a qualidade de ecossistemas e de vida da população.

O ABC6 funciona automatizando o uso de modelos sintéticos com o intuito de obter-se vazões máximas em bacias de porte pequeno e sem dados de medição de vazão *in locu*, característica que marca de bacias urbanas e pequenas bacias rurais (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Sua interface permite a esquematização de bacias hidrográficas que se comunicam com o usuário por meio de quatro módulos detalhados em um artigo na pasta do software por Oliveira *et al.* (2016) e apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Módulos de funcionamento do ABC6

Módulo	Descrição
Topologia	Se refere à conexão entre os elementos do sistema, ou seja, a entrada de dados das estruturas. No programa, esse módulo é executado por arcos, que simbolizam as bacias hidrográficas e trechos de canais naturais e artificiais, e os nós, que simbolizam os pontos de início, final, confluência de bacias ou reservatórios.
Intervalo	Corresponde ao intervalo de discretização dos cálculos.
Modelos	Permite a escolha dos modelos de chuva excedente e do traçado do hidrograma de escoamento superficial.
Dados	Recebe informações do usuário a respeito da bacia hidrográfica tais como a área de drenagem, forma, declividade, uso do solo, características de infiltração e outras necessárias para determinar o hidrograma de cheias a partir de uma tormenta de projeto.
Saídas	Todos os arcos e nós possuem resultados individuais onde o usuário pode obter a precipitação total, precipitação excedente e os hidrogramas de escoamento superficial direto do respectivo ponto.

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.*, 2016.

Deve-se especificar que dentro do módulo dados, tem-se a opção de calcular a chuva de projeto dentro do programa por meio de chuvas intensidade-duração-frequência (IDF) ou utilizar uma calculada pelo usuário. Além disso, nesse mesmo módulo, pode-se introduzir as variáveis necessárias para calcular o efeito de amortecimento do canal sobre o escoamento pelo Método de Muskingum.

O programa, porém, ainda tem uma forte necessidade de obtenção de dados externos por meio de Sistemas de Informações Geográficas para introdução das informações de uso e ocupação do solo, imprescindíveis para o cálculo relacionados à geração de escoamento superficial. Contudo, Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid) da Escola Politécnica da USP trabalha no desenvolvimento de aplicativos que buscam gerar dados de entrada para o ABC6, os quais são:

as características físicas da bacia (divisor de águas, área de drenagem, comprimento do talvegue, declividade, rede hidrográfica e índices de forma), número da curva do *Soil Conservation Service*, tempo de concentração pelo método cinemático, curva tempo-área da bacia e outros (OLIVEIRA et al., 2016).

Mesmo no estágio atual, o ABC6 já é uma ferramenta que facilita bastante os estudos hidrológicos de uma bacia, automatizando modelos de chuva e vazão e tornando acessível os resultados de modelagens, o que pode facilitar o planejamento urbano.

3.7 TEORIA DOS MODELOS HIDROLÓGICOS UTILIZADOS

Métodos de estimativas de vazões máximas são utilizados em bacias onde não existem dados de medição de vazão direta. Dessa forma, essas estimativas são feitas a partir de modelagens que buscam sistematizar a bacia como um sistema chuva vazão. O modelo escolhido para o estudo é do tipo hidrológico e busca observar as relações e influência da precipitação na vazão do rio.

Primeiramente, calcula-se uma precipitação de projeto condizente a um certo período de retorno. Então, estima-se a precipitação efetiva para obter a resposta da bacia para a referida chuva de projeto, tendo em vista os diferentes cenários de uso e ocupação do solo considerados.

O detalhamento do modelo e métodos utilizados no presente estudo, parte deles automatizados pelo programa ABC6 (a partir do tópico ‘2.7.2 Precipitação Efetiva do SCS’), está descrito a seguir.

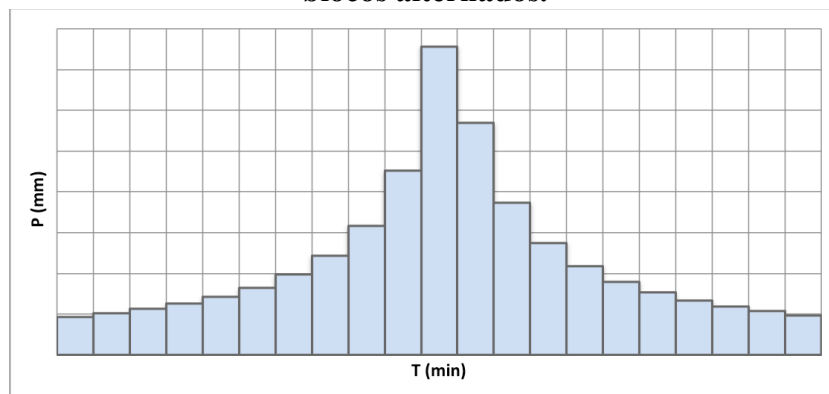
3.7.1 Chuva de projeto

Em estudos de drenagem, é importante conhecer a natureza das precipitações para que se entenda a extensão de seus impactos no sistema da bacia hidrográfica. Em bacias urbanas e em processo de urbanização, a estimativa de precipitações torna-se relevante para que vazões críticas em cenários alternativos de desenvolvimento e intensidades de urbanização possam ser estimadas (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015) com a finalidade de servirem como base para políticas de desenvolvimento territorial na cidade. O resultado do cálculo da chuva de projeto é um hietograma que relaciona a precipitação em função do tempo (THOMAZ, 2010). Conforme o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2005), as variáveis pelas quais a chuva de projeto se define são:

lâmina precipitada P (mm); duração D (min); intensidade média precipitada $iméd = P/D$ (mm/h); lâmina máxima $P_{máx}$ (mm) da sequência de intervalos de tempo Δt que discretizam D ; intensidade máxima $imáx = P_{máx} / \Delta t$ (mm/h); posição de $P_{máx}$ ou $imáx$ dentro da duração D (entre 0 e 1, do início ao fim de D)

Um dos modelos mais utilizados para o cálculo de precipitações de projeto em estudos de macrodrenagem em bacias é o método dos blocos alternados. Essa metodologia busca distribuir temporalmente as diversas alturas de precipitação em intervalos de tempo contidos na duração total da chuva (SILVA, 2016), sendo que as mesmas são dispostas alternadamente da menor para a maior de um extremo do gráfico a outro crescendo em direção ao centro até chegar ao pico. Ele é construído a partir da curva IDF, ou seja, leva em consideração as relações de intensidade, duração e frequência de forma a buscar um cenário crítico de precipitação. A aparência desse tipo de gráfico pode ser observada na Figura 14.

Figura 14 – Aparência de um hietograma construído por meio do método dos blocos alternados.



Fonte: A autora.

As curvas IDF (intensidade-duração-frequência) podem ser expressas em formato de gráfico, no entanto, também podem se apresentar sob forma de equação com coeficientes que variam de localidade para localidade. Uma das formas mais utilizadas (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015) está enunciada na equação (1).

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d} \quad (1)$$

Onde i é a intensidade da chuva em mm/h, Tr é o tempo de retorno em anos e t é a duração da chuva em minutos e a , b , c e d são os parâmetros específicos de cada localidade.

A curva IDF, que varia espacial e temporalmente, é calculada a partir do estudos de séries históricas de postos pluviográficos. Porém, como nem todas as localidades do Brasil possuem postos pluviométricos com séries tão antigas, a região de abrangência de certas estações se estendem para uma grande região (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015).

Isto posto, para obter-se a chuva de projeto pelo método dos blocos alternados, deve-se escolher uma duração da chuva e um tempo de retorno. A duração normalmente se define como aproximadamente o tempo de concentração da bacia.

O tempo ou período de retorno (Tr), por sua vez, se trata da probabilidade da ocorrência da chuva de projeto, atrelando como resultado um certo risco correlacionado à essa chuva ser igualada ou superada (SÃO PAULO, 2012). Estatisticamente, o Tr é o inverso da probabilidade ou frequência (F), sendo o tempo em que o evento de precipitação tem a possibilidade de recorrência, conforme a equação (2) (PORTO ALEGRE, 2005).

$$Tr = \frac{1}{F} \quad (2)$$

Já o risco pode ser calculado pela equação (3).

$$R_N = 1 - (1 - F)^N \quad (3)$$

Onde R é o risco de ocorrência de ao menos uma tormenta igual ou superior a de projeto durante o tempo de projeto; F é a frequência da precipitação ($F = 1/Tr$); N é o tempo de projeto, em anos (SÃO PAULO, 2012).

A definição do risco de uma obra de drenagem é carregada de subjetividade e que afeta diretamente os custos e benefícios da mesma. Como para defini-lo deve ser feito uma análise socioeconômica aprofundada da área de estudo e esses estudos são de

alto custo (PORTO ALEGRE, 2005), busca-se por tabelas na literatura que sugiram o tempo de retorno conforme a natureza do projeto, como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2 – Tempos de retorno adotados para projeto de estruturas de drenagem

Estrutura	Tr (anos)
Microdrenagem	2 a 10
Macrodrenagem	25 a 50
Grandes corredores de tráfego e áreas vitais para a cidade	100
Quando há risco de perdas de vidas humanas	100
Áreas onde se localizam instalações e edificações de uso estratégico, como hospitais, bombeiros, polícia, centros de controle de emergências, etc.	500

Fonte: Adaptado de São Paulo, 2012.

Uma vez selecionados a curva IDF, tempo de retorno e duração de precipitação, deve-se escolher os intervalos de discretização, que conforme Collischonn e Dornelles (2015), devem ser iguais ou menores a 10% do tempo de concentração, que pode ser calculado por meio de diversos métodos. Um deles, o escolhido para ser utilizado no presente trabalho, será explanado a seguir na seção 2.7.4.

Com esses parâmetros pré-estabelecidos conforme as considerações anteriores, a metodologia dos blocos alternados pode ser aplicada. A mesma consiste em algumas etapas, as quais estão descritas a seguir:

- Seleciona-se a duração da tormenta (td) e o intervalo de discrição (t);
- Através da relação intensidade-duração-frequência, obtém-se a intensidade de chuva para cada duração;
- As intensidades são transformadas em alturas de chuva e acumuladas até o último intervalo de tempo;
- Calculam-se os incrementos dos totais acumulados;
- Os incrementos ou blocos obtidos são rearranjados numa sequência tal que, no centro da duração da tormenta, se situe o bloco maior, e em seguida os demais blocos são dispostos em ordem decrescente, um à direita e o outro à esquerda do bloco maior, alternadamente (SÃO PAULO, 2012).

3.7.2 Precipitação Efetiva do SCS

A precipitação efetiva é definida como o volume de escoamento superficial decorrente a um evento de chuva, ou seja, é a porção da precipitação que realmente se transforma em escoamento superficial. O método desenvolvido pela agência *National Resources Conservation Center* dos Estados Unidos, antigo *Soil Conservation Service*

(SCS), é um dos métodos mais simples e aplicados na estimativa da precipitação efetiva (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015). A explicação do método a seguir foi baseada no livro Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais escrito por Collischonn e Dornelles (2015).

Este método se baseia na equação do balanço hídrico (4) que é aplicada na superfície do solo, ou seja, é diretamente influenciada pela capacidade de infiltração do solo.

$$P = Ia + F + Q \quad (4)$$

Onde:

P é a precipitação em um evento de chuva (mm);

Q é a precipitação efetiva, ou escoamento superficial, no evento de chuva (mm);

F é a infiltração acumulada no evento de chuva (mm) e

Ia são as perdas iniciais (mm), que são descaminhos da água antes que ela se torne escoamento superficial, como acúmulo de água na superfície, interceptação e infiltração no solo.

O método do SCS considera a hipótese que existe uma relação entre essas grandezas: que a razão entre o escoamento superficial (P) e o escoamento superficial máximo potencial ($P - Ia$) é igual a razão entre a infiltração acumulada no solo (F) e a máxima infiltração acumulada potencial (S), conforme a equação (5).

$$\frac{Q}{P - Ia} = \frac{F}{S} \quad (5)$$

A segunda hipótese considerada pelo SCS indica que as abstrações iniciais da precipitação (Ia) não ultrapassam 20% da infiltração acumulada inicial máxima (S), conforme a equação (6).

$$Ia = 0,2 \cdot S \quad (6)$$

Uma das limitações desse método é o embasamento físico frágil das suas hipóteses representadas pelas equações (5) e (6) (HAWKINS *et al.*, 2009 e MISHRA E SINGH, 1999 *apud* COLLISCHONN E DORNELLES, 2015). Porém, esse método tem uma fundamentação empírica em que o *Soil Conservation Service* realizou estudos em diversas bacias dos Estados Unidos para chegar aos devidos pressupostos.

A combinação das equações das duas hipóteses do método (5 e 6) com a equação do balanço hídrico (4), resultam na equação (7), que indica a estimativa do escoamento superficial.

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)} \quad (7)$$

De acordo com a segunda hipótese do método do SCS (6), a equação (7) pode ser reescrita conforme (8).

$$Q = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 S)} \quad (8)$$

Os possíveis valores de S , ou seja, a máxima infiltração acumulada potencial, foram gerado a partir de dados experimentais coletados em várias bacias hidrográficas rurais dos Estados Unidos na década de 1950, quando o modelo era desenvolvido.

O valor de S , equação (9), varia conforme o parâmetro CN , ou *curve number*, que é um valor adimensional que varia teoricamente de 0 a 100 de acordo com a superfície do solo, onde 0 representa uma superfície com capacidade de infiltração infinita e 100 uma superfície totalmente impermeável (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015). Conforme tabelas fornecidas pelo SCS, observa-se que na prática, esses valores variam de 30 a 100.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (9)$$

Ainda, é importante salientar que os valores de CN variam de acordo com os 4 tipos de solo, A, B, C, D, previamente estabelecidos pelo modelo do SCS, conforme a tabela 3. Deve-se converter as informações de características do solo extraídas da área de estudo para essas categorias previstas pelo método.

Tabela 3 – Os quatro tipos de solos considerados pelo método do SCS

Tipo SCS	Características	Textura
A	Solos com baixo potencial de geração de escoamento superficial: solos arenosos ou siltosos, profundos e de alta capacidade de infiltração.	Arenosa, Areia Franca; Franco Arenosa
B	Solos com pouco teor de argila, menos profundos ou com mais argila do que os solos do tipo A e de média capacidade de infiltração	Franco Siltosa; Franca
C	Solos com mais teores de argila do que os solos do tipo B, com uma camada mais impermeável abaixo da superfície ou pouco profundos.	Franco Argilo Arenosa
D	Solos com alto potencial de geração de escoamento superficial: solos argilosos, solos rasos sobre rochas impermeáveis, solos com lençol freático próximo à superfície, solos com capacidade de infiltração muito baixa.	Franco Argilosa; Franco Argilo Arenosa; Argilo Arenosa; Argilo Siltosa; Argilosa

Fonte: Hawkins *et al.*, 2009 *apud* Collischonn e Dornelles, 2015.

Pode-se perceber que há um gradiente de capacidade de infiltração que vai crescendo do solo tipo A, passando pelo B, e então o C, até o solo tipo D.

Uma vez determinado o tipo de solo, pode-se então definir o valor de CN. Se houverem dois ou mais tipos de solo em um mesmo tipo de cobertura do solo, deve ser feita uma média ponderada. O mesmo vale para bacias ou sub-bacias com mais de uma cobertura de solo, o que normalmente acontece. Deve-se fazer a média ponderada e assim obter um CN médio, ou ponderado, conforme a equação (10), e seguir a mesma metodologia apresentada.

$$CN_{méd} = \frac{\sum CN_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (10)$$

No caso de uma episódio de chuva com intensidade variável, deve-se primeiro ter a precipitação ocorrida em certo intervalo de tempo. Então, deve-se calcular a precipitação acumulada a cada intervalo, para então aplicar cada valor de precipitação desses no método do SCS. Com isso, será obtido o valor de chuva efetiva acumulada. Se desejado, poderá também ser obtido a chuva efetiva individual de cada intervalo subtraindo-se valores sucessivos justapostos do intervalo maior para o menor. Os valores de CN considerados no presente trabalho se encontram no Apêndice A.

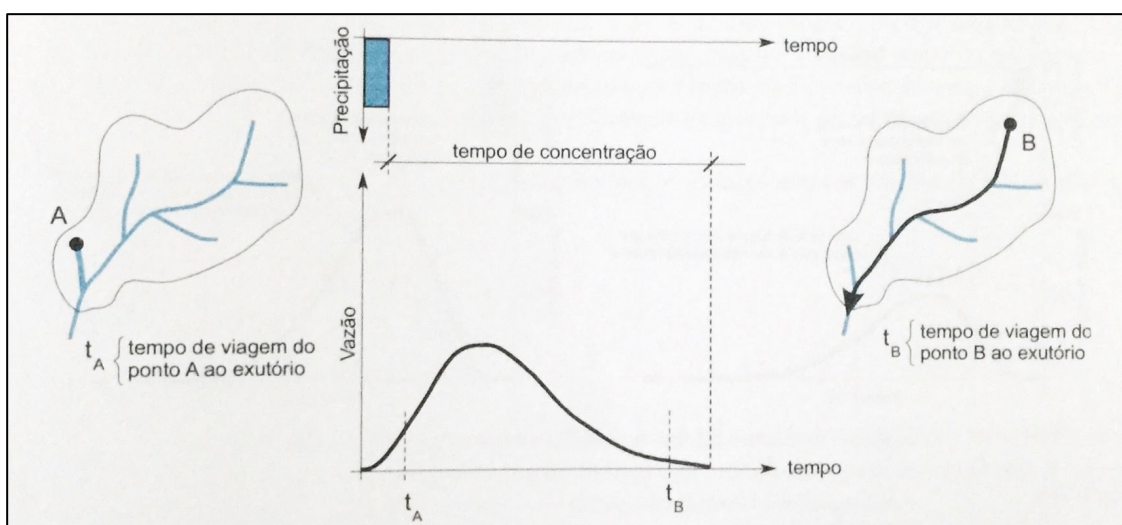
Embora o método do SCS seja um método simples e amplamente aceito por usuários e agências governamentais, ele possui algumas limitações. Conforme Hawkins *et al.* (2009 *apud* COLLISCHONN E DORNELLES, 2015), a primeira hipótese do método, demonstrada pela equação (4), não tem uma base física forte. Em outras palavras, ela implica que a duração do evento de precipitação não interfere na chuva efetiva, ou seja, o valor de Q calculado não varia se a chuva tiver ocorrido num intervalo de 10 minutos ou 24 horas (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015).

Além disso, ainda a segunda hipótese que as perdas iniciais contabilizam em torno de 20% vem sido contestada por correntes mais atuais que indicam que as perdas ficam em torno de 5%, ou seja $Ia = 0,05 \cdot S$. Contudo, com essa nova atualização, todo o método deveria ser modificado pois os valores de CN foram desenvolvidos conforme a hipótese original de Ia sendo $0,2 \cdot S$ (HAWKINS *et al.*, 2009 *apud* COLLISCHONN E DORNELLES, 2015).

3.7.3 Hidrograma Unitário

Hidrogramas são importantes para entender a resposta de uma bacia hidrográfica a certos eventos de precipitação. Conforme explicado anteriormente, eventos de precipitação geram chuvas excedentes conforme o uso do solo da bacia que, de acordo com Collischonn e Dornelles (2015), representam uma saída de água distribuída ao longo do tempo no exutório da respectiva BH. O gráfico que mostra a relação entre a vazão no exutório e o tempo é o hidrograma. Um exemplo destes pode ser observado na figura 15.

Figura 15 – Variação da vazão devido a um evento de precipitação



Fonte: Collischonn e Dornelles, 2015.

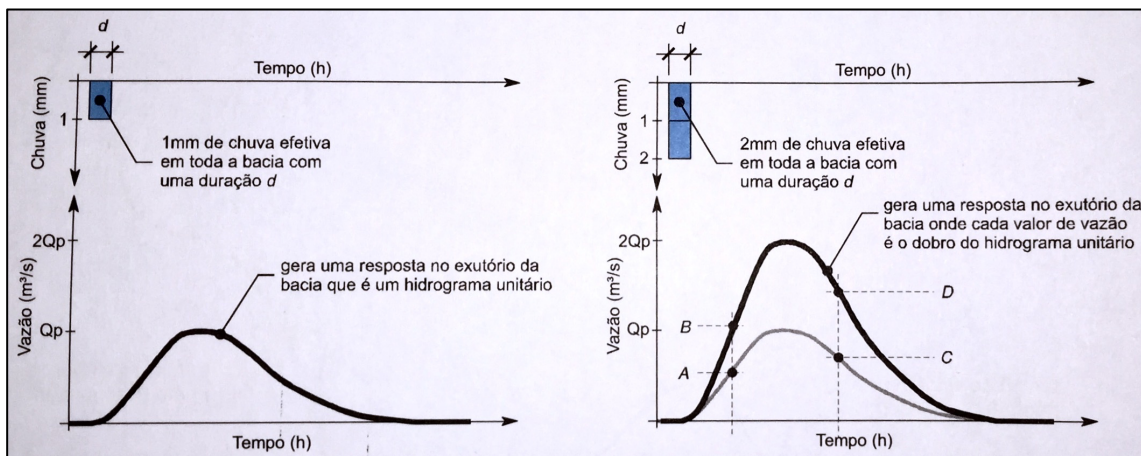
O Hidrograma Unitário, ou HU, é o “hidrograma do escoamento direto causado por uma chuva efetiva unitária” (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015), ou seja, uma chuva efetiva de uma unidade de intensidade e tempo.

A teoria do HU possui algumas premissas. Primeiramente, considera-se que a chuva é uniformemente distribuída por toda a bacia (MÉLLO JR, 2018). Também, considera-se que a relação entre a precipitação efetiva e a vazão é linear, com o intuito de simplificar a análise e os cálculos (COLLISCHONN E TASSI, 2008). Em decorrência desse comportamento linear da bacia, dois princípios podem ser aplicados: a proporcional e a superposição.

A proporcionalidade denota que hidrogramas com chuvas efetivas de mesma duração e mesmo tempo de base terão hidrogramas proporcionais à chuva efetiva (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015). Por exemplo, como pode ser observado na figura 16, um hidrograma correspondente a uma chuva efetiva de 2 mm é duas vezes

maior que a de 1 mm. A vazão em cada ponto na curva de 2 mm, B e D, são duas vezes maiores que os valores de vazão dos pontos que ocorrem ao mesmo tempo no hidrograma de 1 mm, A e C respectivamente.

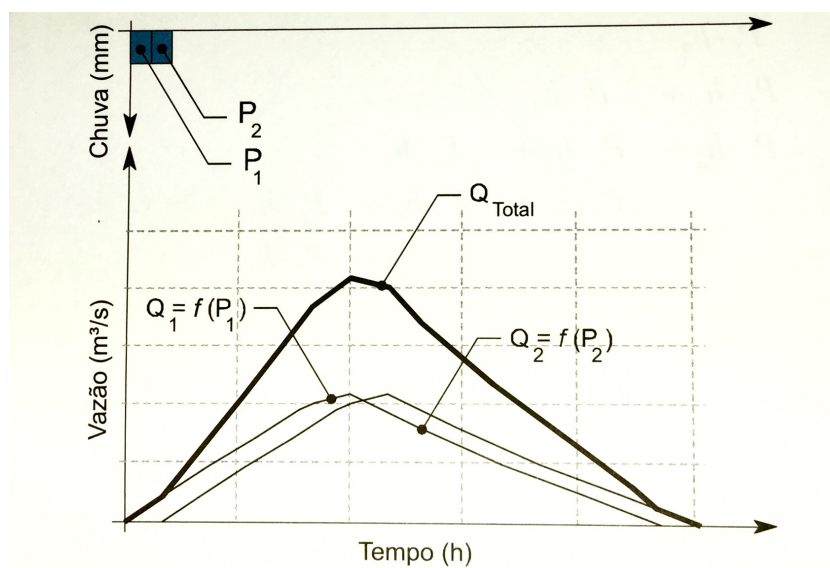
Figura 16 – Princípio da proporcionalidade na teoria do hidrograma unitário



Fonte: Collischonn e Dornelles, 2015.

Já o princípio da superposição indica que hidrogramas produzidos por chuvas efetivas sucessivas podem ser encontrados somando os hidrogramas das chuvas efetivas isoladas (COLLISCHONN E TASSI, 2008). Conforme pode ser observado na figura 17, o hidrograma resultante, ou seja, o que possui Q_{Total} é resultado da soma dos hidrogramas de Q_1 e Q_2 .

Figura 17 - Princípio da superposição na teoria do hidrograma unitário



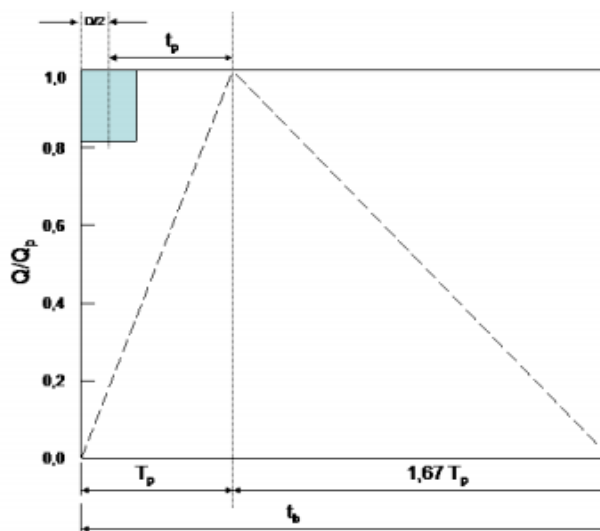
Fonte: Collischonn e Dornelles, 2015.

3.7.4 Hidrograma Unitário Sintético triangular do SCS

Idealmente, o hidrograma unitário é obtido medindo-se dados de vazão e precipitação simultâneos mas normalmente esse tipo de informação não está facilmente disponível. Por isso, a *Soil Conservation Service*, atualmente com o nome *Natural Resources Conservation Service*, desenvolveu um método que obtém o hidrograma de forma sintética. Esse método supõe que o escoamento unitário depende da precipitação antecedente, do uso e ocupação do solo e da permeabilidade do solo (DNIT, 2011).

Dessa forma, o HU sintético triangular do SCS é definido como um triângulo com a vazão de pico como sendo a altura e o tempo de base como sendo a base, este último calculado por meio do tempo de pico, conforme pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 – Estrutura do HU sintético triangular do SCS



Fonte: Collischonn e Tassi, 2008

A metodologia utilizada para calcular o HU sintético triangular do SCS é descrita abaixo conforme o texto de Chow et al. (1988 *apud* COLLISCHONN E DORNELLES, 2015).

O tempo de pico t_p é aproximadamente 60% do tempo de concentração, vide equação (11).

$$t_p = 0,6 \cdot t_c \quad (11)$$

Onde t_p é o tempo de pico, que pode ser visualizado na Figura 18, e t_c é o tempo de concentração, que pode ser estimado por diversos métodos, mas o escolhido para este trabalho foi pela equação de Watt e Chow (12), por conta do tamanho da bacia do presente estudo e pelos dados disponíveis para tal cálculo.

$$t_c = 7,68 \cdot \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,79} \quad (12)$$

Onde t_c é o tempo de concentração (min), L é o comprimento do curso d'água (km) e S é a declividade do curso d'água (m/m) do canal principal.

O tempo T_p levado para atingir a vazão de pico é calculado somando-se metade da duração da precipitação, d , junto com t_p , conforme a equação (13).

$$T_p = t_p + \frac{d}{2} \quad (13)$$

Também, o tempo de base, t_b , é estimado por (14), que fisicamente representa que o tempo de recessão é 67% superior ao tempo de subida ao pico.

$$t_p = T_p + 1,67 \cdot T_p \quad (14)$$

Então, para finalmente calcular a vazão de pico q_p , deve-se entender as relações do volume total escoado para uma chuva. Esse volume pode ser calculado fazendo-se o produto da área da bacia pela lâmina de chuva efetiva (15)

$$V = A \cdot P \quad (15)$$

E também pela área sobre a curva do HU sintético, que pode ser calculada por (16).

$$V = \frac{q_p \cdot t_b}{2} \quad (16)$$

Dessa forma, combinando (14), (15) e (16), obtém-se que a vazão de pico do hidrograma unitário triangular do SCS para uma chuva de 1 mm pode ser determinada por (17).

$$q_p = \frac{0,208 \cdot A}{T_p} \quad (17)$$

Onde T_p é o tempo de pico em horas, A é a área da bacia em quilômetros e q_p é a vazão de pico em m^3/s por mm de chuva efetiva.

4 METODOLOGIA

4.1 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE ANÁLISE E TEMPOS DE RETORNO

Nesse tipo de estudo, além de fazer um diagnóstico da influência do uso e ocupação do solo que ocorrem atualmente, é importante também analisar outros cenários de utilização do território a título de comparação e, conjuntamente, avaliação isolada. Por isso, além do estado atual (Cenário II) de uso e ocupação da bacia do rio Cuiá, definiu-se que seriam estudados os cenários:

- Pré-urbanização (Cenário I), que refere-se ao estado majoritariamente natural da bacia hidrográfica. Todas as áreas, exceto mangue, são ocupadas por mata capoeira;
- Futuro (Cenário III), cenário baseado no uso e ocupação atual da BH onde se intensifica o processo de urbanização, no qual áreas atuais de ocupação residencial de baixo adensamento se tornam de grande adensamento e áreas atuais de remanescente florestal são transformadas em áreas de pastos, gramíneas e arbustos;
- Crítico (Cenário IV), também baseado no uso e ocupação atual, no qual áreas atuais de ocupação residencial de baixo adensamento se tornam de grande adensamento, áreas atuais de remanescente florestal são transformadas em área urbana pouco adensada e áreas atuais de pastagem são convertidas em áreas residenciais de grande adensamento

Além dos cenários, para pluralizar a análise, ainda fez-se a simulação para cada cenário com precipitações de projeto em três períodos de retorno em um sistema de macrodrenagem: 25, 50 e 100 anos. Esses períodos de retorno foram escolhidos de forma a considerar horizontes do impacto da urbanização a médio e longo prazo.

Com isso, foram definidos 12 cenários de análise:

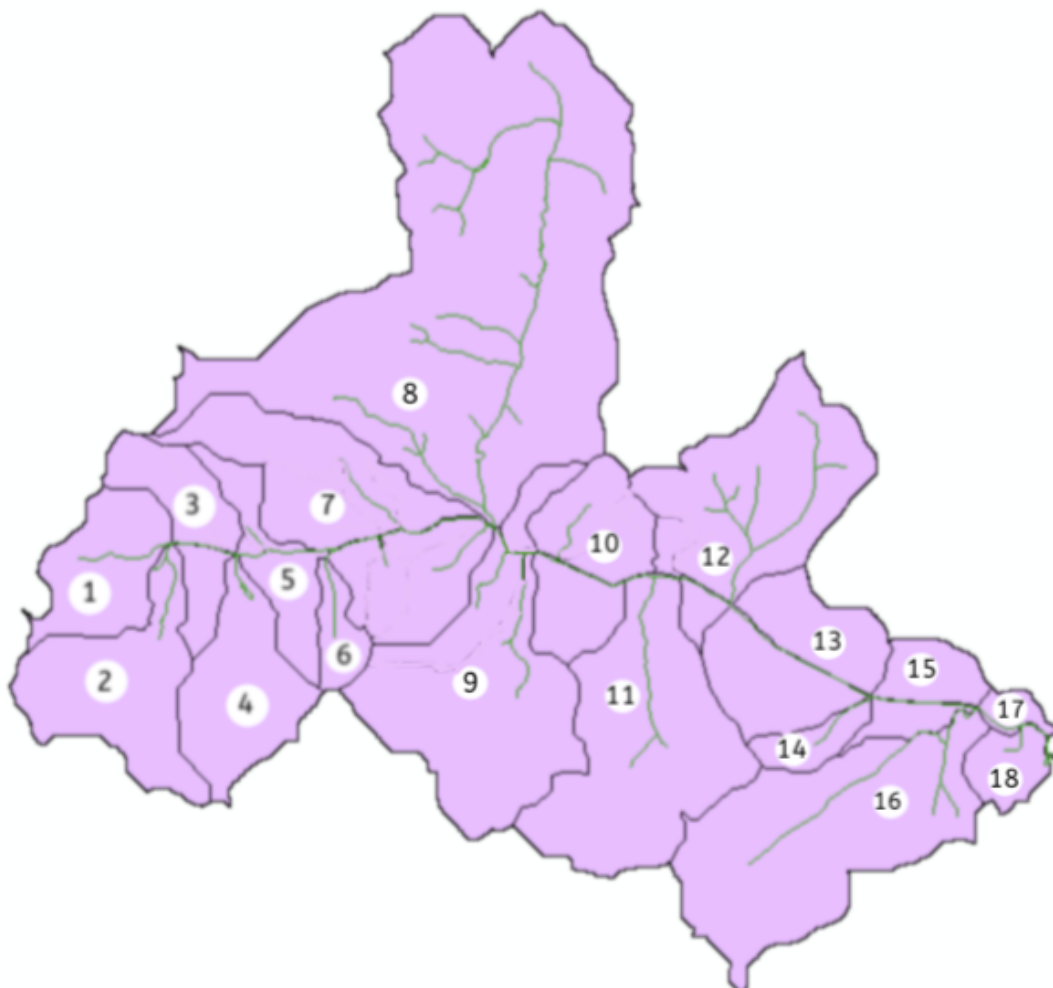
- Cen. I Tr 25, Cen. I Tr 50, Cen. I Tr 100;
- Cen. II Tr 25, Cen. II Tr 50, Cen. II Tr 100;
- Cen. III Tr 25, Cen. III Tr 50, Cen. III Tr 100;
- Cen. IV Tr 25, Cen. IV Tr 50, Cen. IV Tr 100.

4.2 DEFINIÇÃO DOS *CURVE NUMBERS*

Como os cenários Pré-urbanização, Futuro e Crítico foram baseados no cenário atual, precisou-se fazer, primeiramente, o geoprocessamento deste cenário. O processamento das imagens de satélite foi necessário para estabelecer como o solo da bacia do rio Cuiá estava sendo utilizado e, juntamente com o cruzamento desses dados com informações dos tipos de solos ocorrentes, obter os CN.

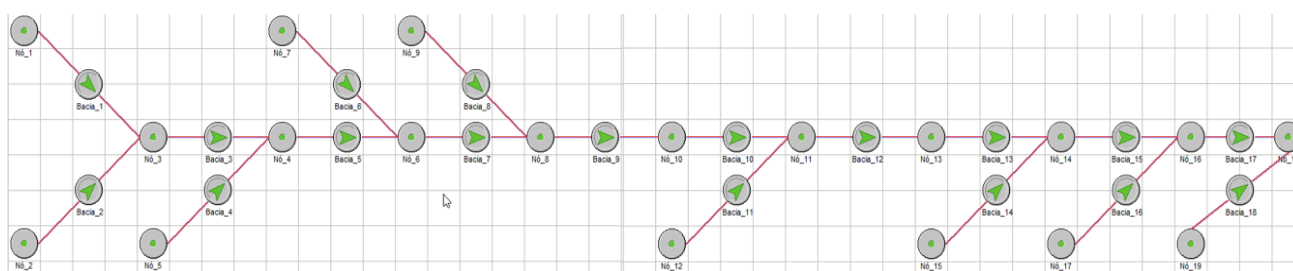
Para uma melhor esquematização no ABC6, a bacia do rio Cuiá foi dividida em 18 sub-bacias (Figura 19), conforme uma adaptação das sub-bacias definidas por Costa (2013) e traçado da rede de drenagem fornecida por Silva (2007). No ABC6, as sub-bacias foram montadas e esquematizadas conforme a figura 20.

Figura 19 – Sub-bacias do rio Cuiá consideradas no estudo.



Fonte: adaptado de Costa (2013) e Silva (2007).

Figura 20 – Sub-bacias no ABC6



Fonte: A Autora.

Com as sub-bacias definidas, obteve-se os dados de uso e cobertura do solo e de tipos de solo do Cenário II em arquivos para processamento no *software* ArcGIS conforme Silva (2007).

Como o traçado da bacia do rio Cuiá considerada por Silva (2007) era diferente que a traçada por Costa (2013) pelo método do MDE, teve-se que adaptar os mapas e fazer o uso do comando *trim* algumas áreas do mapa de Silva (2007) que excediam os limites da bacia delimitada por Costa (2013), tanto para o uso e ocupação quanto para o tipo de solo. Nas áreas vazias, considerou-se contínuo o uso e ocupação de acordo com a área justaposta na borda, estendendo-se o uso até os domínios da bacia determinada por MDE.

No *ArcMAP*, utilizou-se os *shapefiles* da delimitação da bacia e sub-bacias, tipos de solo e uso e ocupação para encontrar as áreas híbridas dentro de cada sub-bacia dos diferentes usos e ocupações do solo e seus respectivos tipos de solo. Com isso criou-se uma tabela no Excel com as áreas específicas de extensões tipo de solo *versus* uso e cobertura nas sub-bacias. Considerando as condições de umidade antecedente do tipo II, situação média na época das cheias (chuvas nos últimos cinco dias totalizaram entre 15 e 40 mm), cada polígono de área distinta foi vinculado a um CN conforme as tabelas de Collischonn e Dornelles (2015). Os valores de CN para os usos e coberturas do solo encontrados na bacia do rio Cuiá se encontram na tabela 4.

Tabela 4 – Valores de CN para os usos e coberturas do solo encontrados na bacia do rio Cuiá

Uso e Cobertura	Tipo de solo			
	A	B	C	D
Culturas	64	75	82	85
Ocupação urbana	77	85	90	92
Gramíneas, herbáceas e pastagens	39	61	74	80
Matas e capoeira	30	55	70	77
Expansão urbana	61	75	83	87
Mangue	100	100	100	100

Fonte: Adaptado de Collischonn e Dornelles (2015 *apud* Tucci, 1993).

A conversão dos tipos de solos ocorrentes na bacia conforme os tipos de solo do SCS se deu conforme a Tabela 3. Aplicou-se, então, a Equação 6 para calcular o $CN_{\text{médio}}$, considerando que este deve ser calculado em caso de bacias com cobertura heterogênea. Na Tabela 5, pode-se observar como foi feita a construção da planilha do Excel com todas as informações de tipo de solo e uso e cobertura e seus respectivos CN e áreas.

Tabela 5 – Exemplo de construção da tabela para cálculo do $CN_{\text{médio}}$

Sub-bacia	Área total sub-bacia (km ²)	Tipo de solo	Tipo de solo SCS	Uso e Cobertura	Área específica (km ²)	CN	$CN_{\text{médio}}$
1	1,2327	Pv - Agilo-Arenosa	C	Culturas	0,00870	82	74
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	0,08547	90	
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,19706	74	
		Lv - Arenosa	A	Culturas	0,24449	64	
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	0,65448	77	
		Lv - Arenosa	A	Gram_Herb_Past	0,04252	39	

Fonte: A autora.

Esse procedimento foi executado nas 18 sub-bacias. Para automatizar o processo de determinação do CN, fez-se o uso da função IF e AND do Excel.

Para a determinação dos CN dos outros cenários, fez-se as substituições conforme a seção 3.1, e construiu-se as tabelas para cálculo do $CN_{\text{ponderado}}$.

4.3 CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração de cada sub-bacia foi calculado por meio da equação de Watt e Chow (equação 12). Os dados de entrada para essa etapa foram o traçado da rede drenagem e a topografia da bacia. O traçado foi necessário para se saber o comprimento do canal de cada sub-bacia. Já a topografia para calcular a declividade.

Os comprimentos do rio foram medidos por meio de um arquivo *shapefile* da rede de drenagem de Silva (2007) e a declividade por meio do auxílio de uma carta topográfica (figura 21) de Costa (2013) e do software *Google Earth Pro*. Para as sub-bacias 9, 10, 12, 13, 15 e 17 (figura 19) que estão em série, a diferença altimétrica entre as mesmas é pouca. Por isso foi calculada sua declividade global que foi calculada a partir diferença de altitude entre o ponto inicial de 9 e o ponto final de 17.

Figura 21 – Informações topográficas da bacia do rio Cuiá.



Fonte: Costa, 2013.

Isso deu devido ao fato das informações de altitude serem dadas de 5 em 5 metros, na carta topográfica, e de metro em metro no Google Earth, sendo que, a precisão necessária para essas bacias que estão próximas ao mar e suas diferenças de altitude são menores.

4.4 CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO DE PROJETO

O presente estudo requereu da obtenção de dados base que seriam processados de forma a se adequar ao *software* de modelagens utilizados, os quais foram a curva

IDF do local, para o cálculo da precipitação efetiva, e a delimitação da bacia e sub-bacias, o tipo de solo, e uso e ocupação do solo para a definição dos *Curve Numbers*, já calculados anteriormente.

Primeiramente, buscou-se a curva IDF da cidade de João Pessoa. A adotada nesse estudo foi proposta por Pfafstetter (1957 *apud* Costa, 2013), como pode ser observado na equação 13.

$$i = \frac{886,013 \cdot Tr^{0,164}}{(t + 20)^{0,727}} \quad (13)$$

Os tempos de retorno utilizados para a análise foram 25, 50 e 100 anos, o tempo de duração da precipitação foi 105 minutos conforme Costa (2013) e o intervalo de discretização 5 minutos, valor menor que 10% do tempo de duração da precipitação conforme a literatura recomenda. Então, utilizando-se o método dos blocos alternados, calculou-se a precipitação de projeto para os três tempos de retorno adotados.

4.5 OBTENÇÃO DOS HIDROGRAMAS PARA OS DIFERENTES CENÁRIOS NO ABC6

Com todos dados de entrada para o *software* preparados e o esquema de sub-bacias montado conforme a Figura 20, começou-se a introduzir os dados no ABC6. Em cada sub-bacia, preencheu-se o valor de área (Km²), tempos de concentração (h), comprimento e coeficiente de amortecimento 0,5 para tentar minimizar os efeitos de amortecimento do canal, uma vez que, para esse estudo, buscou-se reduzir por completo as implicações desses efeitos nos resultados. Na figura 22, pode-se observar como é feito o preenchimento da aba “Dados da Bacia” no *software*.

Figura 22 – Preenchimento da aba “Dados da Bacia” no ABC6

Bacia: Bacia_1

Dados da Bacia Precipitação Infiltração

Características Físicas

Área (Km²): 1,233

Área Impermeável (%): 0,0

Área Diretamente Conectada (%): 0,0

} Aimp ≥ Adir

Tempo de Concentração

Tempo de Concentração (h): 1,75

Calculado por: Usuário Equações Empíricas

Dados do Canal

Comprimento (m): 1972,7

Velocidade (m/s): 0,47

Tempo de Trânsito da Onda de Cheia (h): 1,17

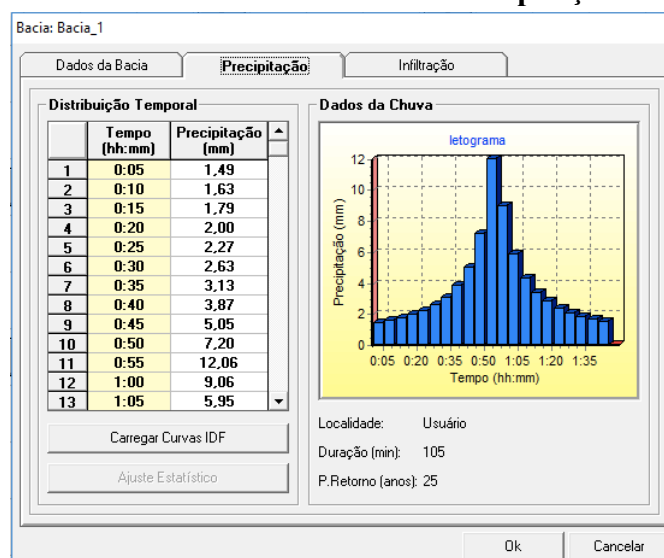
Coeficiente de Amortecimento (0 < x < 0,5): 0,50000

Ok Cancelar

Fonte: A autora.

Para se regular a precipitação de projeto, deve-se inicialmente, no menu “Parâmetros”, definir o “Intervalo de Discretização” (min) e “Período de Retorno da Precipitação” (anos), sendo o primeiro 5 min, como determinado no tópico 3.4 e os períodos de retornos variantes segundo o cenário. Com esses parâmetros definidos, já na aba “Precipitação”, tinha-se a opção de adotar a chuva de projeto calculada pelo próprio programa. Porém, ela foi calculada separadamente, conforme o tópico 3.4, por não se ter a certeza de que as curvas IDF provenientes do ABC6 estavam atualizadas. Uma vez calculadas, elas serviram de dados de entrada nessa aba em concordância com as diferentes simulações e seus tempos de retorno distintos, conforme a figura 23.

Figura 23 – Entrada de dados na aba “Precipitação” no ABC6.



Fonte: A autora.

Finalmente, na aba “Infiltração”, utilizou-se o $CN_{\text{médio}}$ calculado anteriormente como dado de entrada. O preenchimento das três abas foi efetuado para cada sub-bacia.

Com todos os dados necessários, utilizou-se a opção “Calcular”. Com isso, pode-se obter hidrogramas para cada sub-bacia e nó. Os hidrogramas utilizados para a análise, foram os do exutório da bacia do rio Cuiá. Os valores de vazão foram exportados para o Excel para facilitar a futura análise. Uma vez no excel, os volumes totais escoados foram obtidos calculando-se a área abaixo da curva do hidrograma. Para isso, escolheu-se a regra do trapézio aplicada a todos os intervalos de discretização, onde a altura foi o tempo do intervalo e as bases maiores e menores foram as vazões.

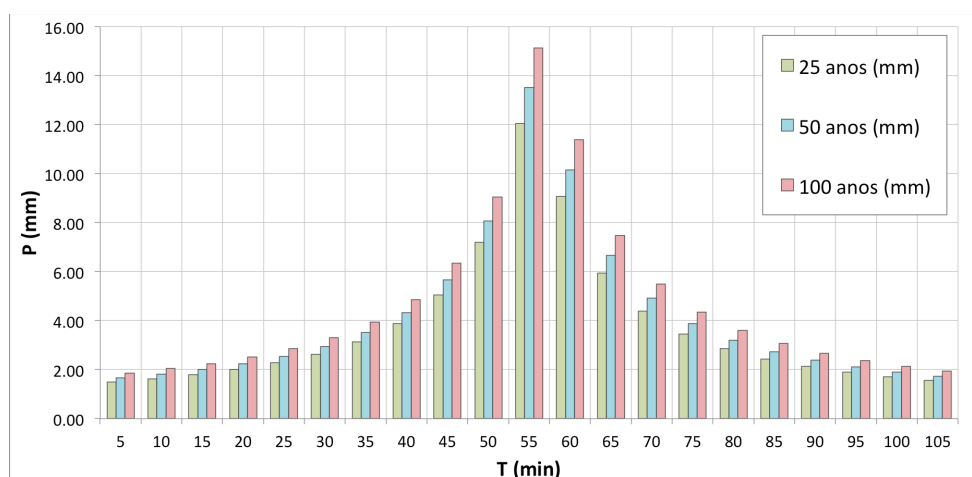
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados principais do presente trabalho são os hidrogramas simulados para os cenários previstos. Porém, existem outros resultados que foram obtidos no processo de obtenção deste e serviram para a construção do resultado principal.

5.1 PRECIPITAÇÕES DE PROJETO

Uma vez aplicado o método dos blocos alternados para um tempo de duração da precipitação de 105 minutos e intervalo de discretização de 5, obteve-se três hietogramas para os tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos. As lâminas totais foram de 78,58 mm, 88,03 mm e 98,63 mm respectivamente. Plotados lado a lado, os três gráficos de ‘Chuva x Tempo’ podem ser observados na figura 24.

Figura 24 – Hietogramas das chuvas de projetos para os Tr de 25, 50 e 100 anos



Fonte: A autora.

Como era de se esperar, quanto maior o tempo de retorno, maior a lâmina total. Também quanto maior o tempo de retorno, maior a altura de chuva quando comparada à altura de chuva de outro tempo de retorno no mesmo intervalo. Isso se dá pela própria natureza da curva IDF que externaliza o conceito de tempo de retorno. Como o tempo é inversamente proporcional à frequência, quanto maior o tempo de retorno, o resultado da precipitação obtida será mais difícil de ser igualado ou superado, ou seja, são chuvas de maior alturas que ocorrem mais raramente mas que tem chance de acontecer e a cidade deveria estar preparada para tal. Dessa forma, percebe-se que é importante utilizar chuvas de projeto com diferentes tempos de para um planejamento de prevenção à longo prazo.

5.2 CURVE NUMBERS PARA TODAS AS SUB-BACIAS EM DIFERENTES CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO

Esta etapa do trabalho foi a que precisou de mais resultados parciais para se obter seu resultado final. Depois do processamento dos *shapefiles* das sub-bacias, tipo de solo e uso e ocupação, foram geradas 18 *table of contents* no que foram exportadas do *ArcMAP* para o *Excel* e reorganizada em uma tabela só. Essa tabela (Apêndice A) contém a área de cada sub-bacia, as informações de áreas de combinações ‘tipo de solo x uso e ocupação’ diferentes e suas respectivas áreas para o cenário atual.

As áreas totais da sub-bacia e áreas específicas foram necessárias para o cálculo do CN médio. Depois de obtidas para o cenário atual, as áreas específicas para o uso e ocupação dos cenários I, II, III e IV foram obtidas conforme as considerações da metodologia explanadas na seção 3.2 e os seus CNs médios por sub-bacia foram calculados. Compiladamente, os CNs obtidos para cada cenário são os mostrados na tabela 6.

Tabela 6 – CNs obtidos por sub-bacia para cada cenário de uso e ocupação

Sub-bacia	Cenário I	Cenário II	Cenário III	Cenário IV
1	39	74	74	77
2	33	57	59	68
3	43	73	73	80
4	35	64	65	68
5	52	72	77	84
6	46	68	79	82
7	55	75	77	84
8	50	78	78	83
9	62	81	84	87
10	63	82	82	88
11	70	85	88	90
12	68	78	80	89
13	69	76	81	84
14	64	69	75	80
15	59	62	65	69
16	67	74	77	80
17	66	66	69	75
18	51	51	53	57

Fonte: A autora.

Existe uma progressão crescente dos valores do CN conforme o nível de urbanização dos cenários evolui, da situação de pré-urbanização até a situação crítica, o

que espera-se que irá refletir na formação do escoamento superficial. Como o CN varia teoricamente de 0 a 100, onde 0 representa uma superfície com capacidade de infiltração infinita e 100 uma superfície totalmente impermeável, *curve numbers* maiores refletem uma superfície com capacidade de escoamento superficial maior.

5.3 HIDROGRAMAS

Por fim, a aplicação o método de chuva excedente do SCS automatizado pelo *software* ABC6 resultou em 12 hidrogramas isolados (Apêndice B), um para cada combinação de cenário e tempo de retorno. O nó considerado para a produção dos hidrogramas foi o ponto de exutório, o nó 18 na figura 20. A tabela 7 explana os volumes totais geradas nas simulações.

Tabela 7 – Volume total escoado em cada simulação

Cenário	Tempos de retorno (anos)		
	25	50	100
Cen. I	345667,50 m ³	480550,20 m ³	651592,20 m ³
Cen. II	1075063,50 m ³	1330938,60 m ³	1630971,00 m ³
Cen. III	1184008,20 m ³	1452065,70 m ³	1764562,20 m ³
Cen. IV	1492013,70 m ³	1790945,55 m ³	2134662,75 m ³

Fonte: A autora.

Pode-se perceber que as respostas da bacia variam substancialmente do cenário de pré-urbanização para os cenários II, III e IV. Para os distintos tempos de retorno, o volume total escoado para os três cenários de urbanização são maiores que o volume do cenário natural respectivamente em: 311%, 277% e 250% (Cenário II), 343%, 302% e 271% (Cenário III), 432%, 373% e 328% (Cenário IV).

Embora o tempo de base seja o mesmo, 12h10min, as intensidades de vazão e tempos de pico, além da forma como os picos locais ocorrem são afetados negativamente pela urbanização. Os valores máximos de vazão e o tempo de ocorrência transcorrem conforme a tabela 8.

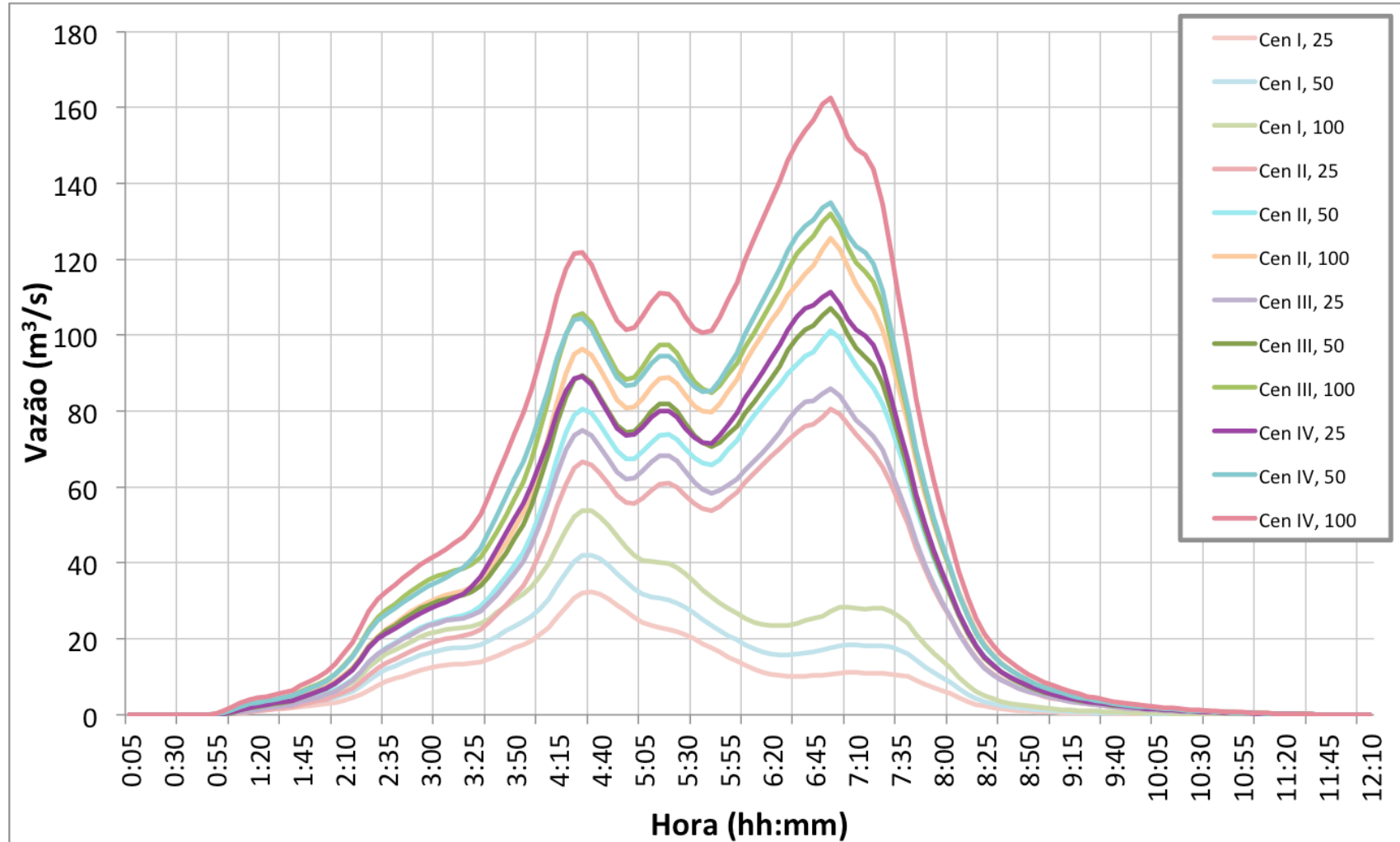
Tabela 8 - Valores máximos de vazão e seus tempo de ocorrência para os diferentes cenários

Cenário	Tempos de retorno (anos)					
	25		50		100	
	Vazão	Ocorrência	Vazão	Ocorrência	Vazão	Ocorrência
Cen. I	32,399 m ³ /s	4h35min	42,126 m ³ /s	4h30min	53,881 m ³ /s	4h30min
Cen. II	80,478 m ³ /s	6h55min	101,114 m ³ /s	6h55min	125,463 m ³ /s	6h55min
Cen. III	85,916 m ³ /s	6h55min	107,14 m ³ /s	6h55min	132,061 m ³ /s	6h55min
Cen. IV	111,324 m ³ /s	6h55min	135,037 m ³ /s	6h55min	162,462 m ³ /s	6h55min

Fonte: A autora.

No cenário de pré-urbanização, o pico ocorre antes que nos demais cenários, porém suas intensidades de vazão são muito menores, chegando a corresponder a 40,25%, 37,71% e 29,10% das vazões dos cenários II, III e IV respectivamente. Embora os outros cenários tenham em comum o fato que seus picos ficam na faixa de 6h55min, seu terceiro pico local fica na mesma faixa de tempo, como pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 – Hidrogramas para todos os cenários e tempos de retorno

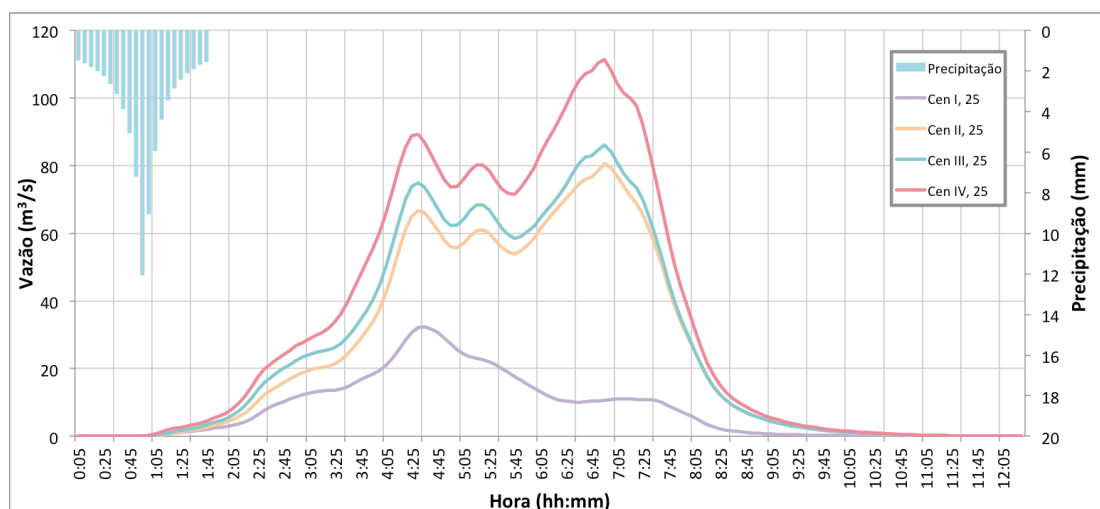


Fonte: A autora.

Como ponto em comum, todos os hidrogramas tem um formato semelhante, com um máximo global e outros dois locais. No entanto, conforme o nível de urbanização vai se acentuando os picos ficam mais acentuados. Isso significa que as vazões aumentam mais rapidamente, ou seja, a resposta da bacia está sendo mais rápida pois a chuva efetiva está sendo gerada mais rapidamente devido à sua capacidade reduzida de infiltração.

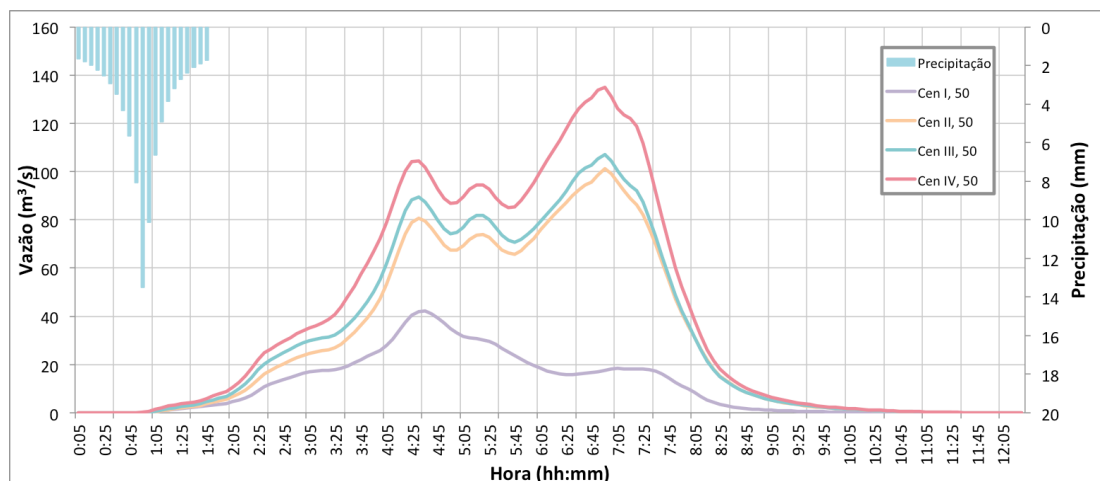
Analisando agora os diferentes cenários de ocupação para uma mesma chuva de projeto, pode-se observar mais detalhadamente as dissimilaridades entre os cenários nas figuras 26, 27 e 28.

Figura 26 – Hidrogramas de todos os cenários para uma chuva de projeto com tempo de retorno de 25 anos



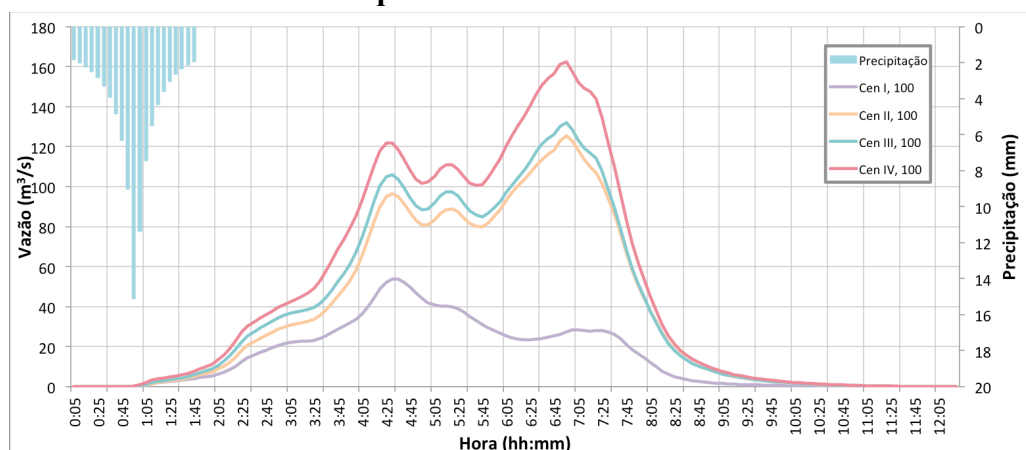
Fonte: A autora.

Figura 27 – Hidrogramas de todos os cenários para uma chuva de projeto com tempo de retorno de 50 anos



Fonte: A autora.

Figura 28 – Hidrogramas de todos os cenários para uma chuva de projeto com tempo de retorno de 100 anos



Fonte: A autora.

Presume-se que a defasagem entre o pico de chuva e o pico do hidrograma se dê pelo tempo que demora para toda a superfície da bacia estar contribuindo para a vazão no exutório. Conjuntamente, mesmo tentando minimizar os efeitos do amortecimento do canal sobre a condução do escoamento superficial durante a etapa de simulações, esse atraso entre os picos de chuva e de vazão no exutório acabou sendo maior do que o que se esperava. Contudo, por o comprimento do canal principal ter sido usado como dado de entrada no ‘Módulo Dados’ na seção ‘Dados do Canal’, entende-se que esse efeito de amortecimento calculado automaticamente pelo programa é compatível.

No âmbito da vulnerabilidade ao aumento de precipitação, a sensibilidade é decrescente dos Cenários I ao IV, sendo o Cenário I o mais sensível e o IV o menos sensível ao aumento da precipitação de tempos de retorno diferentes. Isso se deu pois a taxa de aumento do volume total escoado para os diferentes tempos de retorno foi maior nos cenários mais sensíveis e menores nos tempos menos sensíveis.

Mesmo não tendo chegado à um estágio crítico de urbanização atualmente, o hidrograma do cenário atual já tem vazões bem mais altas que o cenário natural. Isso explica os problemas atuais de desventuras causados por eventos de precipitações de maior intensidade. Conforme a precipitação ocorre, as áreas de contribuição com capacidade reduzida de infiltração geram um maior volume de escoamento e bem como aumentam sua velocidade de trânsito quando comparadas ao terreno de uma bacia em seu estado natural, onde a cobertura vegetal serve de obstáculo de retenção para a água, não só facilitando a infiltração, mas também os processos de percolação devido ao favorecimento de condições de solo descompactado por conta de suas raízes e facilitação de vida no solo.

6 CONCLUSÃO

Após a aplicação de métodos para se obter a vazão para determinada precipitação, pode-se verificar que o processo de urbanização de uma área natural afeta profundamente o ciclo hidrológico urbano, principalmente por impedir a infiltração e dessa forma aumentar o escoamento superficial.

As vazões no exutório aumentaram do cenário onde a ocupação da bacia era natural para aqueles que já tinham algum nível de urbanização. Além disso, conforme o nível de urbanização dos cenários II ao IV aumentou, a vazão também cresceu. Também, o aumento da intensidade de precipitação resulta em vazões maiores. Na prática, isso significa que o ambiente urbano se torna mais vulnerável a eventos de precipitação com altos índices pluviométricos.

A tendência é que se o modelo de desenvolvimento atual não mudar, a geração do escoamento também irá se intensificar, complicando o quadro de inundações da bacia do rio Cuiá. A forma como o problema está sendo tratada pela prefeitura é bastante tradicional, como pode ser observado na abordagem tática de medidas integradas proposta pela Defesa Civil descritas no final da seção 3.1. Embora as técnicas mencionadas sejam de grande valia para a otimização do sistema de drenagem da bacia, em nenhum momento cita-se a execução de ações como: fazer cumprir o zoneamento; fiscalização por parte da prefeitura sobre percentual de solo permeável conforme o Decreto 5.900/2007 nas propriedades e lotes; implantação de medidas de controle de escoamento superficial na fonte, recuperação da vegetação, principalmente a de várzea; compensação de impermeabilização por meio de infraestruturas verdes; valorização dos serviços ambientais proporcionados por florestas e áreas verdes; controle de expansão urbana sobre áreas de inundação; promoção da criação de áreas permeáveis; fiscalização das Áreas de Proteção Ambiental e Permanente no território da bacia, dentre outras medidas de controle características de um desenvolvimento cidadão de baixo impacto. Por isso, o planejamento urbano se torna essencial para a prevenção de problemas de natureza hidrológica.

Espera-se que os resultados e métodos explorados e apresentados neste trabalho sirvam de instrumentos para o planejamento a médio e longo prazo na gestão de bacias urbanas como forma de promover um ambiente cidadão mais saudável por meio do desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ANDRADE FILHO, A. G., SZÉLIGA, M. R., ENOMOTO, C. F. **Estudo de Medidas Não-estruturais para controle de inundações urbanas**. PUBLICATIO UEPG – Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias. 6 (1):69-90. 2000.

BAPTISTA, M. B., NASCIMENTO, N. O. **Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 7, n. 1, p. 29-49, Jan/Mar. 2002.

BARBOSA, G. S. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Revista Visões, v. 1, n. 4, jan/jun. 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – 4. ed. – Brasília : Funasa, 2015. 642 p.

_____. **Lei Nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. (Redação dada pela Medida Provisória nº 844, de 2018). Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 08 de jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 10 mai. 2018.

_____. **Lei Nº 13.308 de 06 de julho de 2016**. Altera a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, determinando a manutenção preventiva das redes de drenagem pluvial. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 07 de jul. 2016. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/L13308.htm>. Acesso em: 11 mai. 2018.

_____. **Lei Nº9.433 de 08 de janeiro 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. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 09 de jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 24 jul. 2018.

CENTER OF RESEARCH ON EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. **Annual Disaster Statistical Review 2015 – The number and trends**. Brussels: Université Catholique de Louvain, 2015.

COLLISCHONN, W., DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 2ª ed. Porto Alegre, RS: ABRH, 2015.

COLLISCHONN, W., TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre, RS: IPH, 2008.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 18 de mar. 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2018.

COSTA, A. H. A. **Simulação dos impactos da urbanização sobre as inundações urbanas na bacia hidrográfica do Rio Cuiá (PB)**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado)-Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2013.

CUNICO, C. **Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi – PRÇ Perspectivas para a Análise e Avaliação das Condições Sócio-Ambientais**. 2007. 193 p. Dissertação (Mestrado) - Geografia, Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, PR, 2007.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes. **Projeto Básico de Engenharia para a Travessia Urbana do Município de Figueirópolis, TO**. v. 2, jun. 2011. Superintendência Regional no Estado do Tocantins. JDS Engenharia e Consultoria.

DU, W. *et al.* Health impacts of floods. **Prehospital and disaster medicine**, v. 25, n. 3, p. 265-72, mai/jun. 2010.

EASTERN RESEARCH GROUP INC. **Economic assessment of green infrastructure strategies for climate change adaptation: pilot studies in the Great Lakes Region**. mai. 2014. National Oceanic and Atmospheric Administration, Coastal Services Center, 2014. 181 p.

FARINA, F. C. **Abordagem sobre as técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento e gestão urbana**. Cadernos Ebape.br, v. 4, n. 4, dez. 2006.

G1 PARAÍBA. **Carroceiro cobra R\$ 5 para atravessar motos em alagamento de João Pessoa: Rio Cuiá alagou Rua Brasilino Alves da Nóbrega, no Valentina de Figueiredo, após chuvas desta sexta (28)**. Disponível em <<https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/carroceiro-cobra-r-5-para-atravesar-motos-em-alagamento-de-joao-pessoa.ghtml>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

GALBETTI, M. V. **Comparação dos modelos hidrológicos presentes no SSD ABC6 aplicados a uma bacia urbana**. 2015. 133 p. Dissertação (Mestrado)-Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil de Informações Básicas Municipais: Perfil dos Municípios Brasileiros – Tabela 19**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Perfil_Municipios/2013/pdf/tab19.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Séries Históricas**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/educacao/9663-censo-demografico-2000.html?edicao=9771&t=series-historicas>>. Acesso em: set. 2018.

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **Missão e Valores**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/iph/institucional/missao-visao-e-valores>>. Acesso em: set. 2018.

JONKMAN, S., VRIJLING, J. **Loss of life due to floods**. Journal of Flood Risk Management, v. 1, p. 43-56. 2008.

LABSID – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões. **ABC**. 2016. Disponível em: <<http://www.labsid.eng.br/software.aspx?id=8>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

United States Geological Survey. **Hydrology for Urban Land Planning – A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use**. Luna B. Leopold. Para U.S. Department of the Interior, Geological Survey 524, 1968. 21 p.

LOPES, M. D. **Avaliação do efeito de diferentes alternativas de drenagem sustentável no controle do escoamento superficial**. 2017. 87 f. Monografia (Graduação)- Engenharia ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2017.

MCGRANAHAN, G., SATTERTHWAITE, D. **Urbanisation concepts and trends**. IIED, Londres. 2014. Disponível em: <<http://pubs.iied.org/10709IIED/>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

MELLO JR., A. V. **Hidrologia determinística: hidrograma unitário**. 2018. Universidade de São Paulo. 38 p. Notas de Aula. Apresentação de slides no PowerPoint. Disponível em: <http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=14650>. Acesso em: 13 ago. 2018.

OLIVEIRA, C. P. M. *et al.* **ABC 6, Um Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Cheias em Bacias Complexas**. In: ABC6-Win32.EXE. LabSid. Disponível em: <<http://www.labsid.eng.br/software.aspx?id=8>>. Acesso em: set. 2018.

PMJP – Prefeitura Municipal de João Pessoa. Decreto nº 5.343, de 28 de junho de 2005. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/04/DECRETO5.343-Cabo-Branco.pdf>>. Acesso em: set. 2018.

PMJP – Prefeitura Municipal de João Pessoa. **Decreto nº 5.900, de 24 de abril de 2007**. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wpcontent/uploads/2012/04/Decreto5900.2007.pdf>>. Acesso em: set. 2018

PMJP – Prefeitura Municipal de João Pessoa. **Dragagem do Rio Cuiá vai evitar alagamentos e melhorar o tráfego entre Mangabeira e Valentina**. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/dragagem-do-rio-cuia-vai-evitar-alagamentos-e-melhorar-o-trafego-entre-mangabeira-e-valentina/>>. Acesso em: 01 set. 2018.

PMJP – Prefeitura Municipal de João Pessoa. **Lei nº 9.904, de 15 de abril de 2003**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-ordinaria/2003/991/9904/leiordinaria-n-9904-2003-dispoe-sobres-as-normas-tecnicas-de-localizacao-construcao-e-instalacao-e-o-funcionamento-de-postos-revendedores-pr-de-combustivel-e-tomaoutras-providencias>>. Acesso em: set. 2018

PEREIRA, F. L. *et al.* **Política de drenagem urbana no Brasil**. Disponível em: <www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=759>. Acesso em: 12 jul. 2018.

PEREIRA, L. C. O. **Aspectos normativos relacionados ao manejo de águas pluviais e controle de escoamento em meio urbano – caso de João Pessoa**. 2017. 86 f. Monografia-Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2017.

POMPÊO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, vol. 5, n. 1, pag. 15-23, 2000.

PORTO ALEGRE – Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Histórico**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=63>. Acesso em: set. 2018.

_____. Departamento de Esgoto Pluviais. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Plano Diretor de Drenagem Urbana – Manual de Drenagem Urbana**. Porto Alegre: 2005. 167 p.

_____. **Lei Complementar N°434 de 01 de dezembro 1999**. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Porto Alegre, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre e dá outras providências. Porto Alegre, 1999. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/lei_434_integra_atualizada_out_2010.pdf>. Acesso em: set. 2018.

RAFAEL, R. A. *et al.* **Caracterização da evolução urbana do município de João Pessoa/PB entre os anos de 1990 e 2006, com base em imagens orbitais de média resolução**. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN, Brasil, 2009. INPE, 2009, p. 819-826.

REIS, A. L. Q. **Índice de sustentabilidade aplicado à bacia do Rio Cuiá – João Pessoa (PB)**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado)-Programa Regional de Pós-Graduação em desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2010.

SILVA, G. B. L. **Estudos Hidrológicos: chuva-vazão**. Drenagem Urbana de Águas Pluviais. 2016. Universidade Federal da Paraíba. 49 p. Notas de Aula. Apresentação de slides no PowerPoint.

SILVA, J. A. da. **Direito Urbanístico Brasileiro**. Malheiros Editores, São Paulo. 2010.

SILVA, L. P. **Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá**. 2007. 114 p. Dissertação (Mestrado). Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2007.

SILVA, L. P., SANTOS, C. A. G. **Análise Espacial dos Riscos de Erosão e Inundação na Bacia do Rio Cuiá**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, v. 15, n. 3, p. 21-32, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano**. In: Água Doce. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. Cap. 14.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas**. Estudos Avançados, v. 22 (63), jun. 2008.

UGEDA Jr., J. C. **Urbanização brasileira, planejamento urbano e planejamento da paisagem**. 2004. Disponível em: <<http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-151.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

UGEDA Jr., J. C., AMORIM, M. C. C. T. **Diagnóstico ambiental na cidade de Jales-SP**. Caderno Prudentino de Geografia, v. 2, n. 34, p. 60-80, ago/dez. 2012.

APÊNDICES

**APÊNDICE A - DADOS DE 'TIPO DE SOLO X USO E OCUPAÇÃO' E ÁREAS
TOTAIS DAS SUB-BACIAS**

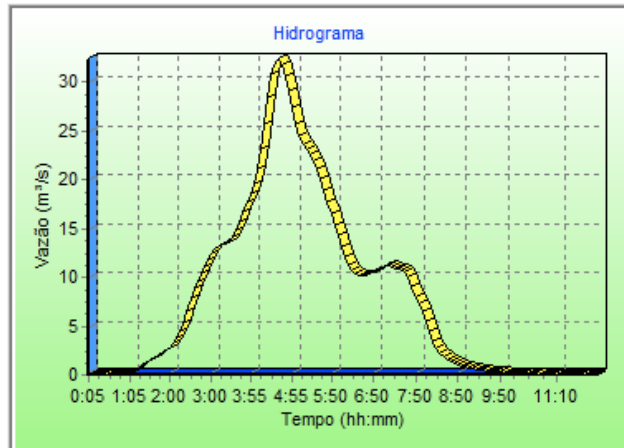
Sub-bacia	Área total da sub-bacia (km2)	Tipo de solo	Tipo de solo SCS	Uso e Cobertura	Área específica (km2)
1	1,2327	Pv - Agilo-Arenosa	C	Culturas	0,00870
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	0,08547
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,19706
		Lv - Arenosa	A	Culturas	0,24449
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	0,65448
		Lv - Arenosa	A	Gram_Herb_Past	0,04252
2	1,9367	Lv - Arenosa	A	Mata_Capoeira	0,41178
		Lv - Arenosa	A	Culturas	1,04583
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	0,18382
		Lv - Arenosa	A	Gram_Herb_Past	0,15466
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,14064
3	1,0690	Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	0,01327
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,34090
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	0,56278
		Lv - Arenosa	A	Gram_Herb_Past	0,07499
		Lv - Arenosa	A	Culturas	0,07706
4	1,5437	Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	0,02580
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,15443
		Lv - Arenosa	A	Expansao	0,06503
		Lv - Arenosa	A	Culturas	1,23378
		Lv - Arenosa	A	Gram_Herb_Past	0,06464
5	0,8506	Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	0,05999
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,34755
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	0,01124
		Lv - Arenosa	A	Expansao	0,21807
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	0,17652
		Ae - Agilosa	D	Gram_Herb_Past	0,03721
6	0,3825	Pv - Agilo-Arenosa	C	Mata_Capoeira	0,02672
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	0,06530
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,06068
		Lv - Arenosa	A	Mata_Capoeira	0,00003
		Lv - Arenosa	A	Expansao	0,22852
		Ae - Agilosa	D	Gram_Herb_Past	0,00122
7	3,0881	Pv - Agilo-Arenosa	C	Mata_Capoeira	0,49542
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	0,32820
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,66609
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	0,06150
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	0,95227
		Lv - Arenosa	A	Gram_Herb_Past	0,06587
		Lv - Arenosa	A	Mata_Capoeira	0,02878

		Lv - Arenosa	A	Expansao	0,18519
		Ae - Agilosa	D	Mata_Capoeira	0,08734
		Ae - Agilosa	D	Gram_Herb_Past	0,21744
Sub-bacia	Área total da sub-bacia (km2)	Tipo de solo	Tipo de solo SCS	Uso e Cobertura	Área específica (km2)
8	10,0911	Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,19340
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	3,27399
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	1,50533
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	0,93615
		Lv - Arenosa	A	Gram_Herb_Past	0,04966
		Lv - Arenosa	A	Gram_Herb_Past	0,00259
		Lv - Arenosa	A	Mata_Capoeira	0,52118
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	3,38242
		Lv - Arenosa	A	Gram_Herb_Past	0,05726
		Ae - Agilosa	D	Ocupadas	0,00226
		Ae - Agilosa	D	Gram_Herb_Past	0,16687
9	3,4321	Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	1,99579
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,53459
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	0,01510
		Lv - Arenosa	A	Expansao	0,66158
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	0,07417
		Ae - Agilosa	D	Gram_Herb_Past	0,15083
		Ae - Agilosa	D	Ocupadas	0,00000
10	1,5291	Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	0,54768
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,27510
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	0,32019
		Ae - Agilosa	D	Gram_Herb_Past	0,35784
		Ae - Agilosa	D	Ocupadas	0,02827
11	3,2608	Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,10056
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	1,29631
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	1,55248
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	0,15399
		Ae - Agilosa	D	Expansao	0,00295
		Ae - Agilosa	D	Gram_Herb_Past	0,15450
12	2,8677	Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	0,10255
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Gram_Herb_Past	1,10974
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	0,76232
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	0,14614
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mata_Capoeira	0,26705
		Lv - Arenosa	A	Ocupadas	0,11181
		Lv - Arenosa	A	Expansao	0,08109
		Ae - Agilosa	D	Gram_Herb_Past	0,27042
		Ae - Agilosa	D	Expansao	0,00949
		Ae - Agilosa	D	Mata_Capoeira	0,00683
		Ae - Agilosa	D	Ocupadas	0,00027

Sub-bacia	Área total da sub-bacia (km2)	Tipo de solo	Tipo de solo SCS	Uso e Cobertura	Área específica (km2)
13	1,8572	Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	0,87456
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mata_Capoeira	0,43441
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mangue	0,00432
		Sm - Arenosa	A	Expansao	0,02403
		Sm - Arenosa	A	Mata_Capoeira	0,02331
		Sm - Arenosa	A	Mangue	0,16835
		Ae - Agilosa	D	Expansao	0,08029
		Ae - Agilosa	D	Mata_Capoeira	0,09457
		Ae - Agilosa	D	Mangue	0,13220
14	0,3536	Pv - Agilo-Arenosa	C	Mata_Capoeira	0,13417
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	0,15505
		Sm - Arenosa	A	Mata_Capoeira	0,02324
		Sm - Arenosa	A	Mangue	0,04112
15	0,7576	Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	0,16303
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mata_Capoeira	0,28993
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mangue	0,02263
		Sm - Arenosa	A	Mata_Capoeira	0,00641
		Sm - Arenosa	A	Mangue	0,27564
16	3,6318	Pv - Agilo-Arenosa	C	Mata_Capoeira	0,00206
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Culturas	1,39464
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mata_Capoeira	1,21661
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Expansao	0,49262
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mangue	0,04691
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Ocupadas	0,11561
		Sm - Arenosa	A	Mata_Capoeira	0,04281
		Sm - Arenosa	A	Mangue	0,32052
17	0,1951	Am - Arenosa	A	Mangue	0,00014
		Sm - Arenosa	A	Mata_Capoeira	0,00019
		Sm - Arenosa	A	Mangue	0,03793
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mata_Capoeira	0,14604
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mangue	0,01077
18	0,4516	Am - Arenosa	A	Mata_Capoeira	0,01882
		Am - Arenosa	A	Mangue	0,25525
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mata_Capoeira	0,17662
		Pv - Agilo-Arenosa	C	Mangue	0,00088

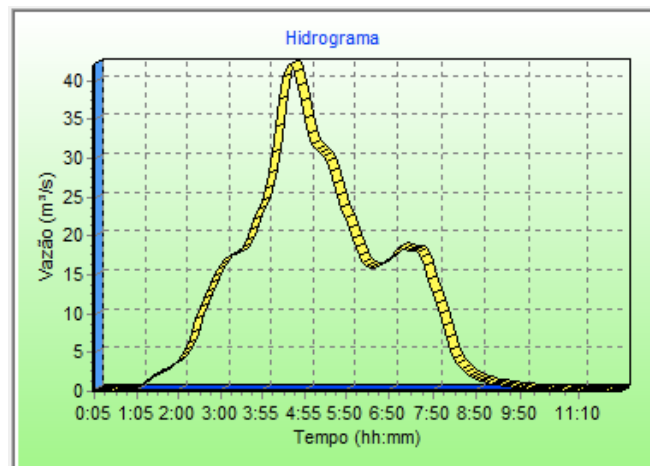
APÊNDICE B – HIDROGRAMAS GERADOS PELO ABC6 PARA CADA SIMULAÇÃO

Hidrograma para o Cenário I e tempo de retorno de 25 anos



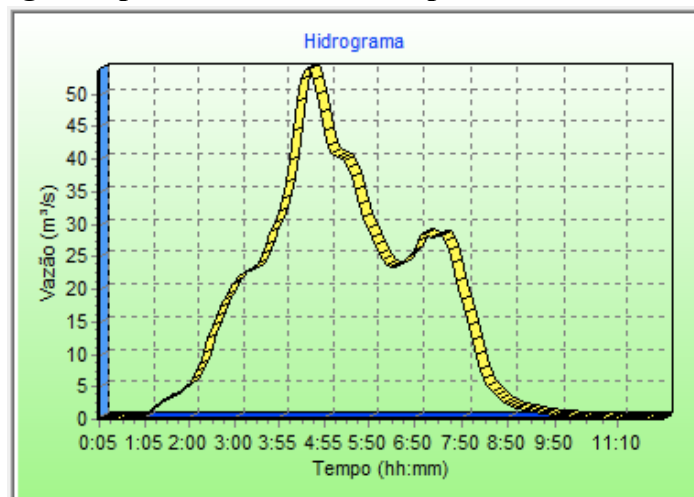
Fonte: A autora.

Hidrograma para o Cenário I e tempo de retorno de 50 anos



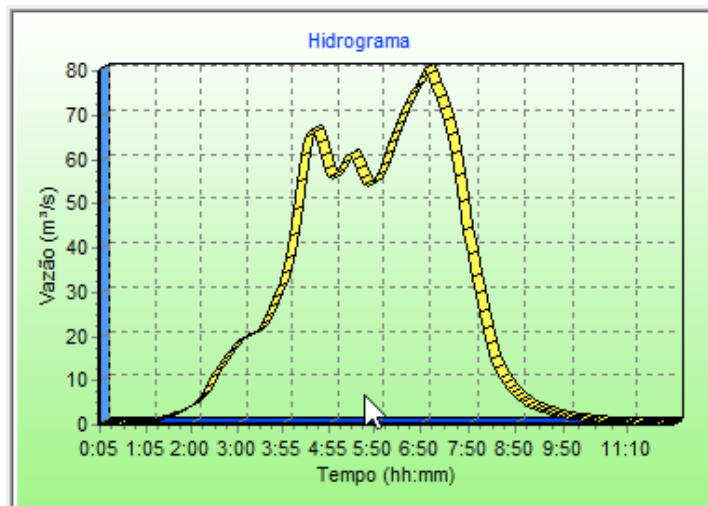
Fonte: A autora.

Hidrograma para o Cenário I e tempo de retorno de 100 anos



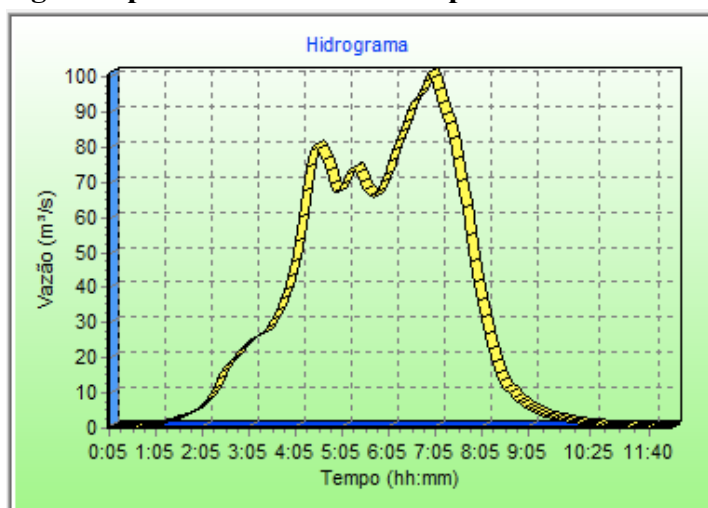
Fonte: A autora.

Hidrograma para o Cenário II e tempo de retorno de 25 anos



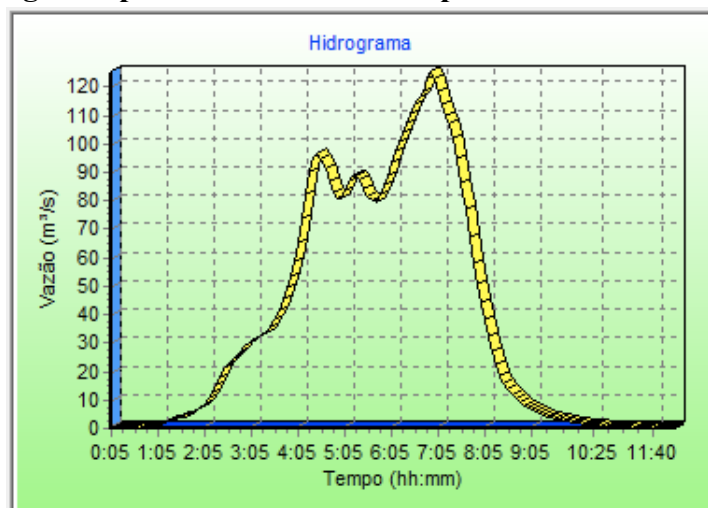
Fonte: A autora.

Hidrograma para o Cenário II e tempo de retorno de 50 anos



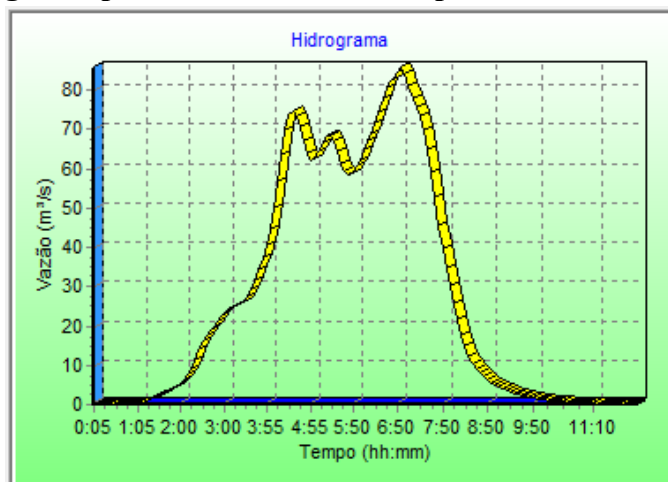
Fonte: A autora.

Hidrograma para o Cenário II e tempo de retorno de 100 anos



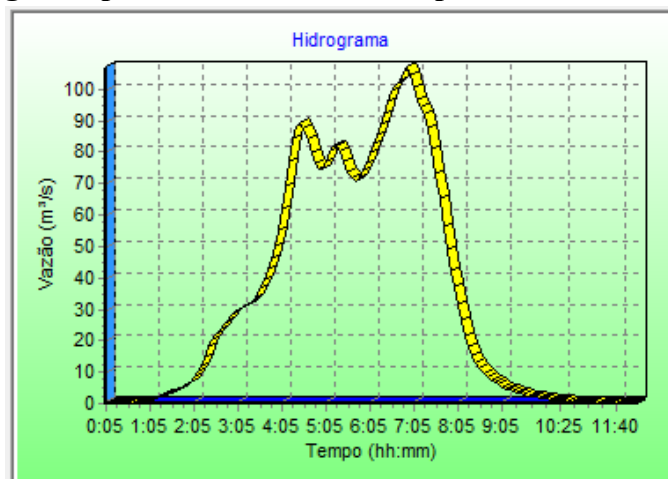
Fonte: A autora.

Hidrograma para o Cenário III e tempo de retorno de 25 anos



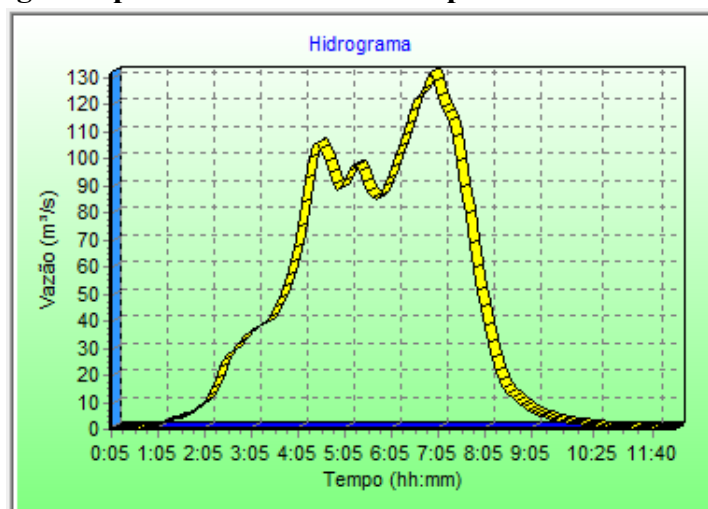
Fonte: A autora.

Hidrograma para o Cenário III e tempo de retorno de 50 anos

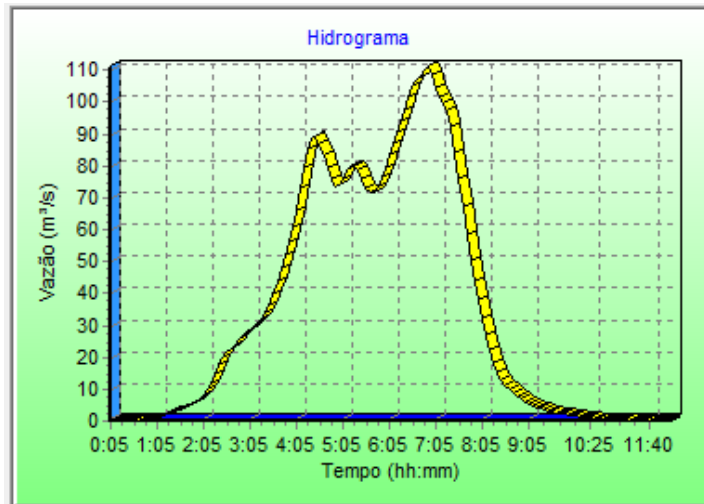


Fonte: A autora.

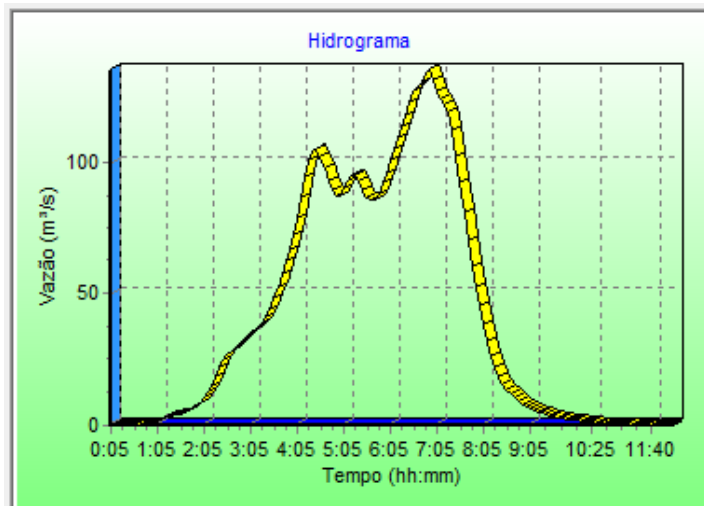
Hidrograma para o Cenário III e tempo de retorno de 100 anos



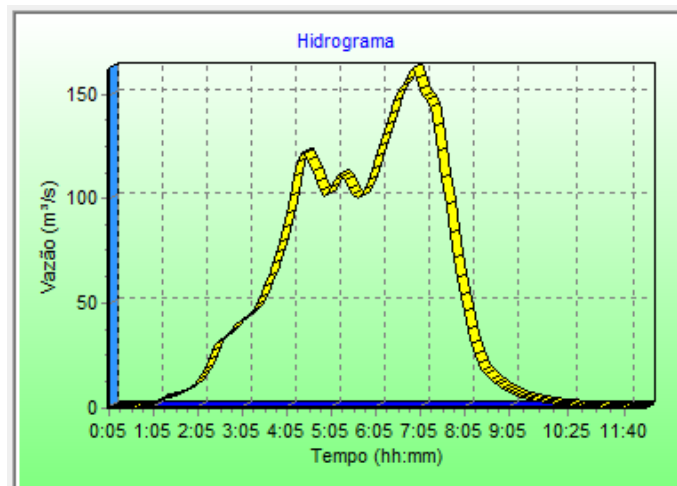
Fonte: A autora.

Hidrograma para o Cenário IV e tempo de retorno de 25 anos

Fonte: A autora.

Hidrograma para o Cenário IV e tempo de retorno de 50 anos

Fonte: A autora.

Hidrograma para o Cenário IV e tempo de retorno de 100 anos

Fonte: A autora.