

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVANÇO DA URBANIZAÇÃO EM VICENTE PIRES – DF,  
ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM ASSOCIADA A MEDIDAS  
COMPENSATÓRIAS UTILIZANDO O MODELO SWMM E ABC**

**ELIZA CLERICUZI BEZERRA DA SILVA  
ORIENTADOR: SÉRGIO KOIDE, PhD  
CO-ORIENTADORA: MARIA ELISA LEITE COSTA, MSc**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL 2**

**BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2016.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
MODELAGEM MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM BACIA  
URBANA NO DISTRITO FEDERAL**

**ELIZA CLERICUZI BEZERRA DA SILVA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DE  
GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.**

APROVADA POR:

---

SÉRGIO KOIDE, PhD(UnB) (ORIENTADOR)

---

MARIA ELISA LEITE COSTA, MSc (UnB) (CO-ORIENTADORA)

---

DIRCEU SILVEIRA REIS, DSc (UnB) (EXAMINADOR INTERNO)

---

JEFERSON DA COSTA, Me (UnB) (EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 09 DE DEZEMBRO DE 2016

**DATA: BRASÍLIA/DF, 09 DE DEZEMBRO DE 2016**

**FICHA CATALOGRÁFICA**

SILVA, ELIZA CLERICUZI BEZERRA

Avanço da Urbanização em Vicente Pires – DF, Análise da Rede de Drenagem associada a medidas Compensatórias Utilizando o Modelo SWMM e ABC, 2016, 83p (ENC/FT/UnB, Graduação, 2016). Dissertação de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Controle de Cheias
2. Modelo Precipitação-Vazão
3. Drenagem Sustentável
4. Urbanização

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

SILVA, E.C.B., 2016. Avanço da Urbanização em Vicente Pires – DF, Análise da Rede de Drenagem associada a medidas Compensatórias Utilizando o Modelo SWMM e ABC. Dissertação de Graduação, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 86 p.

**CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Eliza Clericuzi Bezerra da Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE GRADUAÇÃO: Avanço da Urbanização em Vicente Pires – DF, Análise da Rede de Drenagem associada a medidas Compensatórias Utilizando o Modelo SWMM e ABC.

GRAU/ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para produzir cópias desta dissertação de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos ou científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor (a).

---

Eliza Clericuzi Bezerra da Silva

AC 02 Lote 4 Residencial Novara Apt 107, Riacho Fundo 1

Distrito Federal, DF. CEP 71810-200. Brasil

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus, por nunca colocar um sonho em meu coração que não pudesse ser realizado.

Agradeço aos meus familiares, por me apoiarem e dedicarem todo amor, paciência e acreditarem no meu potencial de crescimento a todo instante. Em especial aos meus tios Ilka Regina e João Vieira, por sempre exigirem meu melhor. Por todo o suporte que deram na minha educação e por escolherem me amar como filha.

Agradeço aos meus primos Leticia Bezerra e Lucas Bezerra, por todo apoio e paciência que tiveram comigo ao longo do projeto, principalmente pelos momentos de distração, amizade e companheirismo.

Ao meu orientador Sérgio Koide, que aceitou me orientar num momento difícil, me instruiu de calma, paciência e determinação para que pudesse superar esse obstáculo. E pela confiança e disponibilidade em ensinar.

A minha co-orientadora, Maria Elisa Leite, pela disponibilidade, paciência e grande ajuda na revisão do projeto e com o modelo SWMM.

Aos meus avaliadores, Dirceu Reis e Jeferson da Costa, pelas orientações, conselhos e conhecimentos transmitidos, colaborando para a minha formação profissional. E principalmente, na sinceridade em apontar os erros, foi muito importante para meu crescimento profissional e pessoal.

Aos meus amigos, em especial, Alice Rocha, Ana Carolina, Ana Paula, Andry, Clarice, Dandara, Ikaro, Leonardo, Marina, Mariana Diniz e Tamiris, Thainy por estarem sempre perto, por todas as conversas e diversões, aconselhamentos, ajudas e companhia nos meus piores momentos.

Aos amigos Engenheiros Ambientais: Marco Túlio, Tiago Dantas, Célia e Thales Tiago, pela ajuda e conselhos no decorrer deste trabalho.

A todos os professores do Curso de Engenharia Ambiental, em especial à Professora Cristina, por toda dedicação. Aos professores Ricardo Minoti e Sergio Koide pela atenção e orientação no meu projeto de estágio. E à querida professora Yovanka, por trabalho de monitoria voluntária.

À UnB como um todo, por fornecer toda a experiência ao longo do curso

# **ANÁLISE DA DRENAGEM URBANA EM VICENTE PIRES – DF, MODELAGEM MATEMÁTICA COM SWMM.**

## **RESUMO**

A frequência com que vêm ocorrendo enchentes em algumas localidades do Distrito Federal, motivou o desenvolvimento deste estudo, no qual tem o objetivo de quantificar o escoamento superficial numa bacia urbana por meio da modelagem, e avaliar a evolução temporal, por meio de cenários de projeto, para o uso e ocupação do solo na bacia e prever os impactos que causam sobre o escoamento superficial.

Dentro desse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da urbanização sobre o escoamento superficial no Setor Habitacional Vicente Pires (SHVP), área do Distrito Federal que apresentou uma urbanização acelerada e sem um devido planejamento, além de analisar o sistema de drenagem urbana proposto pela Novacap para a região.

Para isso, foram realizadas simulações no software SWMM (Storm Water Management Model) por meio do PCSWMM e ABC6 (Análise de Bacias Complexas) para diferentes condições de urbanização e drenagem urbana.

As simulações realizadas confirmaram a tendência esperada para os hidrogramas da região de estudo. Dessa forma, com os resultados obtidos, foi possível observar a influência do desenvolvimento da malha urbana nas condições de escoamento superficial, comparar as alterações produzidas no hidrograma da bacia devido à introdução ou não de medidas compensatórias à rede de drenagem pluvial. Além disso, foi possível comparar os resultados obtidos com os modelos ABC e SWMM aplicados na mesma área.

## **PALAVRAS CHAVE**

Controle de Cheia; Modelo precipitação-vazão; Drenagem sustentável; Urbanização.

## **ABSTRACT**

The frequency of floods that have been occurring in some localities of the Federal District has motivated the development of this study, in which the objective is to quantify the surface runoff in an urban basin through modeling and to evaluate the temporal evolution, through project scenarios, for the use and occupation of the soil in the basin and to predict the impacts that they cause on the surface runoff.

In this context, this study had the objective of evaluating the effects of urbanization on the surface drainage in the Vicente Pires Housing Sector (SHVP), an area of the Federal District that presented an accelerated urbanization without proper planning, besides analyzing the drainage system Proposed by Novacap for the region.

For this purpose, the SWMM (Storm Water Management Model) software was used through PCSWMM and ABC6 (Complex Basin Analysis) for different urbanization and urban drainage conditions.

The simulations carried out confirmed the expected trend for hydrographs of the study region. In this way, with the results obtained, it was possible to observe the influence of the development of the urban mesh in the runoff conditions, to compare the changes produced in the hydrograph of the basin due to the introduction or not of compensatory measures to the drainage network. In addition, it was possible to evaluate the efficiency of two different models applied in urban areas.

## **KEYWORDS**

Flood Control; Precipitation-flow model; Sustainable drainage; Urbanization.

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2. DIRETRIZES BÁSICAS DE CONTROLE E REGULAMENTAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2.1. Legislação Federal.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2.2. Legislação Distrital.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3. CARACTERÍSTICAS DAS INUNDAÇÕES NO BRASIL .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4. MEDIDAS DE CONTROLE DE CHEIAS .....</b>	<b>16</b>
<b>3.5. EXPERIÊNCIAS NO USO DE MEDIDAS COMPENSATÓRIAS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.6. QUANTIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....</b>	<b>25</b>
<b>3.7. SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....</b>	<b>31</b>
<b>3.7.1. Modelo ABC.....</b>	<b>31</b>
<b>3.7.2. Modelo SWMM .....</b>	<b>32</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1. ESTRUTURA GERAL DO PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>37</b>
<b>4.3. ANÁLISE DOS CENÁRIOS .....</b>	<b>50</b>
<b>4.4. USO DO SOLO .....</b>	<b>50</b>
<b>4.5. OPÇÕES DE SIMULAÇÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>4.5.1. Precipitações de Projeto.....</b>	<b>53</b>
<b>4.5.2. Definição do CN.....</b>	<b>55</b>
<b>4.5.3. Dimensionamento dos Reservatórios pela Resolução N°009/2011.....</b>	<b>57</b>
<b>4.5.4. Definição dos Cenários.....</b>	<b>59</b>
<b>5. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>5.1. ABC .....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.1. Chuva de Projeto PDDU.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.2. Chuva de Projeto Novacap .....</b>	<b>61</b>

<b>5.2. SWMM.....</b>	<b>64</b>
<b>5.2.1. Chuva de Projeto PDDU.....</b>	<b>65</b>
<b>5.2.2. Chuva de Projeto Novacap.....</b>	<b>66</b>
<b>5.2.3. Modelo ABC x Modelo SWMM.....</b>	<b>67</b>
<b>5.2.4. Cenário Urbanizado com Rede de Drenagem SWMM.....</b>	<b>69</b>
<b>5.2.5. Cenário Urbanizado com Rede de Drenagem e Bacias Propostas pela     Novacap.....</b>	<b>72</b>
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>74</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Balanço Hídrico e Distribuição do Uso do Solo. (IAP, 2002).....	4
Figura 3.2 Comparação entre os Hidrogramas de uma Bacia Urbanizada e uma Bacia Natural (SMDU, 2012 Adaptado) .....	5
Figura 3.3 Estacionamento de quadra na Asa Norte – DF. ....	16
Figura 3.4 Rua 10 B do Setor Vicente Pires durante evento crítico.....	17
Figura 3.5 Comparação entre os Tipos de Concepção de Estruturas de Drenagem (CHRISTOFIDIS, 2010 Adaptado).....	18
Figura 3.6 Características do Hidrograma (IPH- UFRGS, 2009).....	26
Figura 4.1 Estrutura Geral do Desenvolvimento do Projeto .....	36
Figura 4.2 Localização da Região Administrativa Vicente Pires (Geológica, 2008).....	37
Figura 4.3 Setor Habitacional Vicente Pires. ....	38
Figura 4.4 Fotografia área do SHVP em 1964 .....	40
Figura 4.5 Fotografia área do SHVP em 1991 .....	40
Figura 4.6 Fotografia área do SHVP em 2013 .....	40
Figura 4.7 Mapa das Unidades Hidrográficas (Fonte: Base de dados-Adasa) .....	41
Figura 4.8 - Mapa de Localização das Estações de Monitoramento Hidrológico.....	43
Figura 4.9 Mapa de Declividades das Unidades Hidrográficas (Fonte: CODEPLAN) .....	44
Figura 4.10 Mapa de Pedologia para Unidades Hidrográficas (Fonte: Base de dados- ZEE) .....	45
Figura 4.11 Mapa de Grupos Hidrológicos ( Fonte: Base de Dados ZEE).....	47
Figura 4.12 Via do SHVP logo após evento chuvoso ( Topocart, 2010).....	48
Figura 4.13 Sistema de Drenagem de águas pluviais proposto para o SHVP.....	50
Figura 4.14 Classificação do Uso do Solo no SHVP em 1964 .....	52
Figura 4.15 Classificação do Uso do Solo no SHVP em 1991 .....	52
Figura 4.16 Classificação do Uso do Solo do SHVP em 2013 .....	52
Figura 4.17 Hietograma de Projeto para uma chuva com TR de 10 anos e duração de 24 horas, segundo os critérios do PDDU.....	54
Figura 4.18 Mapa de CN adotado no SHVP em 1964.....	56
Figura 4.19 Mapa de CN adotado no SHVP em 1991.....	56
Figura 4.20 Mapa de CN adotado no SHVP em 2013.....	56
Figura 4.21 - Valores de área impermeável, volume e tempo de duração para o volume...	57
Figura 4.22 - Dimensionamento do Reservatório S24 .....	58
Figura 4.23 Dimensionamento do Reservatório S27.....	58

Figura 5.1 Discretização das unidades hidrográficas no modelo ABC.....	60
Figura 5.2 Hidrogramas do ABC6 para chuva de projeto do PDDU.....	61
Figura 5.3 Hidrogramas do ABC6 para chuva de projeto da NOVACAP.....	62
Figura 5.4 - Resumo dos Hidrogramas do ABC 6.....	62
Figura 5.5 Drenagem correspondente no SHVP.....	64
Figura 5.6 Drenagem correspondente aos cenários URd-2013 e URdMc-2013.....	64
Figura 5.7 Hidrograma do PCSWMM para a chuva de projeto do PDDU no exultório.....	65
Figura 5.8 Hidrograma do PCSWMM para a chuva de projeto da NOVACAP.....	66
Figura 5.9 - Resumo dos hidrogramas de projeto no ABC e PCSWMM para a chuva do PDDU.....	68
Figura 5.10 Hidrograma do PCSWMM para simulação do Rede de Drenagem com chuva de projeto do PDDU.....	69
Figura 5.11 Situação da Drenagem para cenário U-2013 para chuva de projeto do PDDU.....	70
Figura 5.12 Perfil do Conduto 1762.....	70
Figura 5.13 Perfil da Junção 1865.....	71
Figura 5.14 Localização das Bacias propostas pela Novacap para o SHVP.....	72
Figura 5.15 Hidrograma do PCSWMM para a simulação do cenário URd-2013 e URdMc-2013 para a chuva de projeto do PDDU.....	73

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 Impactos do Escoamento Pluvial.....	9
Tabela 3.2 Critérios propostos pelo PDDU para avaliação do controle da drenagem urbana adotados no Distrito Federal.....	10
Tabela 3.3 Condições para Implementação de Estruturas de Controle.....	11
Tabela 3.4 Restrições das estruturas de controle por capacidade de infiltração no solo.....	11
Tabela 3.5 Classificação dos Solos do Distrito Federal por Taxa de Infiltração.....	12
Tabela 3.6 Seleção de Medidas Não-Estruturais.....	19
Tabela 3.7 Seleção de Medidas Estruturais.....	21
Tabela 3.8 Classificação de Modelos Matemáticos.....	26
Tabela 4.1 Estações de monitoramento próximas ao Setor Habitacional Vicente Pires.....	42
Tabela 4.2 Áreas de Influência dos Córregos existentes no local em estudo.....	42
Tabela 4.3 Áreas e respectivas porcentagens do tipo de solo no SHVP.....	46
Tabela 4.4 Classificação dos Grupos Hidrológicos por tipo de solo.....	46
Tabela 4.5 Uso e Ocupação do Solo ( Adaptado de Ferrigo, 2014).....	51
Tabela 4.6 Classificação do CN adotado.....	55
Tabela 4.7 Classificação do CN médio adotado no ABC6.....	55
Tabela 5.1 Dimensionamento das Bacias propostas pela Novacap no SHVP.....	72

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES.

ABC	-	Análise de Bacias Complexas
ADASA	-	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
ANA	-	Agência Nacional de Águas
APA	-	Área de Proteção Ambiental
APP	-	Área de Proteção Permanente
CODEPLAN	-	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
CN	-	<i>Curve Number</i>
EPTG	-	Estrada Parque Taguatinga
HEC-HMS	-	<i>Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System</i>
HU	-	Hidrograma Unitário
IDF	-	Intensidade, Duração e Frequência.
LABSID	-	Laboratório de Sistema de Suporte à Decisões
NOVACAP	-	Companhia Urbanizadora da Nova Capital
PDDU	-	Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal
PDOT	-	Plano Diretor de Ordenamento Territorial
PDU	-	Plano Diretor Urbano
SCS	-	<i>Soil Conservation Service.</i>
SHDEU	-	Secretaria de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano
SHVP	-	Setor Habitacional Vicente Pires
SMAP	-	<i>Soil Moisture Accounting Procedure</i>
SWMM	-	<i>Storm Water Management Model</i>
WRP	-	<i>Water Resources Publications.</i>
IAP	-	Instituto Água Paraná

## INTRODUÇÃO

A urbanização é um fenômeno caracterizado, principalmente, pelo aumento da concentração na densidade populacional, porém, não é o único processo envolvido na expansão do território de uma cidade (CANHOLI, 2005).

No Brasil, ao longo das últimas décadas, ocorreu significativo crescimento da população urbana. Este processo aconteceu após a década de 60, proporcionando o desenvolvimento de cidades praticamente sem infraestrutura e provocando impactos ambientais negativos que afetam todo o sistema urbano, implicando na necessidade de execução de sistemas de drenagem de águas pluviais, rede de coleta de esgoto e de água, manejo de resíduos urbanos, transporte, circulação, etc. E como consequência, ocorre o aumento da demanda por monitoramento e gerenciamento de situações críticas, tais como: enchentes, estiagens e a poluição (BAPTISTA *et al.*, 2011).

Um sistema de drenagem urbana é um conjunto ordenado de estruturas naturais e de engenharia que permitem escoar as águas superficiais numa determinada área ou bacia hidrográfica. Esse sistema está diretamente relacionado com o aumento das áreas impermeabilizadas, que produzem maiores volumes escoado superficialmente, e por consequência, apresenta aumento nas vazões de pico. Além disso, as alterações causadas pela impermeabilização do solo provocam aumento na frequência e magnitude das enchentes, e também, ocasionam a degradação da qualidade dos corpos hídricos receptores.

No sistema clássico de drenagem urbana, as práticas realizadas para o controle das inundações nas cidades tem sido as soluções localizadas. Essas soluções baseiam-se na rápida evacuação das águas dos locais de geração do escoamento, e são caracterizadas pela construção de redes subterrâneas de drenagem, canalizações e retificações de corpos d'água, construção de galerias, entre outras. Entretanto, esse tipo de solução apresenta falhas à medida que ocorre a intensificação da urbanização, pois transferem os problemas de inundação para jusante, negligenciam os aspectos de qualidade da água e exigem custos cada vez maiores à medida que o sistema de drenagem se torna mais complexo (CHRISTOFIDIS, 2010).

Sabe-se que grande parte do problema de águas pluviais nas cidades, decorre do descontrole da “produção” de escoamento pluvial. E, por isso, existe o esforço em adotar soluções compensatórias ou sustentáveis, que visem o reestabelecimento do ciclo hidrológico urbano. Essas técnicas, também denominadas alternativas, tem por objetivo favorecer a retenção e infiltração das águas pluviais, na tentativa de reproduzir as condições naturais de bacia hidrográfica (CHRISTOFIDIS, 2010).

Neste sentido é possível compreender que a urbanização desequilibra o fluxo natural das águas, seja alterando os volumes dos diversos processos hidrológicos, ou interpondo-se ao caminho natural delas. O ideal é fazer com que o ciclo hidrológico no meio urbano tenha volumes d’água nos diversos compartimentos (escoamento superficial, infiltração no solo e evapotranspiração) em níveis equivalentes à situação natural (BAPTISTA *et al.*, 2011).

Com a intenção de prever o comportamento da bacia hidrográfica, houve a necessidade em utilizar ferramentas, que representassem os processos hidrológicos-hidráulicos. A modelagem hidrológica-hidráulica dos processos de escoamento superficial em bacias hidrográficas tem sido cada vez mais utilizada, dada à possibilidade de poder caracterizar, os impactos que as mudanças climáticas e as ações antrópicas têm exercido sobre o meio ambiente. A utilização desses modelos em pequenas bacias é imprescindível para a quantificação desses fenômenos físicos, podendo os seus resultados ser extrapolados para áreas não monitoradas e hidrológicamente semelhantes. (SANTOS, 2009)

Neste contexto, insere-se o presente trabalho, onde se deseja quantificar o escoamento superficial em bacias urbanas com a realização de cenários de expansão do território desde as condições naturais até a atual ocupação para o Setor Habitacional Vicente Pires.

O trabalho está estruturado em seis capítulos, incluindo essa introdução. O capítulo dois cita os objetivos gerais e específicos. O capítulo três apresenta uma revisão bibliográfica acerca da drenagem urbana no DF e, mais especificamente, em Vicente Pires, além de abordar temas como medidas de controle de inundações, técnicas compensatórias de drenagem urbana e o modelo ABC e SWMM. O capítulo quatro trata da metodologia a ser utilizada, com caracterização da área de estudo e apresentação das etapas de modelagem. O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos na modelagem e as análises do estudo; o capítulo 6 traz as conclusões do trabalho.

## **OBJETIVOS**

O objetivo principal deste trabalho é avaliar, por meio de simulação matemática o impacto no escoamento superficial numa bacia urbana devido a alterações no uso e ocupação do solo. Utilizou-se um modelo hidrológico a fim de estudar a eficiência hidráulica de medidas compensatórias para o controle de inundações.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Comparar dois modelos matemáticos do tipo chuva-vazão para a quantificação do escoamento superficial no estudo de caso, por meio de hidrogramas de cheia numa dada chuva de projeto;
- Elaborar cenários que representem a evolução temporal observada referente ao uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, e avaliar seus impactos sobre o escoamento superficial;
- Verificar o impacto de bacias de retenção no controle do escoamento superficial, tendo como referência os cenários considerados.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ter o conhecimento da dinâmica do processo de urbanização e seus efeitos é um ponto fundamental para a execução de um estudo que aponte soluções alternativas para o controle de inundações em áreas urbanas. Serão apresentados os impactos gerados por ações antrópicas no ambiente natural e seus efeitos sobre o escoamento superficial.

### IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

O processo de urbanização tem provocado impactos significativos sobre a população e ao meio ambiente. Na maioria das vezes, o desenvolvimento da cidade ocorre sem o planejamento integrado referente aos aspectos de transportes, saneamento e habitação, e isso provoca um crescimento de uma cidade sem infraestrutura básica e de maneira desordenada, alterando a cobertura vegetal da bacia hidrográfica e modificando negativamente a resposta do comportamento hidrológico natural, como mostra a Figura 0.1.



Figura 0.1 Balanço Hídrico e Distribuição do Uso do Solo. (IAP, 2002)

Os principais problemas causados ao comportamento hidrológico em uma bacia hidrográfica, associados à urbanização, são o aumento da vazão pico, aumento do volume escoado e a antecipação no tempo da vazão máxima, e as principais consequências desses fatores são as inundações, a Figura 0.2 exemplifica o comportamento dos hidrogramas (SMDU, 2012).





Figura 0.2 Comparação entre os Hidrogramas de uma Bacia Urbanizada e uma Bacia Natural (SMDU, 2012 Adaptado)

Para a análise da figura 3.2, deve-se entender que devido à impermeabilização do solo, por meio de telhados, ruas e calçadas, a água que naturalmente infiltrava, passa a escoar por condutos contribuindo para o aumento da parcela que escoar superficialmente. E quando esse comportamento ocorre, há a aceleração do escoamento nos condutos, canais ou vias, contribuindo no aumento da quantidade de água que entra no sistema de drenagem em um curto intervalo de tempo, e isso explica o porquê o pico da vazão máxima é maior em ambientes urbanizados. E como não há armazenamento, ou seja, a água não irá naturalmente infiltrar, o decaimento do hidrograma também ocorre de forma rápida (SMDU, 2012).

Sabe-se que essa vazão de pico aumenta a frequência de inundações em comparação com as condições naturais, quando a superfície era permeável e o escoamento se dava de forma natural. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções (TUCCI, 2003).

Segundo Tucci (2005), à medida que a cidade expande seu território, geralmente, ocorre:

- Incremento das vazões máximas, devido à impermeabilização da superfície;
- Impermeabilização do solo, por isso, ocorre à redução da infiltração e como consequência, diminui a recarga do lençol freático os aquíferos deixam de ser abastecidos, reduzindo-se, portanto, a vazão dos pequenos rios urbanos;

- Aumento significativo na erosão do solo e produção de sedimentos devido à desproteção das encostas e à geração de resíduos sólidos;
- Com o aumento do escoamento superficial ocorre à lavagem das ruas e transporte de material sólido, prejudicando a qualidade da água superficial;

A dinâmica de urbanização tem também consequências não hidrológicas que interferem, significativamente, nas questões de drenagem urbana. Estes impactos são: a proliferação de loteamentos executados sem condições adequadas; ocupação de áreas impróprias (várzeas de inundação); expansão de favelas e invasões; e a ocupação extensa e adensada, que dificulta a construção de infraestrutura básica e elimina áreas de armazenamento para as águas pluviais (SMDU, 2012).

A realidade adotada no Brasil para o controle de inundações nos centros urbanos, em sua grande maioria, ainda está baseada nos princípios higienistas, ou seja, é caracterizado pela rápida evacuação das águas pluviais, por meio de condutos dos locais caracterizados como “geradores” das inundações e alagamentos (CANHOLI, 2005). E também percebe-se que não existe um planejamento eficiente dos sistemas de saneamento ambiental (água, esgoto, drenagem e resíduos sólidos) associados ao plano de desenvolvimento urbano e de expansão da cidade.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pelo IBGE no ano de 2013, dos 5.564 municípios brasileiros que afirmavam ter que um plano de manejo de águas pluviais, apenas 12% possuíam dispositivos coletivos de retenção e amortecimento de vazão de águas pluviais urbanas. Nessa pesquisa também foi estimada áreas com inundações e alagamentos em área urbana, em todo o Brasil o resultado foi 40,87%, segundo os dados do IBGE (2008). Constatando-se a ineficiência da gestão, planejamento e do manejo de águas pluviais em grande parte do Brasil.

## **DIRETRIZES BÁSICAS DE CONTROLE E REGULAMENTAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS**

As obras de drenagem urbana e outras medidas de controle são instrumentos que ajudam à gestão das águas urbanas. Elas, entretanto, têm premissas que devem ser implementadas e

dependem fundamentalmente da legislação. A seguir, serão expostas as premissas técnicas no âmbito federal e distrital, que envolvem o manejo de águas pluviais.

### **Legislação Federal**

Em nível federal as legislações que abordam sobre a drenagem urbana e a ocorrência de inundações ribeirinhas estão relacionadas com os seguintes aspectos: recursos hídricos, uso e ocupação do solo.

Com relação às premissas referentes aos recursos hídricos, a Constituição Federal de 1988 aborda o domínio dos rios e lagos, estabelece princípios básicos na legislação de recursos hídricos por meio da gestão de bacias hidrográficas, e admite que o domínio possa ser estadual ou federal.

Porém, na Lei Maior não existem artigos que legislam sobre a outorga relativa ao despejo de efluentes de drenagem e nem restringe os resíduos urbanos lançados nos rios, apenas estabelece normas e padrões de qualidade da água dos corpos receptores, por meio de classes de qualidade e seus respectivos usos.

Em síntese, tendo como referência as questões relacionadas aos recursos hídricos, a Lei 9433/97, aborda que o escoamento pluvial resultante das cidades deve ser objeto de controle, a ser previsto nos Planos de Bacia. Contudo, estes procedimentos ainda não estão sendo cobrados por muitos Estados, o que dificulta no monitoramento e manejo das águas pluviais (BRASIL, 1997).

Com relação ao uso e ocupação do solo, a Constituição Federal, no artigo 30, admite que esteja a cargo do município ter o controle sobre a expansão do território. Contudo, a União e os estados podem definir diretrizes para a repartição do uso do solo, quando se tem em vista à proteção ambiental, o controle da poluição, da saúde e segurança da população. Tendo como base esse artigo, entende-se que a drenagem urbana, que envolve o meio ambiente e o controle da poluição é competência das três esferas governamentais, Município, Estado e Federação.

## **Legislação Distrital**

Em cada município existe uma legislação específica definida pelo Plano Diretor Urbano, que tem por objetivo definir as principais diretrizes daquela cidade, geralmente abordam o uso do solo e as legislações ambientais. No Distrito Federal, existe o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU), que ainda não foi aprovado, e suas principais diretrizes são apresentadas a seguir.

No Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal – PDDU é destacada a importância em trabalhar com modelos de previsão hidráulica e hidrológica nos estudos ambientais, e também, a necessidade de entender a dinâmica de funcionamento dos processos que controlam a água, ou seja, o balanço hídrico e seus principais impactos e mudanças com relação ao uso do solo.

Na Política de Drenagem Urbana do Distrito Federal, consta os critérios de projeto, alternativas de controle para a rede de drenagem pluvial (na fonte, microdrenagem e macrodrenagem) e suas respectivas técnicas de dimensionamento, implementação, operação e manutenção, e por fim, apresenta estratégias para a valorização dos rios urbanos.

Neste item, será abordado apenas a Política de Drenagem, um breve resumo dos Critérios de Projeto e serão apresentadas as principais alternativas de controle utilizadas para o controle da drenagem no Distrito Federal.

De maneira sucinta, os objetivos da gestão da drenagem de águas pluviais no Distrito Federal é associar a urbanização e toda sua infraestrutura envolvida com o escoamento pluvial, de maneira a evitar impactos ao meio ambiente e sobre a sociedade, e aliado ao planejamento de longo prazo promover um ambiente sustentável (PDDU-DF, 2009).

De acordo com o PDDU-DF (2009), as principais metas da drenagem urbana Distrital são

- *Eliminar os alagamentos na cidade para o risco e cenário de ocupação de projeto;*
- *Minimizar a poluição do escoamento pluvial, garantindo à sustentabilidade ambiental dos rios e reservatórios a jusante das áreas urbanizadas, como o*

*lago Paranoá e outros reservatórios urbanos que fazem parte do sistema de abastecimento de água;*

- *Eliminar qualquer tipo de formação de ravinas, erosão e área degradada, produzidos pelo aumento da velocidade do escoamento pluvial, como resultado da urbanização.*

*E para isso, o PDDU aponta as seguintes estratégias de ação:*

- *Evitar os impactos de novos empreendimentos na cidade sobre a drenagem urbana, com base em medidas não-estruturais: melhoria do gerenciamento e a aplicação da legislação de controle dos impactos na drenagem urbana;*
- *Atingir as metas do controle da drenagem urbana com relação ao impacto existente na cidade com base em medidas estruturais em cada bacia urbana;*

Neste sentido, a regulamentação é estabelecida para controlar o impacto dos novos empreendimentos e reformas, que venham solicitadas ao governo do Distrito Federal. Estas normas se baseiam no controle de vazão máxima, qualidade da água e erosão (PDDU, 2009).

A Tabela 0.1 mostra os principais efeitos devido à urbanização e seus respectivos impactos na drenagem.

Tabela 0.1 Impactos do Escoamento Pluvial.

<b>Efeito da Elevada Urbanização</b>	<b>Impactos da Elevada Urbanização</b>
Recarga do Aquífero	Diminuição do lençol freático e da vazão de base.
Qualidade da Água	Aumento da carga de poluentes na água pela lavagem das superfícies urbanizadas.
Erosão e Assoreamento	Erosão do leito e das margens devido ao aumento da vazão e da velocidade

Fonte: Adaptado de PDDU-DF (2009)

A Tabela 0.2 apresenta os principais impactos devido à crescente urbanização, mostra os respectivos critérios e medidas adotadas para a regulamentação e controle da drenagem pluvial do Distrito Federal.

Tabela 0.2 Critérios propostos pelo PDDU para avaliação do controle da drenagem urbana adotados no Distrito Federal.

<b>Impactos da Elevada Urbanização</b>	<b>Critério</b>	<b>Medidas</b>
Aumento da Vazão Máxima	A vazão máxima específica para novas áreas impermeáveis deve ser menor que 24 (L/s x há)	Para o controle de área impermeável inferior a 200 ha, o volume deve ser maior ou igual a $V = 4,705 A \cdot A_i$ .
Aumento de Velocidade de Escoamento	A velocidade de drenagem à jusante, após novo empreendimento, deve ser menor ou igual ao que existia antes do empreendimento.	Verificação da velocidade antes e depois da liberação das licenças prévia e de instalação do empreendimento.
Qualidade da Água	A carga de poluentes da área urbanizada deve ser reduzida em 80% após a urbanização.	Deve-se armazenar o escoamento superficial correspondente a 90% da chuva.

Fonte: Adaptado de PDDU (2009)

Onde,

A – área da bacia hidrográfica, em hectares;

$A_i$  – área impermeável da bacia hidrográfica, em %.

V – volume, em  $m^3$ .

O PDDU (2009) apresenta relação com alguns dispositivos de controle de cheias. Esses são basicamente de três tipos:

- Dispositivos de Armazenamento;
- Dispositivos de Infiltração;

Os dispositivos de armazenamento, normalmente têm por objetivo principal o retardo do escoamento pluvial, e amortecer a vazão de pico. Reservatórios residenciais em lotes, bacias de retenção e detenção nos loteamentos ou na macrodrenagem são exemplos típicos.

Os dispositivos de infiltração, diferentemente dos de armazenamento, retiram água do sistema pluvial, promovendo sua absorção pelo solo para redução do escoamento pluvial. Pavimentos porosos, trincheiras de infiltração, faixas e valas gramadas são alguns exemplos típicos.

Além desses, o PDDU apresenta referência a reservatórios de qualidade, que são responsáveis por reter o volume de água originado pelo escoamento superficial com o objetivo de reduzir a carga poluente da água urbana.

A Tabela 0.3 abaixo, mostra algumas características que são recomendadas para a escolha das medidas de controle.

Tabela 0.3 Condições para Implementação de Estruturas de Controle

<b>Medida de Controle</b>	<b>Declividade Alta</b>	<b>Baixa Disponibilidade de Espaço</b>
<b>Pavimento Poroso</b>	N	V
<b>Trincheira de Infiltração</b>	N	A
<b>Vala de Infiltração</b>	N	A
<b>Poço de Infiltração</b>	V	A
<b>Micro reservatório</b>	A	A
<b>Telhado reservatório</b>	A	A
<b>Bacia de Detenção</b>	V	N
<b>Bacia de Retenção</b>	A	N
<b>Bacia Subterrânea</b>	A	V
<b>Condutos de Armazenamento</b>	A	A
<b>Faixa Gramada</b>	V	A

A: Adaptado; V: Viável; N: pouco adaptado ou mesmo impossível.

Fonte: Adaptado de Baptista *et al.* (2011)

Na Tabela 0.4 foram relacionadas algumas estruturas de controle e sua restrição por capacidade de infiltração do solo.

Tabela 0.4 Restrições das estruturas de controle por capacidade de infiltração no solo

<b>Capacidade de infiltração (mm/h)</b>										
<b>Medida de Controle</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>	<b>4,0</b>	<b>7,0</b>	<b>13</b>	<b>25</b>	<b>60</b>	<b>200</b>
<b>Pavimento Poroso</b>	N	N	N	N	N	V	A	A	A	A
<b>Trincheira de Infiltração</b>	N	N	N	N	N	V	A	A	A	A

<b>Vala de Infiltração</b>	N	N	N	N	N	V	A	A	A	A
<b>Poço de Infiltração</b>	N	N	N	N	V	V	A	A	A	A
<b>Micro reservatório</b>	N	N	N	N	N	V	A	A	A	A
<b>Bacia de Detenção</b>	N	V	V	A	A	A	A	A	A	A
<b>Bacia de Retenção</b>	A	A	A	A	A	A	A	V	V	N
<b>Faixa Gramada</b>	N	V	V	A	A	A	A	A	A	A

A: Adaptado; V: Viável; N: Pouco adaptado ou mesmo impossível.

Fonte: Adaptado de Baptista *et al.* (2011) e Silveira (2002)

Com auxílio da Tabela 0.4 e dos Estudos de Neumann (2012) é possível realizar uma análise das classes de solos existentes no Distrito Federal com a capacidade de infiltração.

A Tabela 0.5 mostra as principais classes de solos mapeadas para o Distrito Federal.

Tabela 0.5 Classificação dos Solos do Distrito Federal por Taxa de Infiltração

<b>Classes de Solos</b>	<b>Capacidade de Infiltração (mm/h)</b>
Latossolo Vermelho	Alta
Latossolo Vermelho-Amarelo	Alta
Cambissolo Háplico	Baixa
Plintossolo	Muito Baixa
Gleissolo	Muito Baixa
Neossolo Quartzarênico	Média
Argilosolo Vermelho	Média
Nitossolo Vermelho	Média
Chernossolo Argilínico	Muito Baixa
Neossolo Fluvico	Baixa

Fonte: Adaptado de Neumann (2012)

Com auxílio da Tabela 0.4 é possível verificar que a capacidade de infiltração do solo condiciona bastante o uso das medidas compensatórias, pois é um parâmetro que influencia o desempenho dos dispositivos de infiltração.

Silveira (2002) classifica como baixa capacidade de infiltração, valores menores que 7 mm/h, dificultando a utilização dos dispositivos de infiltração.

O Distrito Federal atribui a responsabilidade pela prestação do serviço de manejo de águas pluviais, avaliação, fiscalização e manutenção dos projetos de drenagem urbana à Companhia Urbanizadora da Nova Capital – NOVACAP, mediante contrato de concessão



com a ADASA, de acordo com a Lei nº 4285/2008, por trinta anos. A NOVACAP estabeleceu que a gestão da drenagem urbana no Distrito Federal deve ter as seguintes etapas:

- Avaliação de Projetos;
- Fiscalização da implantação dos Projetos;
- Operação e Manutenção;
- Revisão de Normas e do Plano Diretor de Drenagem Urbana.

E por fim, o Distrito Federal têm mais uma premissa para projetos de drenagem, que consta na Resolução Nº 9/2011 da ADASA, que será apresentada a seguir.

#### Resolução Nº 9/2011 - ADASA

Nesta Resolução constam os procedimentos gerais para o requerimento e obtenção de outorga de lançamento de Águas Pluviais. Os pontos que seguem, são as principais diretrizes expostas no Capítulo I desta resolução.

Todo lançamento de águas pluviais que seja efetuado diretamente em corpos hídricos superficiais, e que tenha sua vazão proveniente de empreendimento que altere as condições naturais de permeabilidade do solo, estará sujeito à outorga prévia e à outorga de lançamento de águas pluviais. Que é estabelecida levando-se em consideração os seguintes aspectos:

- I – A vazão máxima gerada pelo empreendimento, considerando-se as chuvas com tempo de recorrência de 10 (dez) anos;
- II – A área máxima a ser impermeabilizada pelo empreendimento.

A outorga de lançamento de águas pluviais em corpo hídrico superficial limitar-se à vazão específica de até 24,4 L/(s.ha). Para que obtenha a outorga é necessário cumprir alguns procedimentos:

- I – Caso a área de contribuição do empreendimento seja maior que 200 hectares, o usuário deverá apresentar à ADASA medidas baseadas em estudo hidrológico específico que garantam a manutenção de condições do corpo hídrico equivalentes àquelas anteriores à ocupação do solo.

II - A vazão máxima gerada pelo empreendimento será dimensionada levando-se em consideração a vazão específica, a área total do terreno e o seu percentual de impermeabilização.

III - As águas precipitadas sobre os terrenos não deverão, preferencialmente, ser drenadas diretamente para ruas, sarjetas e redes de drenagem sem a devida contenção e retardamento do lançamento.

E por fim, a resolução diz que em casos de impossibilidade no atendimento das condições estabelecidas, poderão ser apresentados estudos alternativos que atestem a capacidade do corpo hídrico de receber vazão específica de lançamento, ficando esses estudos sujeitos à aprovação da ADASA.

## **CARACTERÍSTICAS DAS INUNDAÇÕES NO BRASIL**

As condições hidrológicas que produzem a inundação podem ser naturais ou artificiais. No Brasil, na maioria das vezes, os problemas de inundações são ocasionados por ações antrópicas, que ocorrem por estruturas de drenagem ineficientes, que vão desde a definição das condições básicas do sistema de drenagem como o relevo, precipitação, tipo de solo e capacidade de escoar superficialmente, até a execução das medidas de controle do escoamento superficial (CANHOLI, 2005).

Porto *et al.* (2001) *apud* Tucci (2007) relatam em seu trabalho que os problemas urbanos referentes às inundações podem ser justificados pelos seguintes aspectos:

- **Administração Pública:** não há órgãos descentralizados que atue de modo específico e efetivo na gestão da drenagem urbana.
- **Limitação Técnica:** os técnicos responsáveis pelos empreendimentos possuem conhecimentos limitados sobre o controle de enchentes.
- **Má Distribuição do Orçamento de Governo:** com a pressão nos cofres públicos pela demanda da prestação de serviços para a utilidade pública, como por exemplo, o saneamento básico.
- **Carência de Informações Fluviométricas e outras Variáveis Hidrológicas:** existe carência de dados hidrológicos em áreas urbanas, o que pode vir a comprometer a utilização de técnicas mais sofisticadas de modelagem matemática e impossibilitar a definição dos parâmetros adequados para caracterizar as condições hidrológicas e a resposta da bacia hidrográfica.

Neste sentido, Porto *et al.* (2001) *apud* Tucci (2007) apresentam as principais consequências desses problemas urbanos, que são: abandono de obras antes de sua finalização, inviabilização da implantação de alternativas adequadas para a solução e o controle das cheias, e uma legislação insuficiente referente ao planejamento e fiscalização no controle da ocupação urbana.

Contudo, é importante destacar que o planejamento da gestão das águas urbanas no Brasil evoluiu em muitos aspectos. Na atual conjuntura brasileira, ocorreram melhorias no aspecto político da concepção e controle das cheias urbanas. Em muitos estados, como por exemplo: São Paulo, Curitiba, Uberlândia e Rio Grande do Sul, foi apresentada uma metodologia consolidada e eficaz para o planejamento e fiscalização das normas referentes ao ordenamento do solo, e com esse tipo de estratégia é possível minimizar os impactos provenientes da urbanização no sistema de drenagem pluvial.

Outro ponto que merece destaque é o aperfeiçoamento dos planos de desenvolvimento urbano, Plano Diretor Urbano – PDU, que tem como objetivo promover o crescimento das cidades, e contribuir para melhorias na qualidade de vida da população (BATISTA *et al.*, 2011).

A realizada brasileira é preciso reduzir os riscos, combater e mitigar os problemas causados por inundações, para isso é necessário estabelecer uma visão moderna da drenagem urbana, na qual ela está inserida no conceito de planejamento urbano integrado, onde o sistema de drenagem faz parte de um programa muito mais amplo de infra-estrutura urbana.

No Distrito Federal a rede de drenagem de águas pluviais apresenta características típicas de uma cidade elaborada sob o conceito higienista, ou seja, possui uma rede de drenagem dimensionada com o objetivo de promover o escoamento rápido das águas para longe dos centros urbanos. Entretanto existe a preocupação dos órgãos fiscalizadores e do governo do Distrito Federal, em realizar e tornar os projetos de drenagem das águas urbanas mais sustentáveis, porém como o Plano Diretor de Drenagem do Distrito Federal ainda não foi aprovado a fiscalização torna-se mais difícil. A rede de águas pluviais do DF está distribuída em quatro grupos: implantada, parcialmente implantada, em implantação e não implantada (SO/DF, 2008a).

### **MEDIDAS DE CONTROLE DE CHEIAS**

Com o desenvolvimento das zonas urbanas houve também o crescimento das áreas impermeáveis. A construção de calçadas, edificações e estradas, contribuiu para o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial (SILVEIRA, 2002). A seguir são apresentadas as Figura 0.3 e Figura 0.4 que registram eventos críticos de inundações no Distrito Federal.



Figura 0.3 Estacionamento de quadra na Asa Norte – DF.

(Fonte: Correio Brasiliense, 2014).



Figura 0.4 Rua 10 B do Setor Vicente Pires durante evento crítico.  
(Fonte: Jornal Tribuna ViP)

Como é possível observar nas Figura 0.3 e Figura 0.4, esses eventos críticos ocorrem devido ao aumento de áreas impermeabilizadas associada a uma dada precipitação, este fator colabora para o surgimento das inundações urbanas, que também é devido a uma junção de fatores: falta de limpeza no sistema, bocas de lobo obstruídas, lixo espalhado, um sistema de drenagem defasado e chuvas intensas.

Os sistemas de drenagem tradicionais utilizados no DF são os do tipo separador absoluto, ou seja, as águas pluviais escoam por tubulações distintas do esgoto doméstico ou industrial. Esses sistemas são implantados para retirar, o mais rápido possível, toda a água precipitada que poderá causar problemas para um centro urbano, reunindo toda a água coletada em canais, retirando o desenho natural dos rios e reduzindo a sua capacidade ou em condutos subterrâneos incapazes de acompanhar a demanda cada vez maior do escoamento das águas pluviais. No entanto, devido ao aumento das áreas impermeáveis, a capacidade de suporte dessas obras pode ser superada e provocar inundações e/ou alagamentos em setores da cidade.

Além dos sistemas de drenagem combinados e separados, existem atualmente os sistemas compensatórios, onde se admite a convivência com a água no meio urbano, integrando-se o meio ambiente à cidade, de forma a compensar os efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (CHRISTOFIDIS, 2010).

A Figura 0.5 mostra a diferença entre os sistemas de drenagem tradicional e o compensatório.

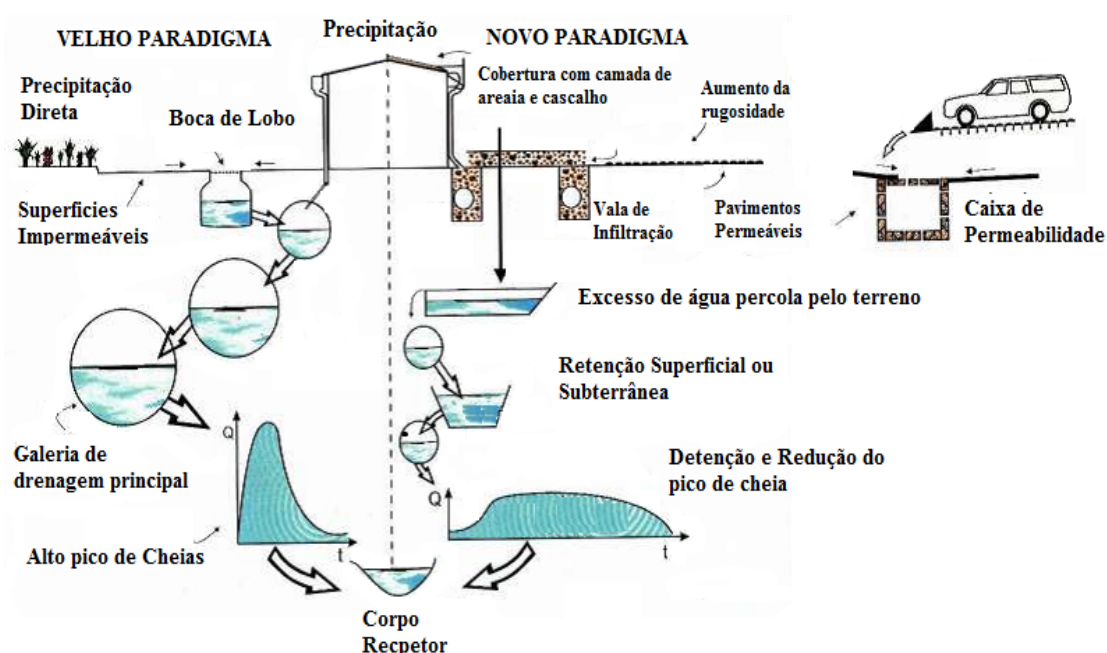


Figura 0.5 Comparação entre os Tipos de Concepção de Estruturas de Drenagem (CHRISTOFIDIS, 2010 Adaptado).

Dentro da nova concepção de projeto de drenagem, onde se pretende não somente se livrar o mais rápido possível da água precipitada, mas fazer com que seja controlado o escoamento a jusante, existe medidas alternativas para o controle de cheias urbanas, que proporcionam a retomada das condições relativas ao processo hidrológico anterior à ocupação da bacia hidrográfica, e são implantadas com o intuito de compensar e prevenir o risco das inundações urbanas.

As técnicas compensatórias baseiam-se, principalmente, na infiltração e retenção dos volumes escoados, para que seja possível ocorrer à redistribuição das vazões ao longo do tempo. Essas técnicas são divididas em não-estruturais e estruturais.

As medidas não-estruturais destacam-se por atuar nas causas das inundações, e seu principal objetivo é evitar que os problemas aconteçam, para isso, deve-se realizar procedimentos que favoreçam o retardo do escoamento superficial, tais como a racionalização do uso do solo urbano, com a exigência regulamentar de controle na fonte (CHRISTOFIDIS, 2010).

Também estão incluídas nas medidas não-estruturais os Programas de Controle Ambiental, que tem o intuito de sensibilizar a população, quanto aos problemas causados pelos acréscimos de volumes e de velocidades de escoamento superficial. Na tabela 3.6 são apresentadas algumas medidas de caráter não estrutural.

Tabela 0.6 Seleção de Medidas Não-Estruturais

<b>Tipos</b>	<b>Função</b>
Zoneamento de Áreas Inundáveis	A calha menor e a várzea de inundação dos rios devem ser regulamentadas dentro do zoneamento urbano para que seja vetado qualquer tipo de construção.
Sistema de Previsão e Alertas de Cheias	Avisar aos moradores locais sobre a possível inundação. Para isso deve ocorrer o monitoramento da bacia urbana em tempo real, ou seja, com coleta de dados hidrológicos em tempo real.
Seguro contra Enchentes	Permite o ressarcimento contra os prejuízos causados pelas inundações.
Educação Ambiental	Conscientização da população sobre os riscos de inundações e aumento da poluição difusa, por meio de programas e propagandas e outras iniciativas.

Fonte: Baptista *et al.*,2011(Adaptado)

Esses tipos de medidas não são frequentemente aplicados na gestão das águas pluviais no Brasil, pelo fato que é necessário primeiro resolver e solucionar problemas relacionados à inexistência e ineficiência dos sistemas de saneamento básico.

Conduto existem alguns estados onde o investimento para o desenvolvimento dessas medidas Não-Estruturais são maiores, como no Rio Grande do Sul, onde está sendo realizado programas de educação ambiental da população para que haja uma conscientização sobre os riscos de inundações e aumento da poluição difusa (PDDur – RS, 2005).

E na cidade de Itajubá-MG, onde Reis (2014) realizou o monitoramento e alerta de inundações através da modelagem matemática. Foi implementado a plataforma TerraMA, resultando em um sistema de monitoramento capaz de produzir alertas consistentes com 3 e 4 horas de antecedência.

Já as alternativas estruturais, incluem obras de engenharia e são implantadas para reduzir o risco de enchentes. Podem ser extensivas ou intensivas. A primeira é uma ação que atua diretamente na bacia, procurando modificar as relações entre a precipitação e vazão de forma natural ao longo do ambiente, com o intuito de promover o retardo da água escoada e controle da erosão, originando a restauração do ciclo hidrológico natural da bacia hidrográfica.

Segundo o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais do Estado de São Paulo (SMDU, 2012), as medidas intensivas são aquelas que agem no rio e tem o caráter corretivo, por isso são mais onerosas, e distribuem-se nos seguintes aspectos:

1. **Aceleração do Escoamento:** construção de diques e polders, que provocam, respectivamente, o aumento da capacidade de descarga dos rios e corte de meandros;
2. **Retardo do Escoamento:** construção de reservatórios e as bacias de amortecimento, essas medidas contribuem para a diminuição do volume escoado superficialmente;
3. **Desvio do escoamento:** canais de desvio.

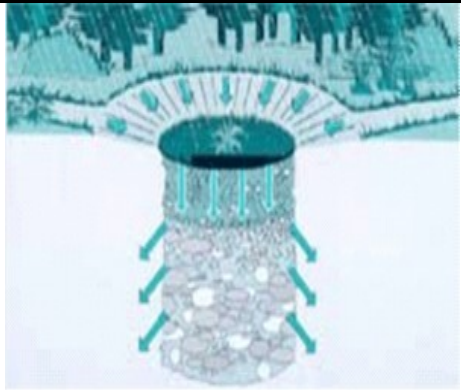

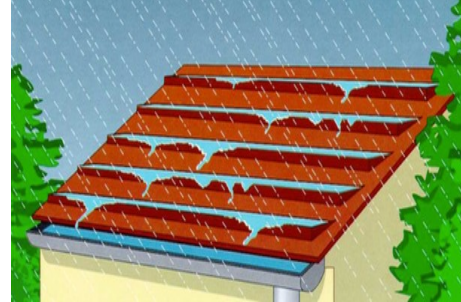
Segundo Baptista *et al.* (2011) e Christofidis (2010), essas técnicas compensatórias podem assumir diversas formas e são aplicadas em diferentes escalas e distribuídas, de modo geral, dessa forma:




1. **Técnicas de Controle na Fonte:** estão relacionadas às pequenas superfícies de drenagem, como por exemplo, lotes residenciais;
2. **Técnicas lineares:** usualmente são incorporados ao sistema viário e distribuídos nas zonas públicas, como parques e estacionamentos;
3. **Técnica de controle centralizado:** estão relacionados com os dispositivos de armazenamento do excedente dos volumes pluviais para períodos curtos e longos, visando o controle da inundação e redução de cargas de poluição difusa.




Na Tabela 0.7 são apresentadas algumas medidas compensatórias estruturais, e suas principais características.



Tabela 0.7 Seleção de Medidas Estruturais

Técnica	Tipos	Área Ocupada	Principal Vantagem	Principal Desvantagem	Manutenção	Foto
Controle na Fonte	Poço de Infiltração	Baixa	Redução dos volumes conduzidos pela drenagem tradicional e possível recarga do aquífero	Baixa capacidade de armazenamento e risco de contaminação do aquífero	Regular	
	Micro reservatórios	Baixa	Reuso da água da chuva	Custo de instalação e manutenção	Alta	
	Telhados de Armazenamento	Baixa	Apresenta boa integração em ambientes urbanos e não necessita de grande investimento	Medida não é aplicada em telhados que suportam instalações como, aquecedores, sala de maquinas etc	Alta	

<b>Lineares</b>	Bioretenção	Média	Controle do escoamento; Remoção de poluentes e mitigação de ilhas de calor.	Dimensionamento baseado na porcentagem de área impermeável e deve-se evitar a colmatação.	Regular	
	Valas de Infiltração	Média	Controle do escoamento; Remoção de poluentes.	Risco de contaminação do aquífero e deposição de sedimentos	Regular	
	Trincheiras de Infiltração	Média	Controle do escoamento; Remoção de poluentes	Risco de contaminação do aquífero e eficiência reduzida se for empregado em locais com declividades altas	Alta	

	Pavimentos porosos ou permeáveis	Média	Redução do escoamento, possibilidade de recarga do aquífero e reduz os custos com o sistema de drenagem a jusante.	Risco de contaminação do aquífero, e sujeito a colmatção.	Alta	
Centralizados	Bacias de detenção	Alta	Armazenamento de águas pluviais, com o intuito de reduzir as inundações. Criação de áreas de lazer.	Curtos períodos de armazenamento de águas pluviais e geralmente acumula lixo nos períodos de seca	Alta	
	Bacias de Retenção	Alta	Armazenamento de águas pluviais, com o intuito de reduzir as inundações. Melhoria na qualidade da água.	Erosão do solo, aporte de sedimentos	Alta	

Fonte: Baptista *et al.*, 2011 (Adaptado)

É possível observar que, para a elaboração do planejamento das ações de melhorias do sistema de drenagem urbana, é necessário realizar uma análise integrada do ambiente, ou seja, para a correta implantação das técnicas compensatórias é preciso analisar os critérios quantitativos e qualitativos do local, os impactos positivos e negativos gerados nos estados hidrológicos, sanitários e qualidade da água, e por fim, a inserção social e ambiental das alternativas de projeto. Além disso, a escolha das técnicas deve estar associada ao projeto de ordenamento territorial da cidade.

## **EXPERIÊNCIAS NO USO DE MEDIDAS COMPENSATÓRIAS**

As alternativas para o controle de cheias podem ser apresentadas em diversos níveis de aplicação. Pode ser considerado o aspecto geral da drenagem em um município, região, sub-bacia, bairro ou lote. Pretende-se, nesse momento, apontar alguns exemplos da aplicação das técnicas para o controle do escoamento superficial, com o objetivo de minimizar os danos causados pelas inundações em áreas urbanas.

Segundo Costa *et al.* (2012) a utilização de alternativas sustentáveis, como telhados verdes, é uma técnica eficiente para a redução e retardo do escoamento superficial. Esta metodologia foi aplicada no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no município de Toledo. E contribuiu para a redução e sensibilização dos impactos ambientais causados pela impermeabilização do solo devido ao processo acelerado e não planejado de urbanização.

No estudo de Nascimento *et al.* (2000) foi adotado o modelo HEC-HMS (USCE, 1998) um do tipo chuva-vazão para a bacia hidrográfica do Riacho das Areias em Betim, Minas Gerais. O estudo teve o intuito de determinar o processo de intensificação da urbanização, e os problemas associados ao funcionamento inadequado do sistema de macrodrenagem implantado na bacia, para que seja possível associar estes resultados com a frequência na ocorrência de inundações.

Os resultados do estudo hidrológico mostrou que as vazões de projeto são significativamente diferentes e superiores àquelas utilizadas para dimensionamento dos canais. E, apontou vários pontos de insuficiência de drenagem e no funcionamento inadequado das estruturas hidráulicas. O sistema de macrodrenagem estudado funciona

com um elevado risco de inundação, que tende a agravar-se com o processo de urbanização da bacia e a realização das obras de infraestrutura. E por fim, esta pesquisa mostrou que se fez necessário à implantação de estruturas de amortecimento de cheias.

Com o objetivo de verificar a viabilidade de implantação de mecanismos eficientes na retenção de águas pluviais, com tentativa de solucionar e mitigar os efeitos dos alagamentos que ocorrem no bairro do Boqueirão (Santos-SP), Barros *et al.*(2014) avaliaram o desempenho das técnicas de telhados verdes e cisternas.

Os resultados obtidos mostraram que foram necessárias chuvas com intensidade de 65mm/h ou mais para que provocasse alagamentos no município de Santos e de 95 mm/h para o bairro do Boqueirão. Os autores identificaram as áreas possíveis para a captação da água da chuva e o resultado obtido foi de 22.794,59 m<sup>2</sup>, considerando uma taxa de captação de 60 mm/h da precipitação, como sugere a legislação estadual (Lei12526/07). Neste caso, ter-se-ia uma redução efetiva de 5,8% no volume de água precipitada, o que reduziria uma precipitação real de 95 mm/h para uma fictícia de 89 mm/h.

## **QUANTIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

Para o gerenciamento das ações mencionadas nos tópicos anteriores é necessário estabelecer formas de quantificar o volume de água escoado, seja para prever o impacto sobre o sistema de drenagem ou para realizar novas construções.

O escoamento de um rio depende de um conjunto de características físicas da bacia, tais como a área de drenagem, topografia, tipo de solo e distribuição temporal e espacial das precipitações. Em geral, poucas bacias urbanas contam com redes de monitoramento de vazões.

Os canais, tubulações, etc. eram dimensionadas apenas com base na vazão máxima, e a forma mais usual para a sua determinação era o método racional, que estabelece uma relação indireta entre precipitação e escoamento superficial (CANHOLI, 2005).

Atualmente, com a adoção de medidas compensatórias, além da vazão de pico, o volume escoado também é importante, o que exige a determinação do hidrograma de escoamento superficial.

Segundo Tucci (2007), o hidrograma pode ser entendido como a resposta de uma bacia a um evento de chuva, que depende das características fisiográficas do local e das particularidades do evento, como a duração e a intensidade da precipitação.

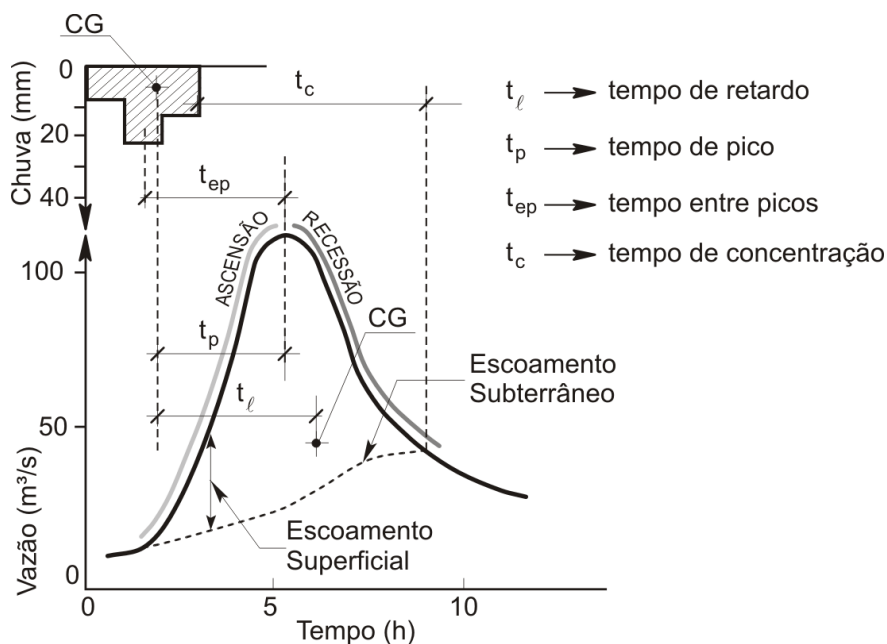


Figura 0.6 Características do Hidrograma (IPH- UFRGS, 2009)

Com base nestas definições e o auxílio de modelos hidrológicos é possível caracterizar e quantificar o escoamento superficial na bacia hidrográfica. Os modelos matemáticos simulam total ou parcialmente o ciclo hidrológico na bacia, e tem por objetivo estimar a vazão em um sistema de drenagem e preveem o hidrograma de cheia associado ao risco de ocorrência da precipitação, além de auxiliar nos planos para a contenção de inundações. Esses modelos podem ser classificados conforme a Tabela 0.8.

Tabela 0.8 Classificação de Modelos Matemáticos.

Modelo A	Modelo B
<b>Discretos:</b> simulam algumas partes do ciclo hidrológico, ou seja, simula um único evento de chuva.	<b>Contínuos:</b> simulam o ciclo hidrológico completo, ou seja, os fenômenos são contínuos ao longo do tempo.
<b>Concentrados:</b> consideram a bacia hidrográfica como um único elemento, portanto, não leva em conta a variabilidade espacial.	<b>Distribuídos:</b> a bacia hidrográfica é subdividida em elementos menores e possui variabilidade espacial e temporal de suas variáveis.
<b>Empírico:</b> são aqueles que ajustam os valores calculados aos dados observados através de funções de transformação de estados que não tem relação com processos físicos.	<b>Conceitual:</b> são aqueles cujas funções utilizadas em sua elaboração consideram formulação física parametrizável e empírica e, portanto, pelo menos um parâmetro exige calibração.
<b>Determinístico:</b> é quando a série simulada é uma sequência de dados observados e não está associado ao conceito de probabilidade na ocorrência das variáveis.	<b>Estocástico:</b> é quando se leva em conta o conceito de probabilidade de ocorrência das variáveis.

Fonte: Tucci, 1998 (adaptado)

Dentre os modelos computacionais que são mais utilizados para quantificar o escoamento superficial, destacam-se: o HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center*), SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*), SWMM (*Storm Water Management Model*), e ABC (*Análise de Bacias Complexas*).

A plataforma HEC (*Hydrologic Engineering Center*), desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, dispõe do o módulo HEC-RAS – hidráulico e o módulo HEC-HMS – hidrológico.

O módulo HMS (*Hydrologic Modeling System*) simula vários processos hidrológicos, entre eles, destaca-se o processo de transformação chuva-vazão em sistemas de bacias hidrográficas urbanas e rurais. Segundo os critérios da Tabela 0.8, o HMS é um modelo matemático discreto, concentrado, empírico/conceitual, e determinístico, tem disponibilidade gratuita, possui interface amigável e não tem restrição de aplicação para o tamanho da bacia. (HEC-HMS, 2010).

Costa *et al.* (2015), utilizou o modelo HEC-HMS para avaliar o panorama do dimensionamento de reservatórios para o controle das cheias urbanas em 6 ( seis) sistemas de drenagem urbana do Distrito Federal. Os resultados permitiram concluir que os critérios de dimensionamento do órgão competente são insatisfatórios e que há a necessidade de realizar um estudo de modelagem adequada para reduzir custos de implantação, melhorar a segurança do sistema de drenagem e identificar imperfeições de dimensionamento nos projetos, os quais são impossíveis de serem mensurados com metodologias mais simplificadas.

Macedo (2010) utilizou o modelo HEC –HMS para determinar a relação chuva-vazão na bacia do Rio Negrinho, em Santa Catarina. Os resultados mostraram hidrogramas sintéticos bem ajustados aos hidrogramas observados e, vazões de pico adequadamente calculadas, indicando que o modelo pode ser útil em projetos de obras hidráulicas de bacias que não possuem séries observadas de vazão.

O SMAP, de acordo com a Tabela 0.8 é um modelo determinístico, conceitual e concentrado, que possui simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão. É originalmente desenvolvido para intervalo de tempo diário e posteriormente foram

apresentadas as versões horária e mensal, adaptando-se algumas modificações em sua estrutura.

O modelo SMAP busca representar o armazenamento e os fluxos de água na bacia através de reservatórios lineares fictícios, utiliza a distribuição espacial e temporal da precipitação observada dos pontos de medição para calcular a precipitação média na bacia (MARTINI, 2015).

Nos estudos de Martins (2015) foi possível avaliar o risco de inundação e propor alternativas de prevenção e contenção de cheias para a bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, localizada em Belém do Pará. O modelo utilizado foi o SMAP almejando a sustentabilidade do sistema de macrodrenagem. Os resultados obtidos mostram a aplicação do modelo supracitado, como ferramenta essencial de prevenção e contenção das inundações sobre bacias urbanas de drenagem, que sofrem influência direta do regime de marés.

O SWMM foi desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA), segundo a Tabela 3.8 é um modelo contínuo e distribuído que permite simular vários processos do ciclo hidrológico: precipitação, interceptação, infiltração, escoamento superficial, sendo um dos programas mais utilizados em áreas urbanas. É um modelo hidrológico dinâmico, que, a partir de dados de entrada, simula hidrogramas resultantes.

O modelo SWMM tem sido aplicado em estudos que envolvem redes de drenagem, tanto de águas pluviais como de águas residuárias. Alguns exemplos em sistemas de drenagem pluvial são: concepção e dimensionamento de estruturas de drenagem para o controle de inundações, retenção, proteção da qualidade da água e avaliação da eficiência de medidas alternativas de controle de inundações e redução do carreamento de poluentes durante os eventos críticos de precipitação (ROSSMAN, 2010).

E além desses atributos o SWMM apresenta grande flexibilidade na divisão da bacia e na disposição da rede de drenagem, o que permite uma representação mais próxima da realidade. Nesse sentido, fez-se uma compilação de alguns trabalhos desenvolvidos com a utilização do SWMM, sendo esses apresentados a seguir.

O trabalho de Garcia (2005) teve por objetivo avaliar o modelo SWMM na bacia hidrográfica do Arroio Cancela, na cidade de Santa Maria – Rio Grande do Sul (RS), tendo



por enfoque a calibração de eventos de cheia e o entendimento dos parâmetros envolvidos na simulação. Utilizou-se dois níveis de discretização da bacia, um mais detalhado e outro mais simplificado. A calibração do modelo para a bacia com discretização detalhada apresentou um coeficiente de correlação (R) médio de 0,95, enquanto que na bacia com discretização simplificada, obteve-se um coeficiente de correlação (R) médio de 0,94. Ambos os resultados para a calibração foram bons. Garcia (2005) concluiu que o modelo SWMM apresentou bons resultados na simulação dos eventos através da calibração de seus parâmetros.

Costa (2013) aplicou o modelo SWMM à sub-bacias do Centro Olímpico, localizada na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá. A calibração realizada apresentou resultados satisfatórios, com valores maiores que 90% nos eventos. Além disso, em sua análise de sensibilidade Costa (2013) verificou que o parâmetro mais sensível às alterações foi a porcentagem de área impermeável.

Souza (2014) avaliou os processos hidrológicos, hidráulicos e de qualidade da água nas sub-bacias do Centro Olímpico e do Iate Clube, que estão inseridas na Bacia do Paranoá, utilizando-se, para isso, do monitoramento de vazões e qualidade da água e modelagem matemática por meio do modelo SWMM. Além disso, Souza (2014) analisou cenários de implantação de bacias de retenção, verificando que as bacias localizadas mais a montante das galerias tiveram pouco efeito no escoamento final à jusante da bacia, contribuindo, porém, na melhoria da rede de drenagem ao reduzir a influência no sistema de drenagem localmente. Já as bacias de retenção implantadas mais a jusante das galerias apresentaram reduções entre 10% e 30% do pico do escoamento.

O ABC6 é um Sistema de Suporte a Decisão que permite a simulação da transformação chuva-vazão. Sua formulação matemática é fundamentada em modelos de determinação de precipitação efetiva e geração de hidrogramas de escoamento superficial consagradas na literatura. Essa característica permite o estudo de bacias múltiplas e a criação de diversos cenários que auxiliam significativamente a tomada de decisões. É um modelo que não necessita de tantos dados de entrada, pois existem fórmulas empíricas que facilitam a quantificação das vazões máximas e do hidrograma de projeto, portanto é um modelo adaptado a locais com baixa disponibilidade de dados hidrológicos. Tem disponibilidade gratuita e possui interface amigável (OLIVEIRA *et al.* 1999). Segundo a Tabela 3.8 um

modelo discreto e com parâmetros ajustados, ou seja, são obtidos em função das características físicas da bacia e concentrado.

O modelo ABC 6 (Análise de Bacias Complexas) tem sido aplicado aos problemas de drenagem urbana, em especial aos de macrodrenagem. É fundamentado em métodos sintéticos para o dimensionamento de vazões máximas em pequenas bacias sem dados. E por esse motivo, facilita o planejamento quando há escassez de informações ou quando não existem dados específicos da região (LabSid, 2010).

Silveira (2010) aplicou o ABC6 para realizar a análise sensibilidade das variáveis de entrada na determinação de hidrogramas de cheia, numa bacia hidrográfica hipotética de 21,9 Km<sup>2</sup> com tempo de concentração de 2,5 horas. Nesse trabalho analisou-se a influência do CN, área de drenagem, tempo de concentração, duração da chuva e do período de retorno sobre os hidrogramas calculados.

Dentre as variáveis estudadas por Silveira (2010), o CN e o tempo de concentração foram os parâmetros que se mostraram mais influentes na determinação da vazão de pico dos hidrogramas de projeto, e conseqüentemente, os que mais alteram as características das estruturas hidráulicas propostas.

As análises mostraram que a vazão de pico do hidrograma é crescente com o valor de CN, área de drenagem e duração da chuva de projeto. E que a vazão de pico é decrescente com o tempo de concentração. E observou-se que as maiores variações nas vazões de pico dos hidrogramas ocorrem para chuvas com durações abaixo do tempo de concentração da bacia.

Freitas (2011) utilizou o ABC6 para a determinação das vazões e volumes escoados superficialmente na Bacia Hidrográfica do Rio Tejipió – PE, que frequentemente sofre inundações devido às chuvas torrenciais, e o objetivo do trabalho foi analisar o comportamento hidrológico para adotar a melhor política de planejamento e gerenciamento da bacia.

Segundo Freitas, os parâmetros que mais tiveram influência na vazão de pico e no volume escoado foram a área impermeável diretamente conectada e a taxa de infiltração. A área

impermeável diretamente conectada chegou a ser responsável pelo aumento relativo de até 43,91% do volume escoado e um aumento relativo na vazão de pico máxima de 17,24%. Já o aumento da taxa de infiltração acarretaria em uma diminuição relativa do volume escoado em 26,80% e uma redução relativa de 33,13% da vazão de pico máxima.

Neste sentido, pode-se concluir que existem diversos modelos indicados para a avaliação dos impactos da urbanização sobre o escoamento superficial e que a escolha deve ser das particularidades do local de estudo e da experiência do modulador.

## **SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

Para realizar a simulação do modelo chuva-vazão nas condições em que a bacia hidrográfica está submetida, foram escolhidos os programas ABC6 e SWMM, que executam a simulação do escoamento superficial em sub-bacias.

### **Modelo ABC**

O modelo Análise de Bacias Complexas – ABC tem a finalidade de determinar hidrogramas de cheia e analisar o percurso que esses percorrem por meio de um sistema constituído de canais e reservatórios. O modelo ABC é organizado em módulos (LabSid – USP, 2010), descritos a seguir.

**Módulo de Topologia:** é onde permite a entrada de dados relativos à estrutura do sistema em análise representados por Nós, Bacia, e Reservatórios.

**Módulo Intervalo:** permite que o usuário insira o tempo de discretização desejado para os cálculos e esse intervalo é obrigatoriamente o mesmo para todos os trechos da bacia hidrográfica.

**Módulo Modelos:** possibilita ao usuário pode selecionar entre os quatro tipos de modelos disponíveis para o cálculo da precipitação excedente, são eles: Fórmula de Horton, Green Ampt, Índice fi e o método do *Soil Concervation Service* (SCS). Nesta etapa o usuário também pode definir a forma do traçado do hidrograma de escoamento superficial direto, estão disponíveis três métodos, são eles: Santa Barbara, Clark e SCS.

**Módulo Dados:** é onde o usuário pode inserir as características físicas sobre a bacia hidrográfica que sejam necessárias para o cálculo do hidrograma de cheias partindo de uma chuva de projeto, tais como: área de drenagem, declividade, forma, uso do solo e

características de infiltração. Neste módulo é possível determinar a chuva de projeto, que pode ser fornecida pelo usuário ou calculada pelas curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) disponibilizadas no programa ou introduzidas. Também é permitido acompanhar a evolução das ondas de cheia na bacia hidrográfica ao longo dos trechos dos canais. Existe a possibilidade de inserir o comprimento do canal e o coeficiente de amortecimento.

**Módulo Saídas:** Neste ponto o programa apresenta os resultados para cada ponto que foi atribuído na rede.

### **Modelo SWMM**

O SWMM é um modelo dinâmico chuva-vazão que realiza a simulação do escoamento superficial em quantidade e qualidade, especialmente em áreas urbanas, capaz de representar um único evento de chuva ou uma simulação contínua de longo prazo (SWMM, 2012).

O programa considera diferentes fontes de produção de escoamento existentes em áreas urbanas, tais como precipitações variáveis no tempo, fluxo de reservatórios não lineares, além de considerar a retenção e detenção de escoamentos em diversos dispositivos de baixo impacto (advindos das técnicas compensatórias). Também permite determinar às condições de simulação ao qual ele será submetido, sendo possível escolher o modo de processamento, o tipo de infiltração, a forma de propagação de fluxo, o tempo de simulação, entre outros (SWMM, 2012).

O SWMM está estruturado em nove blocos ou módulos, sendo quatro computacionais e cinco de serviços.

Os módulos de serviço possuem funções diversas:

- Módulo Executivo: referente à organização da ordem das simulações
- Módulo Chuva: referente aos dados de precipitação
- Módulo Temperatura: referente aos dados de temperatura
- Módulo Gráfico: referente à apresentação de gráficos
- Módulo Estatístico: referente à análise estatística dos resultados.

Os módulos computacionais são responsáveis pelas principais rotinas de cálculo do programa, como transformação chuva-vazão, propagação da rede, rotinas envolvendo o

cálculo de cargas de poluentes e simulação de estruturas de controle qualitativo e quantitativo, (SWMM, 2012).

Em relação ao escoamento superficial, o SWMM considera a área de estudo como um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem vazões de entrada – como precipitação e contribuições de áreas a montante – e geram vazões de saída – como infiltração, evaporação, armazenamento e, quando ocorre o “extravasamento” da sub-bacia, acontece o escoamento superficial. A partir dessa abordagem, o SWMM é capaz de computar o hidrograma de escoamento superficial.

Um dos fenômenos avaliados no programa é a infiltração, essa pode se dar seguindo três métodos dentro do SWMM, a equação de Horton, o método de Green-Ampt, além do método SCS que considera a curva número da sub-bacia para avaliar a capacidade de infiltração da mesma. (SWMM, 2012)

Por fim há também três formas de se modelar o fluxo de uma sub-bacia, seguindo as equações de conservação de massa e de quantidade de movimento para fluxo não permanente, que é regido pelas equações de Saint-Venant, as três modelagens são: o fluxo em regime uniforme, onda cinemática e onda dinâmica (SWMM, 2012).

## **METODOLOGIA**

Este capítulo traz as etapas desenvolvidas no presente trabalho e uma descrição sucinta de todos os procedimentos realizados.

### **ESTRUTURA GERAL DO PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

O trabalho é estruturado em duas etapas básicas, a primeira consiste na referência bibliográfica do projeto, onde foram realizadas pesquisas na literatura específica com o objetivo de obter informações, exemplos de aplicação e procedimentos referentes ao controle da drenagem urbana.

A segunda é referente à construção de cenários de simulação e no mapeamento da área de estudo. Para este estudo, o objetivo será o de analisar a bacia hidrográfica em três situações: pré-urbanização (1964), início de urbanização (1991) e urbanizado (2013), nas quais o desenvolvimento urbano será caracterizado pela quantidade de áreas impermeáveis do setor.

Após a determinação das áreas impermeáveis, foram utilizados dois modelos matemáticos de simulação chuva-vazão com o intuito de determinar o hidrograma de escoamento superficial nos três cenários de análise.

O objetivo da simulação do escoamento é quantificar as vazões escoadas nos eventos selecionados, de modo que seja possível estimar a influência do avanço da urbanização sobre o escoamento superficial. Ao final desse procedimento, foram obtidos os hidrogramas de cada situação analisada, com o intuito de mostrar a influência do aumento do índice de áreas impermeáveis sobre a vazão de pico do escoamento superficial após a urbanização.

A utilização do modelo de simulação chuva-vazão e a obtenção dos hidrogramas correspondentes a cada cenário de análise ocorreu em dois momentos distintos e com a finalidade de avaliar o comportamento da bacia: o primeiro, sem a inserção de estruturas de controle de cheias para os três cenários, e o segundo, com as estruturas de controle no cenário mais atual, e numa segunda etapa, foi incorporada ao cenário urbanizado a rede de

drenagem lançada com as bacias de retenção proposta pelo PDDU-DF. Essas medidas serão selecionadas com base nas respostas dos hidrogramas anteriormente simulados para os cenários, e por fim, será realizada a comparação entre os hidrogramas resultantes dos programas utilizados, como forma de avaliar a eficiência dessas medidas na redução das vazões máximas. Na Figura 0.1 são apresentadas as etapas do desenvolvimento das simulações.

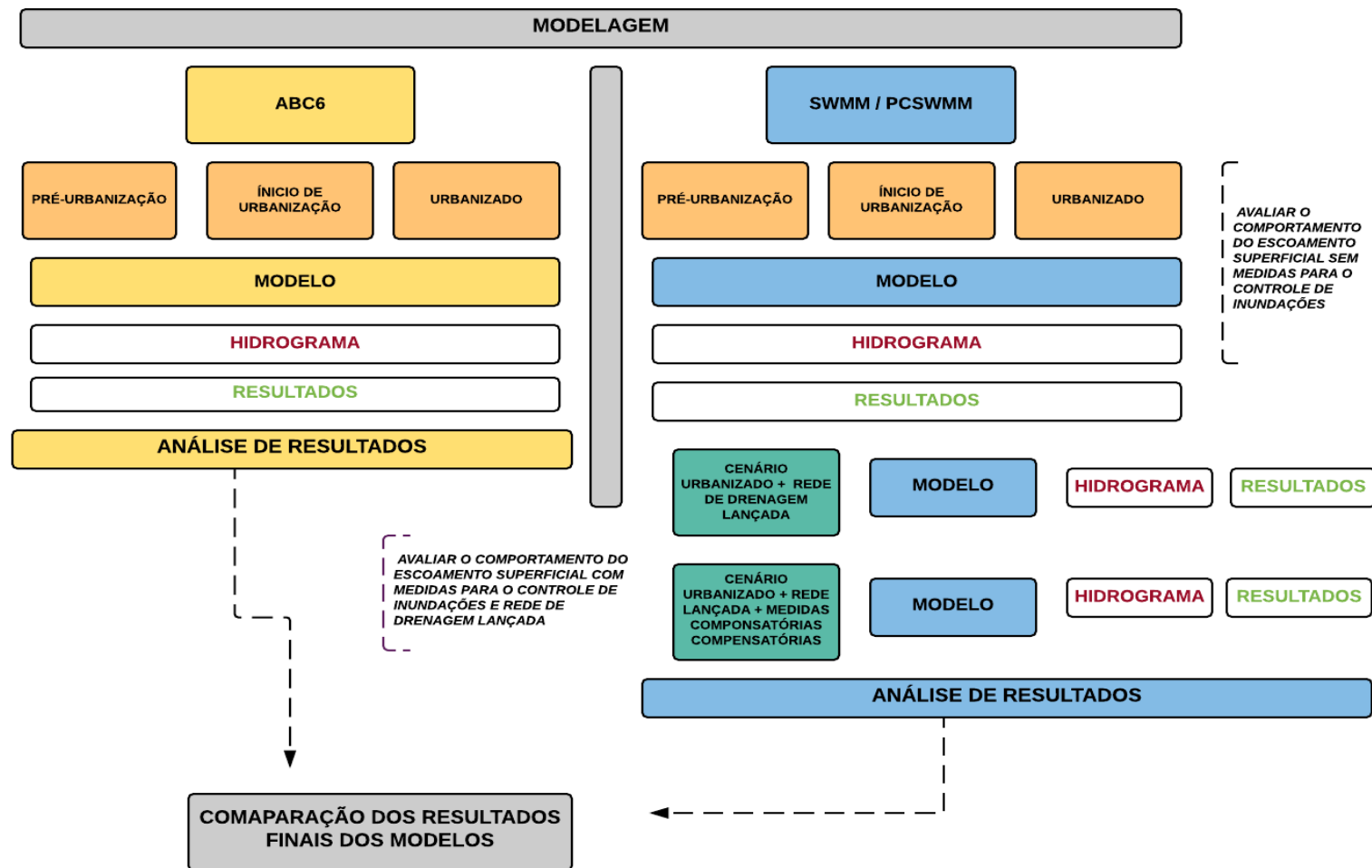


Figura 0.1 Estrutura Geral do Desenvolvimento do Projeto



## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O ambiente estudado está inserido na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, localizando-se na área de drenagem dos córregos Samambaia, Vicente Pires - afluentes do Ribeirão Riacho Fundo, afluente do Lago Paranoá. A Unidade hidrográfica em estudo é a área de influência direta e indireta do Setor Habitacional Vicente Pires, que está localizado nas proximidades das Regiões Administrativas de Taguatinga, Guará e Águas Claras, do Distrito Federal, conforme Figura 0.2.

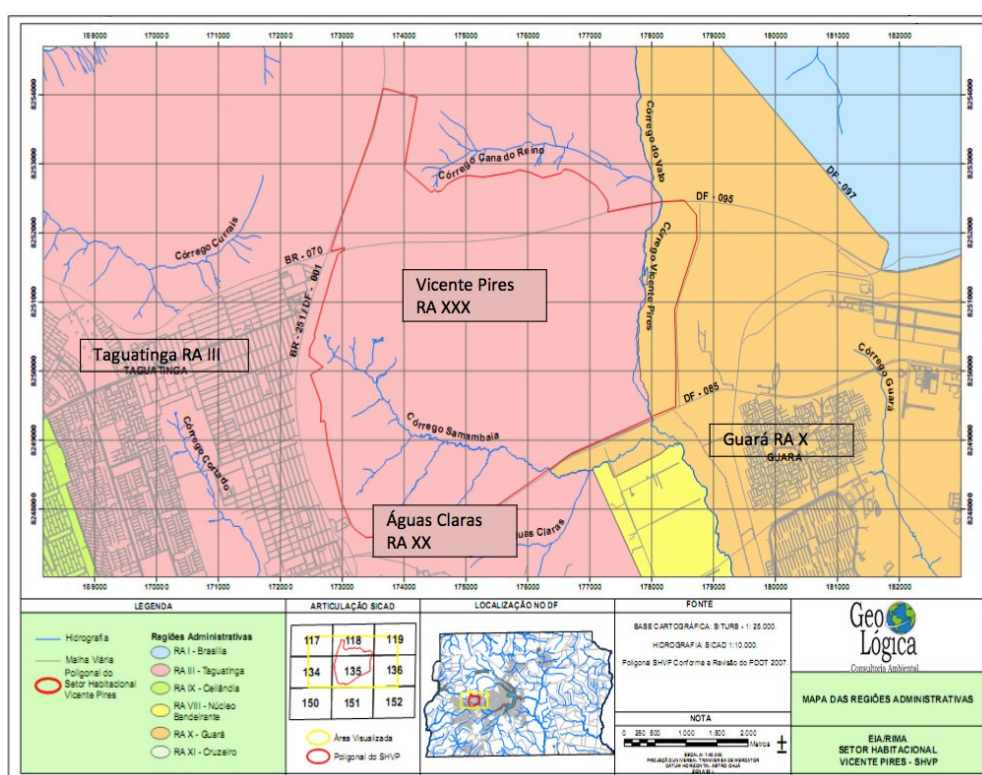


Figura 0.2 Localização da Região Administrativa Vicente Pires (Geológica, 2008)

O setor é um parcelamento de solo com fins urbanos, implementado de forma irregular em terras predominantemente públicas e ocupa áreas rurais remanescentes definidas pelo PDOT-1997. Por conta dessa ocupação inadequada, a área de estudo não possui serviços adequados de saneamento ambiental, como por exemplo, sistema de drenagem pluvial. A Figura 0.3 apresenta alguns da situação da drenagem pluvial do Setor.



Figura 0.3 Setor Habitacional Vicente Pires.  
Fonte: SO/DF: Geológica, 2008

A Figura 4.4 a Figura 4.6 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, mostradas a seguir, apresentam as fotografias aéreas da área do Vicente Pires para os anos de 1964, 1991 e 2013, escolhidas respectivamente para representar o uso e ocupação nos cenários de Pré-urbanização, Início de Urbanização e Urbanizado. Por meio dessas imagens, podem-se observar as mudanças ocorridas na área de estudo ao longo desses anos, transformando-se de uma área formada quase que inteiramente por cobertura vegetal natural para uma área essencialmente agrícola, e, em seguida, modificar-se em uma área completamente urbanizada.

No ano de 1964, representado pela Figura 4.4 é possível notar que a região tinha poucos lotes agrícolas e a maior parte era de formação campestre. Suas principais características são a baixa taxa de área impermeável e baixos valores do coeficiente CN, que permite calcular a infiltração relacionada com determinado uso do solo. Também é possível verificar que as Unidades Hidrográficas a montante do Setor (Cana do Reino e Cabeceira do Valo), apresentam características semelhantes.

No ano de 1991, representado pela Figura 4.5 percebe-se que a região sofreu algumas modificações. Houve aumento da taxa de área impermeável, e com isso, a região passou a ter maior concentração de lotes agrícolas e olieculturas/fruticulturas ao invés de formação campestre como no cenário de 1964. Nota-se também na Figura 4.5 que as Unidades Hidrográficas a montante do SHVP sofreram significativa mudança, houve o aparecimento a áreas degradadas na área de influência dos córregos a montante do setor e essa conformação leva ao aumento do coeficiente CN, que associado ao tempo de concentração da bacia e a uma chuva de projeto, provoca alterações no hidrograma do local, pois aumenta o escoamento direto no SHVP.

Para o ano de 2013, representado pela Figura 4.6 nota-se que a região apresentou um grande adensamento populacional se comparado com os outros anos, 1964 e 1991. Existem resquícios de campos e matas de galeria, que no cenário de pré-desenvolvimento é predominante, bem como lotes agrícolas no ano de 1991. Sendo possível prever que devido a elevada taxa de área impermeável o coeficiente CN apresenta valores mais altos e por consequência o escoamento superficial direto torna-se maior.

Outro ponto que deve ser levado em conta na Figura 4.6 é que nas Unidades hidrográficas a montante do SHVP, Cana do Reino e Cabeceira do Valo, também houve significativa alteração, principalmente no Cabeceira do Valo que está apresentando aumento nas áreas impermeáveis com o crescimento da Cidade Estrutural, além disso, parte da drenagem da Via Estrutural contribui para o acréscimo do escoamento direto do Setor Habitacional Vicente Pires.



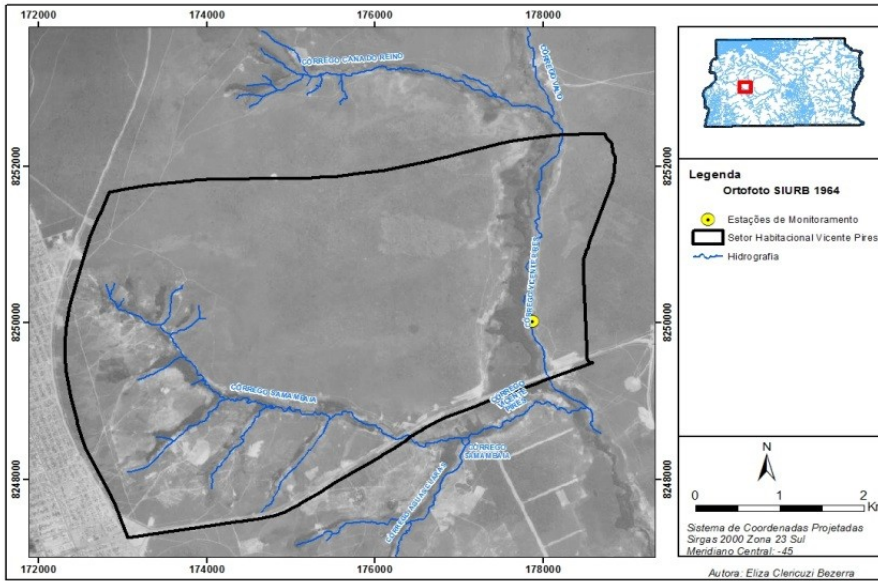


Figura 0.4  
 Fotografia área do  
 SHVP em 1964

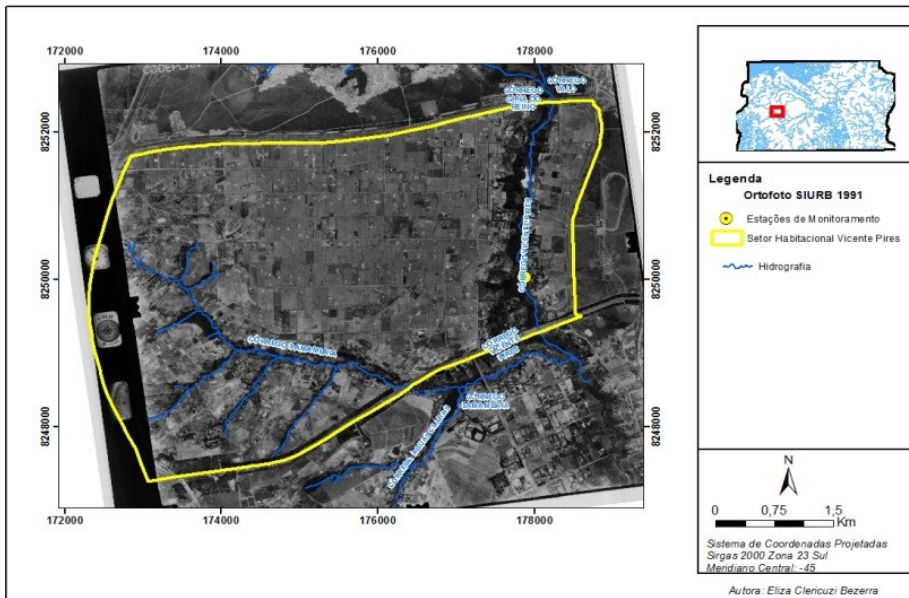


Figura 0.5  
 Fotografia área do  
 SHVP em 1991

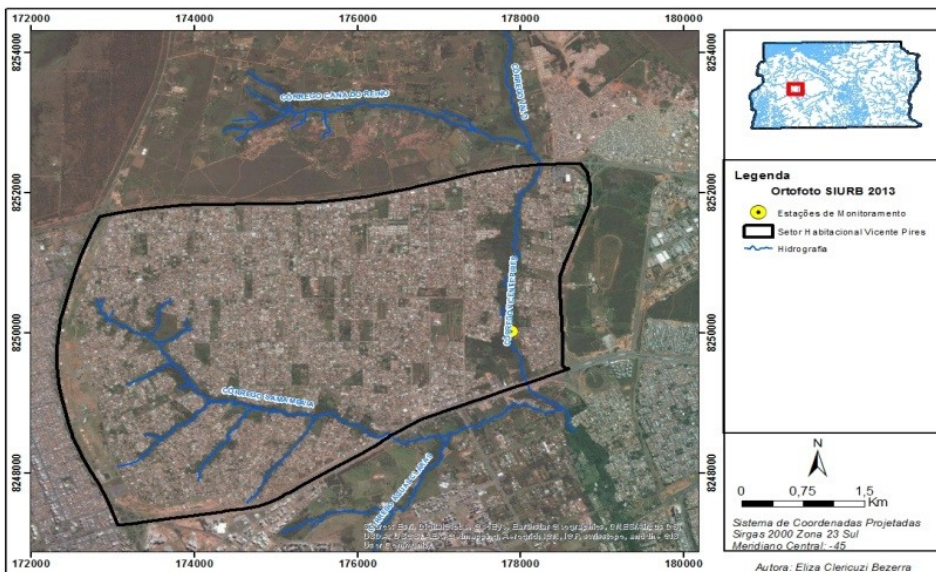


Figura 0.6  
 Fotografia área do  
 SHVP em 2013

As figuras apresentadas, a seguir, mostram os mapas referentes ao estudo de caso, Setor Habitacional Vicente Pires, bem como o conjunto de unidades hidrográficas que possuem influência na quantificação dos volumes escoados superficialmente no Setor. A seguir da Figura 0.7 a Figura 0.8 são apresentados os mapas da área de estudo em tela.

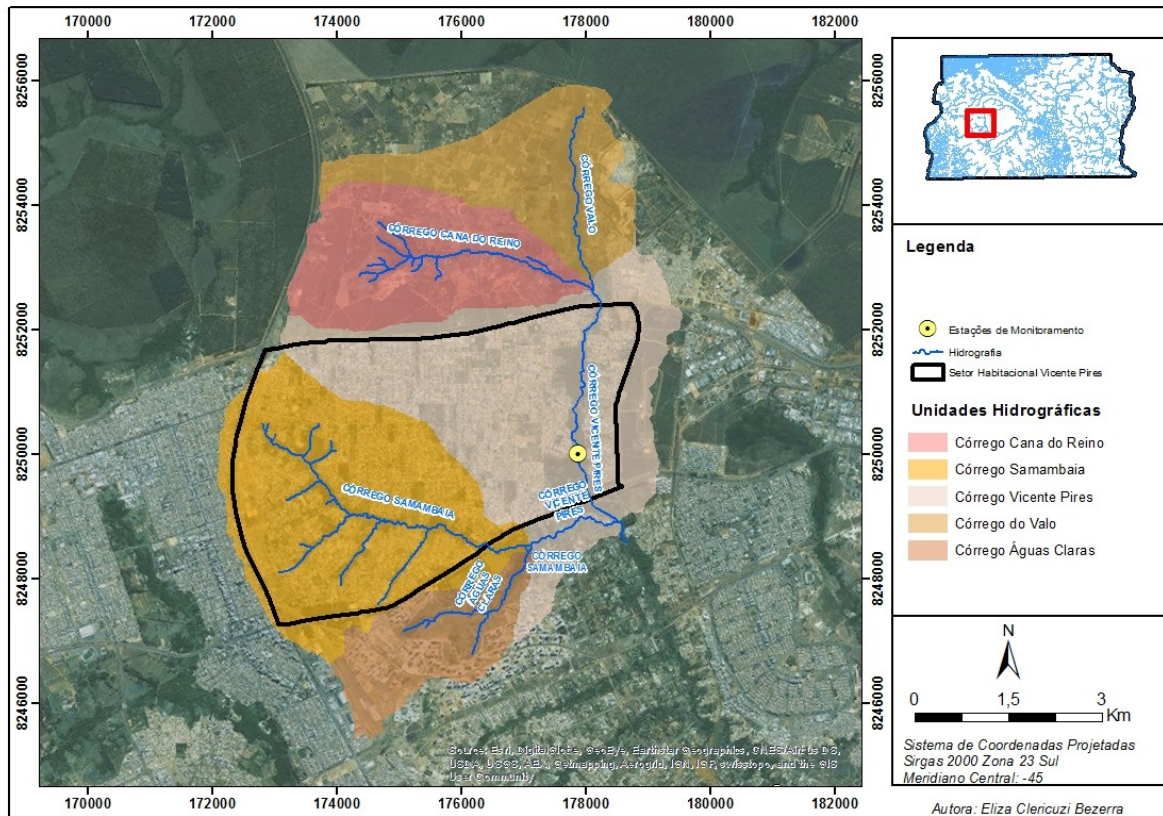


Figura 0.7 Mapa das Unidades Hidrográficas (Fonte: Base de dados-Adasa)

Foram identificadas três estações de monitoramento hidrológico inseridas ou próximas à área de influência direta e indireta do Vicente Pires, são elas: estação pluviométrica do Jockey Club, estação com medição de descarga líquida Vicente Pires Jusante Estrutural e, a estação fluviométrica, pluviométrica e pluviográfica Vicente Pires Montante. A última está sob a responsabilidade da ADASA, enquanto que a estação do Jockey Club e Vicente Pires Jusante Estrutural está sob a responsabilidade e operação da CAESB. As informações das referidas estações são apresentadas a seguir.

Tabela 0.1 Estações de monitoramento próximas ao Setor Habitacional Vicente Pires

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOME DA ESTAÇÃO</b>	<b>TIPO</b>	<b>PERÍODO</b>	<b>RESPONSÁVEL</b>
1547018	Jockey Club	Pluviométrica	1978 - Ativa	CAESB
60477680	Vicente Pires Jusante Estrutural	Descarga Líquida	2015 - Ativa	CAESB
60477700/ 01548040	Vicente Pires Montante	Pluviométrica/ Pluviográfica Fluviométrica	2009 - Ativa	ADASA

A Tabela 0.2 apresenta as respectivas áreas de drenagem dos córregos da sub-bacia hidrográfica em estudo. A seguir será apresentada a Figura 0.8 apresenta a distribuição das estações de monitoramento hidrológico.

Tabela 0.2 Áreas de Influência dos Córregos existentes no local em estudo.

<b>Unidade Hidrográfica</b>	<b>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</b>
Córrego Samambaia	8,76
Córrego Vicente Pires	14,31
Córrego Cabeceira do Valo	6,89
Córrego Cana do Reino	8,00

Fonte: Base de Dados Adasa





Figura 0.8 - Mapa de Localização das Estações de Monitoramento Hidrológico

Conduto, embora haja essas estações destacadas na Figura 0.8, não será realizada a calibração do modelo porque não tem dados pluviográficos e fluviográficos consistentes a disposição no local de estudo.

Para a elaboração do modelo digital de elevação da área de estudo, utilizou-se curvas de nível espaçadas de 1 em 1 metro disponibilizadas pela CODEPLAN. A Figura 0.9 apresenta as declividades obtidas em porcentagem.

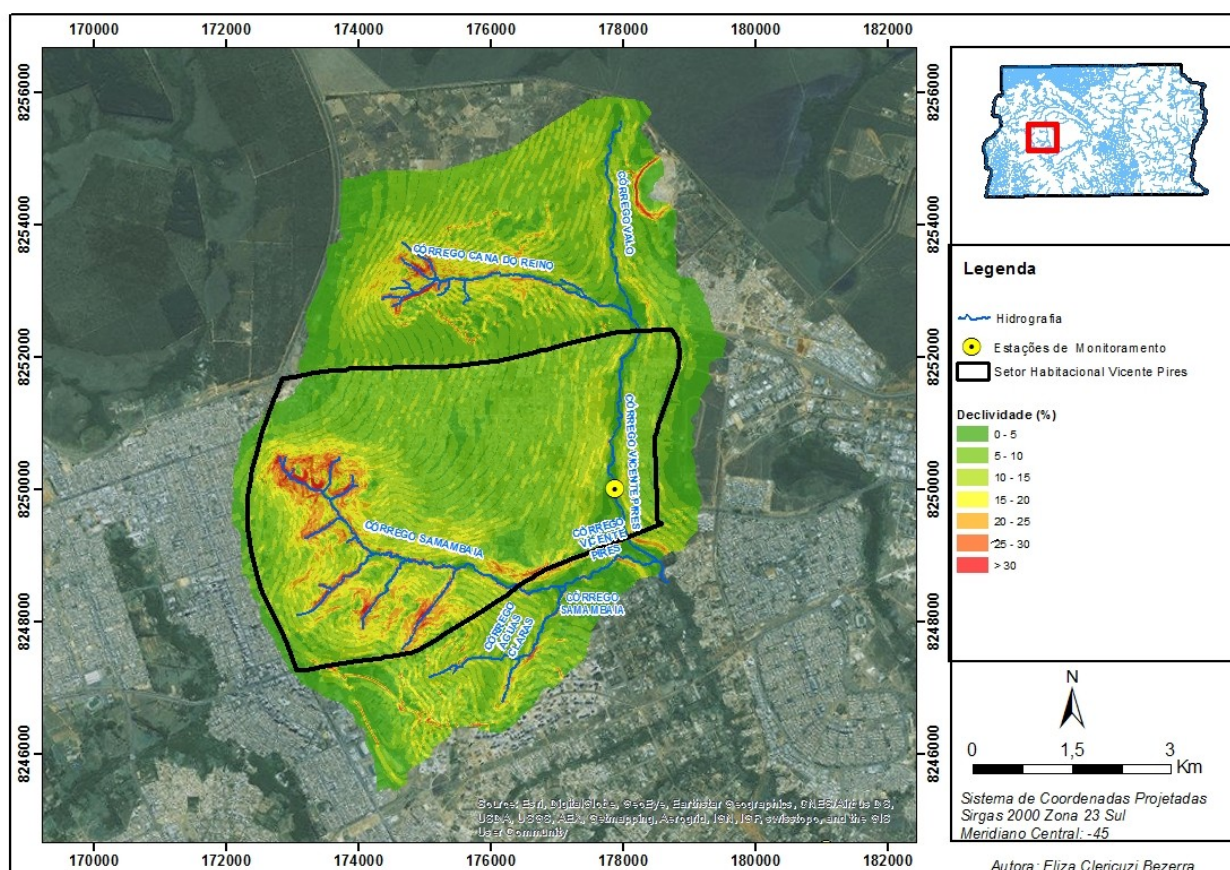


Figura 0.9 Mapa de Declividades das Unidades Hidrográficas (Fonte: CODEPLAN)

É possível notar que na unidade hidrográfica do córrego Vicente Pires, as declividades são menores, admitindo um intervalo entre 0,0 a 11,0 %. Já na contribuição do córrego Samambaia, as declividades ficam maiores, onde o intervalo varia de 5,0 a 34,0 %. Tendo em vista essa configuração, é possível verificar que os maiores problemas de inundações estão nas proximidades do córrego Vicente Pires, pois apresenta baixa declividade longitudinal.



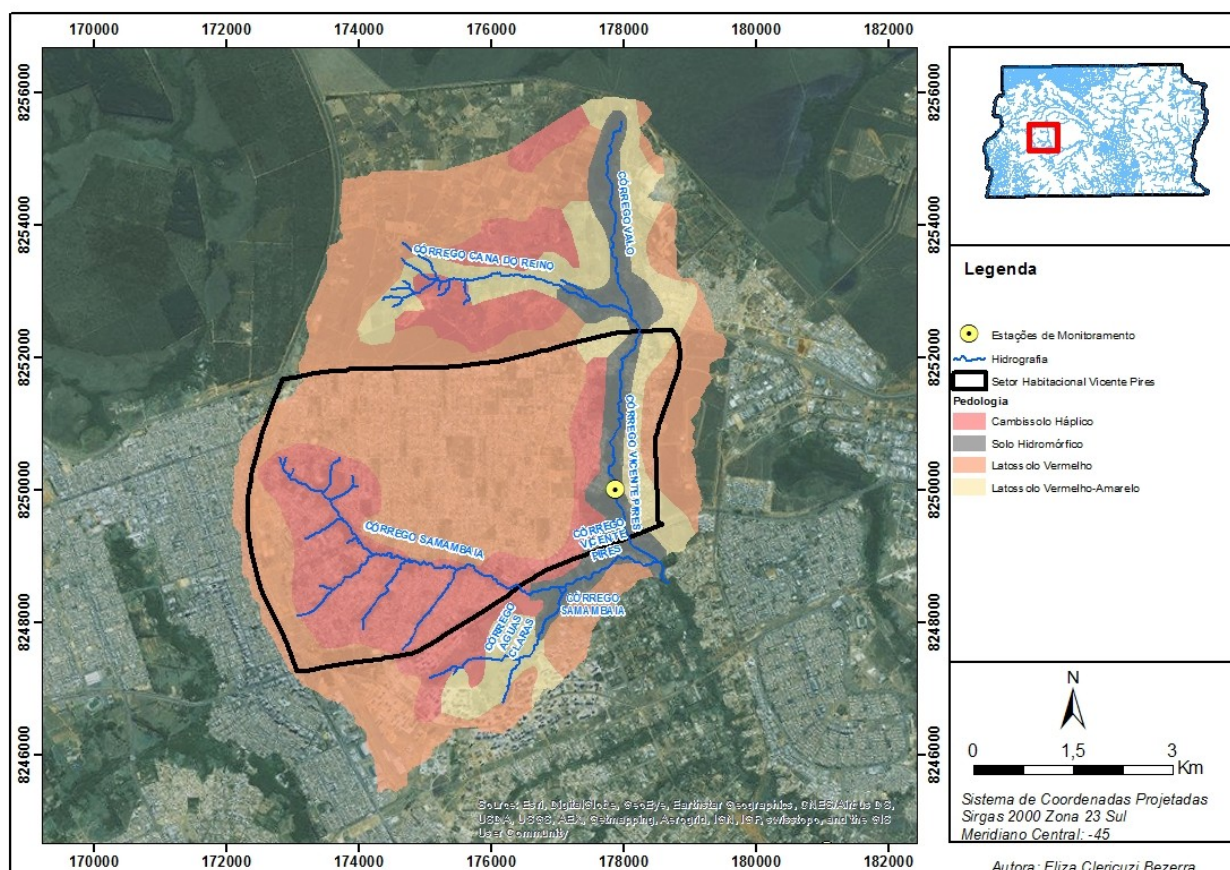


Figura 0.10 Mapa de Pedologia para Unidades Hidrográficas (Fonte: Base de dados- ZEE)

A pedologia apresentada na Figura 0.10 mostra os tipos de solo da área de estudo. Segundo EIA/RIMA do Setor Habitacional Vicente Pires (2008), foram discriminados quatro tipos de solos presentes na área de influência direta e indireta do Setor, são: Latossolo Vermelho-amarelo (LE) e Latossolo Vermelho (LV), Cambissolo (C) e Solos Hidromórficos (Hi). A distribuição dos solos nas categorias foi determinada pela Classificação Geotécnica dos Solos Universal de Casa Grande Simplificada, mostrada no Anexo I.

A Tabela 0.3, apresenta as áreas e as respectivas porcentagens de cada tipo de solo encontrado na região do Setor Habitacional Vicente Pires, que está na área de drenagem da unidade hidrográfica do córrego Vicente Pires.

Tabela 0.3 Áreas e respectivas porcentagens do tipo de solo no SHVP

<b>Código</b>	<b>Tipo de Solo</b>	<b>Área ( km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
LE	Latossolo Vermelho	13,07	56,65
LVA	Latossolo Vermelho – Amarelo	0,97	4,20
C	Cambiossolo	7,61	32,99
Hi	Solo Hidromórfico	1,42	6,16
<b>TOTAL</b>		<b>23,07</b>	<b>100</b>

Levando em consideração os grupos hidrológicos, verificou-se que o SHVP apresenta os solos dos grupos A e D. A Tabela 0.4 apresenta os tipos de solo, de acordo com o modelo o Soil Conservation Service – SCS.

Tabela 0.4 Classificação dos Grupos Hidrológicos por tipo de solo

<b>Grupo Hidrológico</b>	<b>Solos do Estudo</b>
Grupo Hidrológico A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
Grupo Hidrológico B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
Grupo Hidrológico C	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
Grupo Hidrológico D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundas com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Fonte: Tucci *et al* (1993)

Na Figura 0.11 está o mapa dos grupos hidrológicos identificados na região de estudo. Percebe-se que o grupo A é formado pelos Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo, e o grupo D pelos solos hidromórficos.

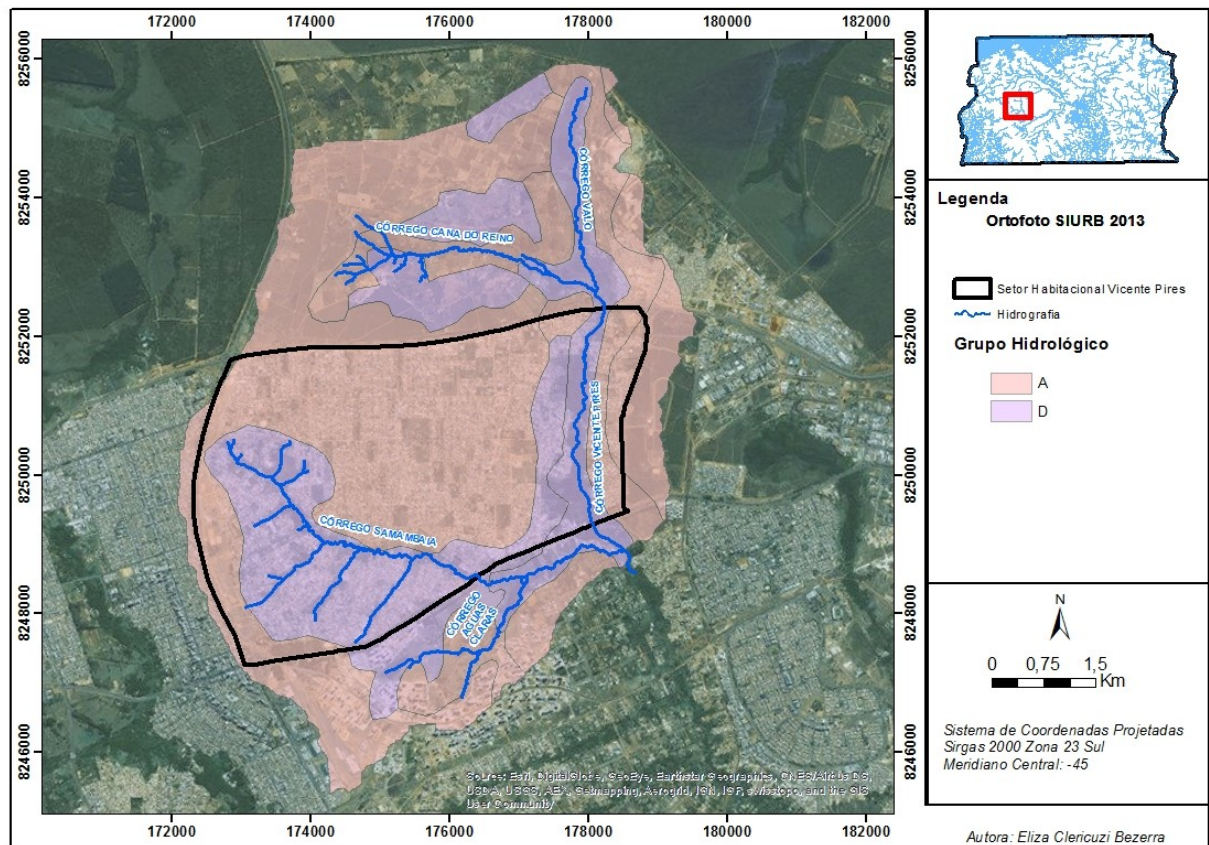


Figura 0.11 Mapa de Grupos Hidrológicos ( Fonte: Base de Dados ZEE)

Com apoio da Figura 0.11 é possível observar que existe a predominância de três grupos de solos no Distrito Federal, os Latossolos Vermelho, Latossolos Vermelho-Amarelo e os Cambiossolos, as outras classes são menos significativas se comparadas com essas três.

Conforme já mencionado anteriormente, o Setor Habitacional Vicente Pires não apresenta dispositivos de drenagem urbana. Com a ausência desses dispositivos de drenagem, a área de influencia direta e indireta do SHVP apresenta diversos problemas ambientais, tais como: assoreamento dos córregos, devido à elevada deposição de sedimentos e material em suspensão; inundações, causadas pela redução da seção ou calha dos córregos e degradação da qualidade dos corpos hídricos locais (TOPOCART, 2010). A seguir na Figura 0.12 será apresentada o registro de um evento crítico no SHVP.



Figura 0.12 Via do SHVP logo após evento chuvoso ( Topocart, 2010)

Com a intenção de solucionar os problemas gerados pela ação da água das chuvas no SHVP, a Novacap contratou empresa para elaboração do projeto de sistema de drenagem para o setor. Em 2015, deu-se início à construção da rede de drenagem pluvial e seu objetivo essencial é: prevenir inundações, principalmente, em locais onde a declividade longitudinal são pequenas, nas comunidades sujeitas a alagamentos e marginais do curso d' água.

As propostas para as soluções de drenagem tiveram como principais parâmetros os critérios técnicos da Novacap, e os parâmetros da Adasa, referentes à quantidade e qualidade da água lançada no corpo receptor. E as soluções também foram baseadas no Estudo de Impacto Ambiental do local.

De acordo com a Topocart (2010), o sistema de drenagem proposto consiste numa rede convencional (tubos, galerias, bocas de lobo) e 28 lagoas de amortecimento, com o objetivo de detenção do escoamento superficial, que formarão lâmina d'água temporária. Neste sentido, alguns aspectos construtivos e de amortecimento do escoamento podem ser destacados do projeto executivo da Topocart (2010), e serão apresentados a seguir.

## **CONSTRUTIVOS**

- Diâmetro mínimo da rede é de 400 mm;
- O recobrimento mínimo da tubulação deve ser uma vez e meia o diâmetro da rede, salvo àquelas projetadas em áreas verdes;
- A declividade mínima adotada para tubos deve ser de 1,0% e de 0,5 % para galerias, de modo a garantir que a velocidade do escoamento seja suficiente para evitar depósitos de sedimentos na rede de drenagem;
- A rede de drenagem foi projetada para velocidades de escoamento mínima e máxima de 1,00 e 6,00 m/s, respectivamente.

## **AMORTECIMENTO**

- As lagoas de amortecimento terão laterais de argila compactada e o fundo poderá ser em corte ou aterro, o fator determinante é a posição da lagoa e das condições naturais do terreno;
- As lagoas devem receber água da chuva, escoadas superficialmente e, posteriormente, lançar esse escoamento nos córregos Samambaia e Vicente Pires, por meio de dispositivos como gabioes e colchoes de reno;
- Os dispositivos de detenção devem ser planejados, sempre que possível, em áreas verdes.

Para o projeto da drenagem, foram consideradas duas grandes bacias de contribuição: a oeste, bacia de contribuição do córrego Samambaia; e, a leste, bacia de contribuição do córrego Vicente Pires. Neste estudo de caso será considerada apenas a bacia de contribuição do córrego Vicente pires, ou seja, será simulada apenas a rede oeste do SHVP. A planta geral do sistema de drenagem pluvial proposto pela Novacap é apresentada na Figura 0.13.



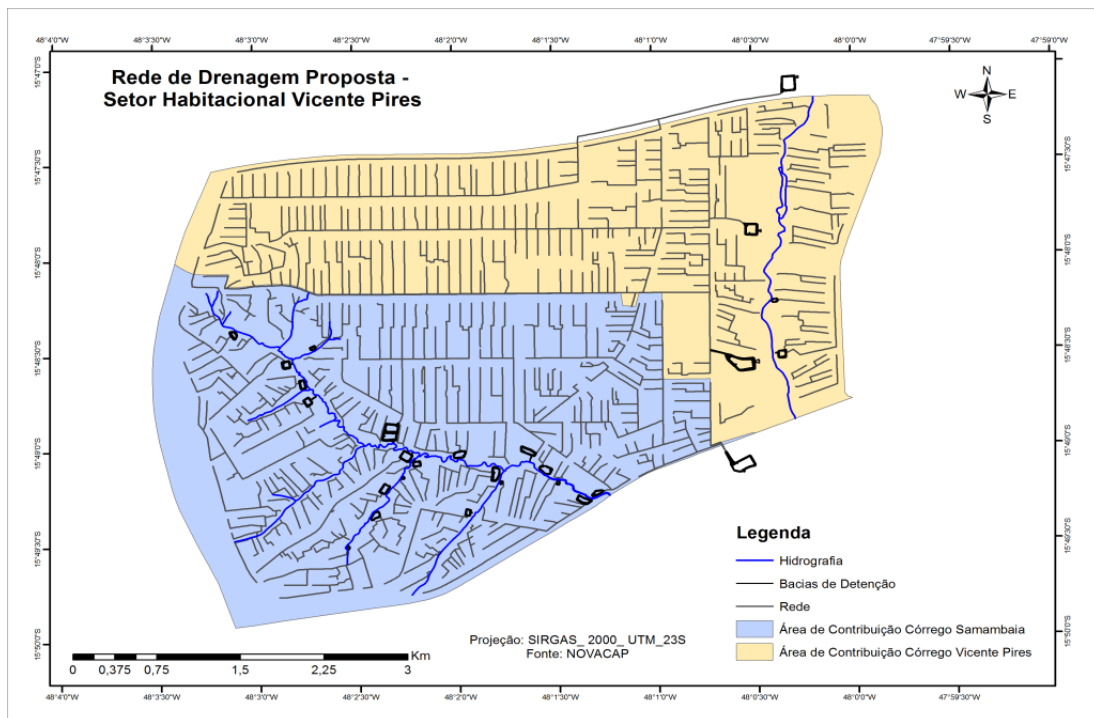


Figura 0.13 Sistema de Drenagem de águas pluviais proposto para o SHVP.  
Fonte: NOVACAP

## ANÁLISE DOS CENÁRIOS

A análise de cenários tornou-se uma ferramenta fundamental para a quantificação dos impactos oriundos da ocupação do solo urbano e sua consequente impermeabilização. Para quantificar esse aumento, foram escolhidas três situações para análise: Pré-urbanização, Início de Urbanização e Urbanizado.

A seguir será apresentado a metodologia aplicada para a caracterização dos cenários de projeto.

### Uso do Solo

O SHVP é uma região com um uso do solo heterogêneo. Para a determinação das diversas ocupações do solo existentes utilizou-se a classificação proposta por Ferrigo (2014). As classes estão distribuídas na Tabela 0.5.

Tabela 0.5 Uso e Ocupação do Solo ( Adaptado de Ferrigo, 2014)

<b>Uso e Ocupação do Solo</b>	<b>Descrição</b>
Áreas Urbanizadas Alta Densidade	Áreas de urbanização que apresentam mais de 70% de impermeabilização.
Áreas Urbanizadas Alta/Média Densidade	Áreas de urbanização que apresentam entre 50 e 70% de impermeabilização.
Áreas Urbanizadas Baixa/Média Densidade	Áreas de urbanização que apresentam entre 30 e 50% de impermeabilização.
Áreas Urbanizadas Baixa Densidade	Áreas de urbanização que apresentam menos de 30% de impermeabilização.
Vias Pavimentadas	Rodovias e vias urbanas que apresentam sua superfície de rolamento com pavimento asfáltico ou de concreto.
Vias não Pavimentadas	Rodovias e vias urbanas que não apresentam sua superfície de rolamento com pavimento asfáltico ou de concreto.
Áreas Preservadas/Cerrado	Áreas de cerrado e cerradão, de vegetação nativa com predomínio de espécies arbustivas e herbáceas, e vegetação nativa de porte arbóreo apresentando dossel contínuo.
Culturas Anuais/ Olericultura	Talhões de plantações de culturas temporárias e de ciclo anual.
Culturas Perenes/ Fruticulturas	Área de cultura de plantas frutíferas, de ciclo perene.
Mata de Galeria	Áreas de vegetação típica ao longo das linhas de drenagem, localizando- se geralmente nos fundos dos vales, não apresentando caducifólia durante a estação seca e que apresenta uma superposição das copas.
Campo Limpo	Áreas com vegetação predominantemente herbáceo arbustiva, com arbustos e subarbustos esparsos e algumas árvores.
Áreas Vegetadas	Áreas de vegetação com altura média do estrato arbóreo entre 10 e 30 m, apresentando uma superposição das copas de modo a fornecer cobertura arbórea de 60 a 100%.
Solo Exposto	Áreas com retirada total da cobertura vegetal, incluindo solos em pousio.
Água/ Pequenos Lagos/ Açudes	Áreas que contém permanentemente uma quantidade variável de água.
Áreas Alagáveis/ Campos de Murundus	Áreas predominadas por murundus e a porção rebaixada topograficamente, predominada por uma vegetação graminóide que sofre influência de inundações periódicas.

A partir dessas classes, foram analisadas as fotografias aéreas do local registradas em 1964, 1991 e 2013, para definir quais eram os usos antes do processo de urbanização (1964), quando foi urbanizada (1991) e após a urbanização já consolidada (2013).

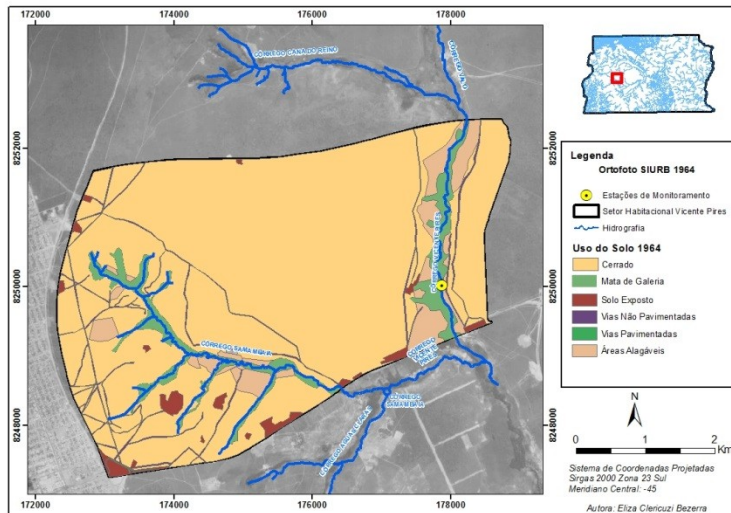


Figura 0.14 Classificação do Uso do Solo no SHVP em 1964

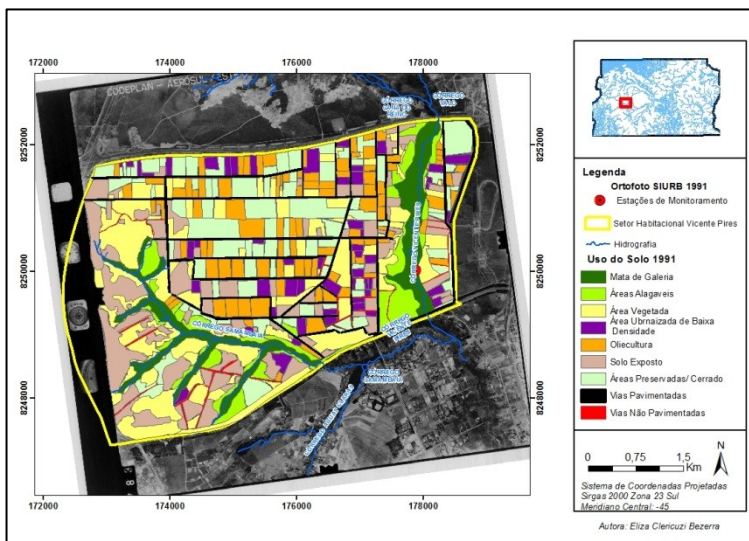


Figura 0.15 Classificação do Uso do Solo no SHVP em 1991

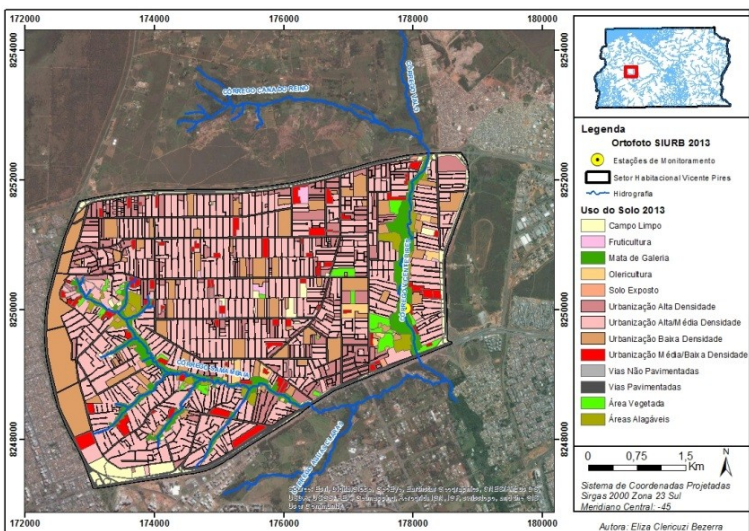


Figura 0.16 Classificação do Uso do Solo do SHVP em 2013



## Opções de Simulação

### Precipitações de Projeto

Devido à ausência de dados fluviográficos para a região de estudo, optou-se por realizar um estudo a partir de duas diferentes chuvas de projeto, uma seguindo as diretrizes para o projeto de drenagem proposto pela Novacap, e outra seguindo as recomendações propostas pelo PDDU.

As duas metodologias utilizam as relações Intensidade-Duração-Frequência ( IDF) para a determinação das precipitações de projeto. Essas curvas fornecem a intensidade da precipitação para qualquer duração e período de retorno. A curva IDF sugerida pela Novacap e utilizada no dimensionamento do sistema da bacia de contribuição do córrego Vicente Pires é apresentada a seguir.

Equação 0.1

Onde:

I: intensidade da precipitação (mm/h);

Tr: tempo de retorno (anos);

t: duração da chuva (min).

Para o dimensionamento da chuva de projeto da Novacap, fez-se necessário o cálculo do tempo de concentração pela fórmula de McCuen, apresentada a seguir.

$$= 2,25^{-0,7164} \times 0,5552 \times -0,207 \times 60 \quad \text{Equação 4.2}$$

Onde:

t = Duração (min);

L = Comprimento da bacia (km);

S = Declividade da bacia (m/m)

O tempo de concentração calculado foi determinado para a sub bacia do Vicente Pires. Com declividade aproximada de 0,01 m/m e comprimento aproximado de 4310 m, o tempo de concentração é igual a 89,52 min. Uma vez determinado o tempo de detenção foi possível calcular a chuva de projeto para um tempo de retorno de 10 anos. A precipitação gerada tem 43,76 mm e é constante. Após a determinação da chuva, sua inserção no

modelo utilizado e a simulação dos cenários, geraram-se os hidrogramas relevantes para a sub-bacia.

A segunda chuva de projeto elaborada irá levar em consideração as premissas utilizadas pelo PDDU. Para isso será adotado uma chuva com duração igual a 24 horas, discretizada em intervalo de tempo de 10 minutos. De acordo com o PDDU, a adoção desse critério possibilita a avaliação dos impactos causados por uma cheia de maior duração, fato importante para verificar o funcionamento de estruturas de amortecimento, como bacias de retenção e reservatórios.

A curva IDF utilizada para uso nos cálculos de drenagem urbana do DF, indicada pelo PDDU é apresentada a seguir.

---

Onde,

I : intensidade de precipitação (mm/h)

Tr: tempo de retorno ( anos)

T: duração da chuva (min)

Utilizou-se o método dos blocos alternados para a ordenação da distribuição temporal do hietograma. A Figura 0.17 apresenta a chuva de projeto elaborada a partir das recomendações do PDDU, considerando, também, um tempo de retorno de 10 anos.

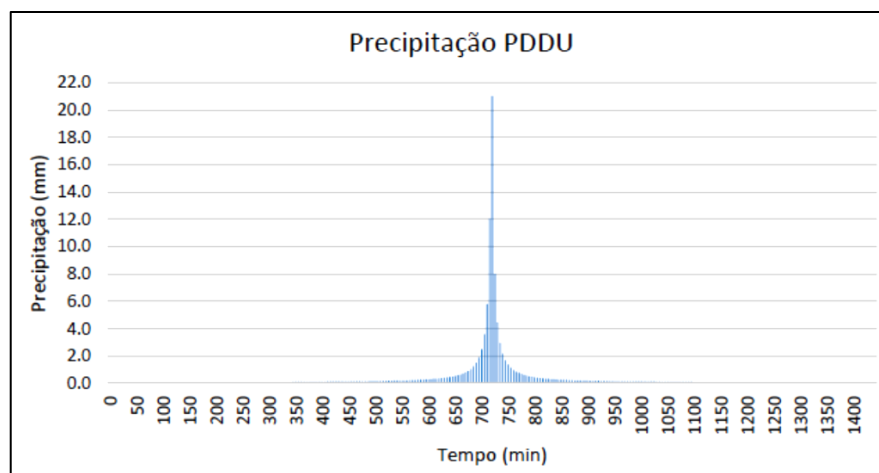


Figura 0.17 Hietograma de Projeto para uma chuva com TR de 10 anos e duração de 24 horas, segundo os critérios do PDDU

## Definição do CN

O CN é a curva número, um índice de escoamento superficial que leva em conta a pedologia da região, o uso e ocupação do solo e as condições antecedentes de umidade. A partir da pedologia se classifica o solo de acordo com o grupo hidrológico que este pertence, a partir da relação entre o grupo hidrológico e o uso do solo se determina o CN. A Tabela 0.6 apresenta os valores atribuídos para cada uso do solo especificado na área de estudo.

Tabela 0.6 Classificação do CN adotado

USO DO SOLO	GRUPO	GRUPO
	HIDROLÓGICO	HIDROLÓGICO
	A	D
Urbanização Alta Densidade	98	98
Urbanização Alta/Média Densidade	77	92
Urbanização Média/Baixa Densidade	61	87
Urbanização Baixa Densidade	57	86
Vias Pavimentadas	98	98
Vias Não Pavimentadas	72	89
Fruticultura	64	88
Olericultura	77	94
Mata de Galeria	26	69
Campo Limpo	49	84
Cerrado	46	84
Áreas Vegetadas	36	76
Solo Exposto	68	89
Áreas Alagáveis	85	85

Fonte: Tucci, 1993

Foram elaborados três mapas de CN para a realização das simulações, o primeiro foi realizado sobre a fotografia aérea de 1964 para determinar as condições de pré-urbanização, o segundo mapa foi criado sobre a fotografia aérea de 1991 e o terceiro sobre a fotografia de 2013, após o processo de urbanização já ter se consolidado sobre a área de estudo. Os mapas criados estão evidenciados a seguir. A Tabela 0.7 mostra a classificação do CN médio da área de estudo para cada uma das simulações.

Tabela 0.7 Classificação do CN médio adotado no ABC6

ANO	CN médio
1964	64
1991	67
2013	83

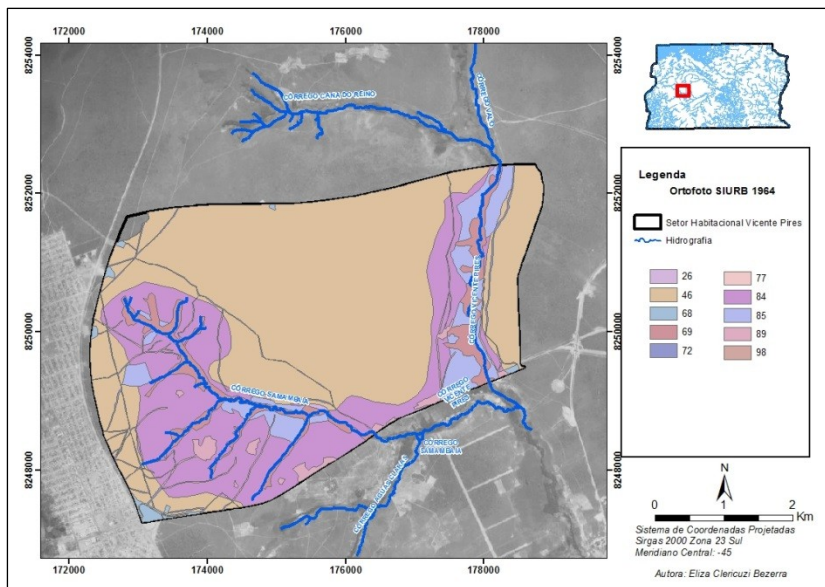


Figura 0.18 Mapa de CN adotado no SHVP em 1964

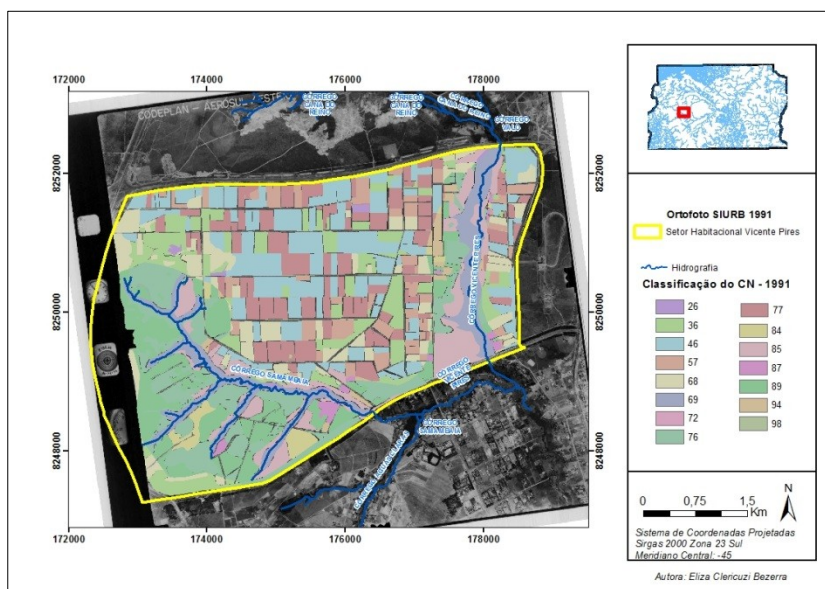


Figura 0.19 Mapa de CN adotado no SHVP em 1991

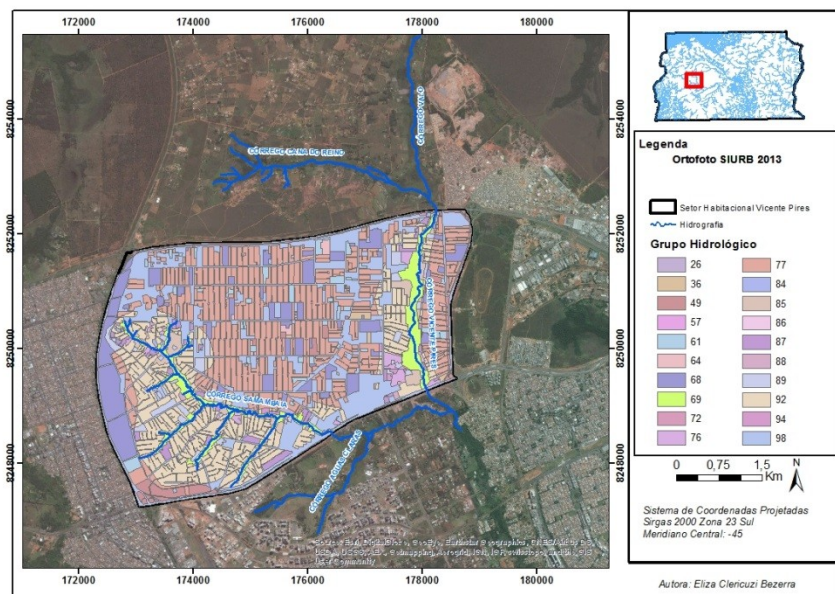


Figura 0.20 Mapa de CN adotado no SHVP em 2013

## Dimensionamento dos Reservatórios pela Resolução N°009/2011

Os reservatórios de quantidade e qualidade são uma exigência tanto do PDDU, quanto da resolução n° 9, de 08 de abril de 2011, para novas redes de drenagem. Como esses reservatórios são aplicados no cenário Urbanizado + rede lançada Novacap + medidas compensatórias, conhecer suas formas de cálculo torna-se importante.

Segundo o Relatório Técnico da Resolução de Águas Pluviais do Distrito Federal (2010), para o cálculo dos reservatórios de quantidade com áreas de contribuição inferiores a 200 hectares, foi ajustada uma curva com correlação de 0,9972% que relaciona o volume necessário da estrutura por unidade de área em função da área impermeável para o tempo de retorno de 10 anos, baseado na Figura 0.21 abaixo.

Área impermeável Ai (%)	Duração Minutos	Volume m³
5	34,4	44,42
10	38,8	62,40
15	43,1	81,41
20	47,2	101,25
25	51,1	121,80
30	55,0	142,95
35	58,7	164,63
40	62,4	186,79
45	66,0	209,37
50	69,5	232,35
55	73,0	255,68
60	76,5	279,3
65	80,0	303,30
70	83,0	327,54
75	86,6	352,05
80	89,9	376,81
85	93,2	401,80
90	96,5	427,02
95	99,7	452,44
100	102,9	478,07

Figura 0.21 - Valores de área impermeável, volume e tempo de duração para o volume

O ajuste é baseado no método racional e apresenta a seguinte formulação:

$$V_{qt} = (4,705 \times A_c) \times A_i \quad \text{Equação 0.2}$$

Onde:

$V_{qt}$  = Volume do Reservatório (m³);

$A_i$  = Porcentagem impermeável da área de contribuição;

$A_c$  = Área de Contribuição (ha).

Os reservatórios de qualidade para áreas de contribuição inferior a 200 hectares são determinados a partir da seguinte fórmula:

$$V_{qt} = (33,8 + 1,8 \times A_c) \times A_i \quad \text{Equação 0.3}$$

Onde:

$V_{ql}$  = Volume do Reservatório ( $m^3$ );

$A_i$  = Porcentagem impermeável da área de contribuição;

$A_c$  = Área de Contribuição (ha).

A vazão de saída dos reservatórios deve ser limitada por:

$$= /86,4 \quad \text{Equação 0.4}$$

Onde:

$Q$  = Vazão de Saída (l/s);

$V_r$  = Volume do Reservatório ( $m^3$ ).

Levando em consideração as equações supracitadas, para efeito de comparação foi dimensionado os reservatórios proposto para o Setor Habitacional Vicente Pires. A Figura 0.22 e Figura 0.23 apresentam as características.

Dados Iniciais:			
Área Total Empreendimento (ha):	1431		
% da área impermeável:	80		
Dimensionamento do Reservatórios			
Volume Res. Qualidade( $m^3$ ):	254431,8	$V_{qa}=(33,8+1,8A_i)A_c$	
Vazão de saída máxima(l/s):	2944,81	$Q=V_{qa}/86,4$	
Volume Res. Quantidade( $m^3$ ):	538628,40	$A<200 \rightarrow V=(4,705A_i)A_c$	
Volume total necessário (qualidade e quantidade) ( $m^3$ )=		793060,20	
Reservatório			
Largura (m)	122,4745		
Profundidade (m)	3		
Comprimento (m)	122,47		15000,00315
Volume ( $m^3$ )	45000,01	Obs: Volum.	0,06 vezes maior que o necessário!

Figura 0.22 - Dimensionamento do Reservatório S24

Dados Iniciais:			
Área Total Empreendimento (ha):	1431		
% da área impermeável:	80		
Dimensionamento do Reservatórios			
Volume Res. Qualidade( $m^3$ ):	254431,8	$V_{qa}=(33,8+1,8A_i)A_c$	
Vazão de saída máxima(l/s):	2944,81	$Q=V_{qa}/86,4$	
Volume Res. Quantidade( $m^3$ ):	538628,40	$A<200 \rightarrow V=(4,705A_i)A_c$	
Volume total necessário (qualidade e quantidade) ( $m^3$ )=		793060,20	
Reservatório			
Largura (m)	63,24555		
Profundidade (m)	2,5		
Comprimento (m)	63,25		4000
Volume ( $m^3$ )	10000,00	Obs: Volum.	0,01 vezes maior que o necessário!

Figura 0.23 Dimensionamento do Reservatório S27

## Resumo dos Cenários

<b>Cenário</b>	<b>Código</b>	<b>ABC</b>	<b>SWMM / PCSWMM</b>	<b>Descrição</b>
Pré-Urbanização	PU_1964	Sim	Sim	Cenário correspondente à área pré-urbanizada, ou seja, com cobertura natural do solo.
Início de Urbanização	IU_1991	Sim	Sim	Cenário caracterizado pelo início da ocupação urbana na região.
Urbanizado	U_2013	Sim	Sim	Cenário correspondente ao setor depois da urbanização consolidada
Urbanizado com rede de drenagem	URd_2013	<b>Não</b>	Sim	Cenário correspondente ao cenário urbanizado acrescido da rede de drenagem detenção previstas no projeto da Novacap.
Urbanizado com rede e medidas compensatórias	URdMc_2013	<b>Não</b>	Sim	Cenário urbanizado com rede de drenagem caracterizado pela implementação de bacias detenção/retenção, de forma a obedecer aos critérios definidos pela ADASA.

## RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos das simulações nos *softwares* ABC e SWMM/PCSWMM para os diferentes cenários de projeto.

### ABC

Conforme definido na metodologia, a simulação foi realizada com duas precipitações de projeto, a primeira chuva utiliza a Equação 4.2, descrita no PDDU- DF e a segunda utiliza o método da Novacap para dimensionamento de redes de drenagem. Após a definição de cada chuva de projeto, essas foram utilizadas no programa ABC 6 e foi analisado a resposta da bacia em estudo, por meio da geração dos hidrogramas para cada cenário. Na figura 5.1 está representado o esquema das unidades hidrográficas no ABC.

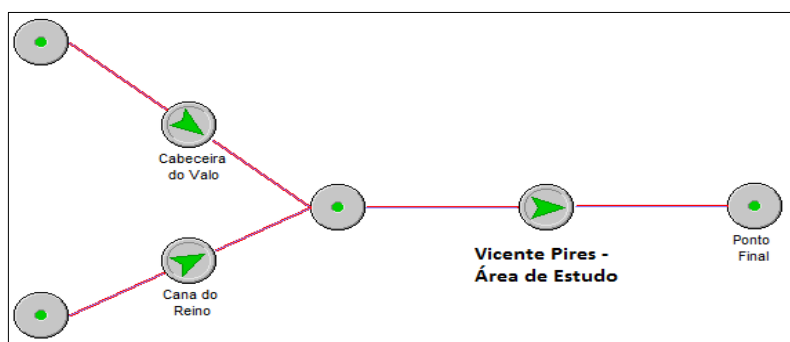


Figura 0.1 Discretização das unidades hidrográficas no modelo ABC.

### Chuva de Projeto PDDU

O PDDU recomenda uma precipitação com 24 horas de duração, conforme descrito no item 0. Essa chuva foi utilizada em todos os cenários simulados para que fosse possível uma comparação entre eles, conforme Figura 0.2.



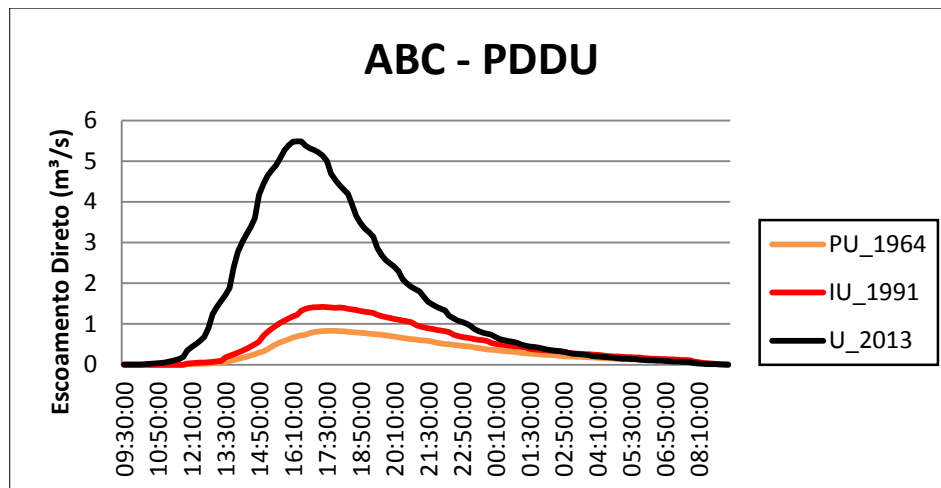


Figura 0.2 Hidrogramas do ABC6 para chuva de projeto do PDDU.

Pela Figura 0.2 percebe-se que a vazão de pico do cenário U\_1991 apresentou aumento, quando comparado com a simulação do PU\_1964, este valor foi de aproximadamente 70 % e houve redução no tempo ao pico de 20 minutos.

Nota-se na Figura 0.2 as diferenças entre os hidrogramas dos cenários simulados, com destaque negativo para o cenário PU\_2013, que possui uma vazão de pico muito acima das outras, a vazão para essa chuva de projeto é aproximadamente 560% a mais que a vazão de pico do cenário PU\_1964. E apresenta uma redução no tempo ao pico de 80 minutos, confirmando que com a urbanização e o consequente aumento da impermeabilização, o hidrograma de cheia torna-se mais crítico.

### Chuva de Projeto Novacap

Para a chuva de projeto utilizando a fórmula da Novacap, conforme descrito no item 0 para análise e/ou dimensionamento dos sistemas de drenagem. Essa chuva foi utilizada em todos os cenários simulados para que fosse possível uma comparação entre eles na Figura 0.3 abaixo.

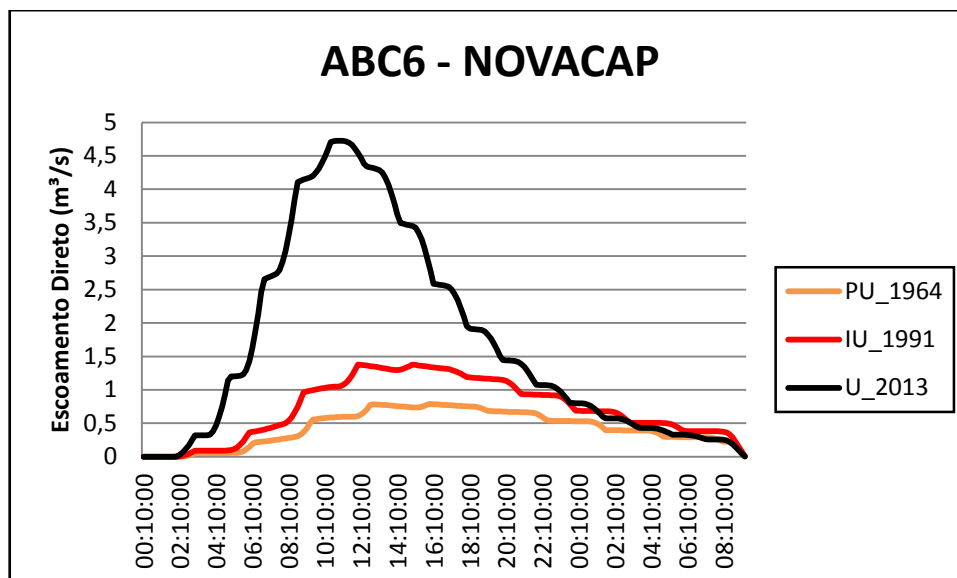


Figura 0.3 Hidrogramas do ABC6 para chuva de projeto da NOVACAP

Nota-se pela Figura 0.3, as diferenças entre os hidrogramas dos cenários simulados, com destaque negativo para o cenário PU\_2013, que possui uma vazão de pico muito acima das outras. A vazão de pico para essa chuva de projeto é aproximadamente 498% a mais que a vazão de pico do cenário PU\_1964. E apresenta uma redução no tempo ao pico de 115 minutos, devido à urbanização. Percebe-se também que a vazão de pico do cenário U\_1991 apresentou aumento, quando comparado com a simulação do PU\_1964, este valor foi de aproximadamente 75 % e houve redução no tempo ao pico de 35 minutos.

A Figura 0.4 apresenta o resumo dos hidrogramas gerados pelo modelo ABC6 para as chuvas de projeto do PDDU e Novacap.

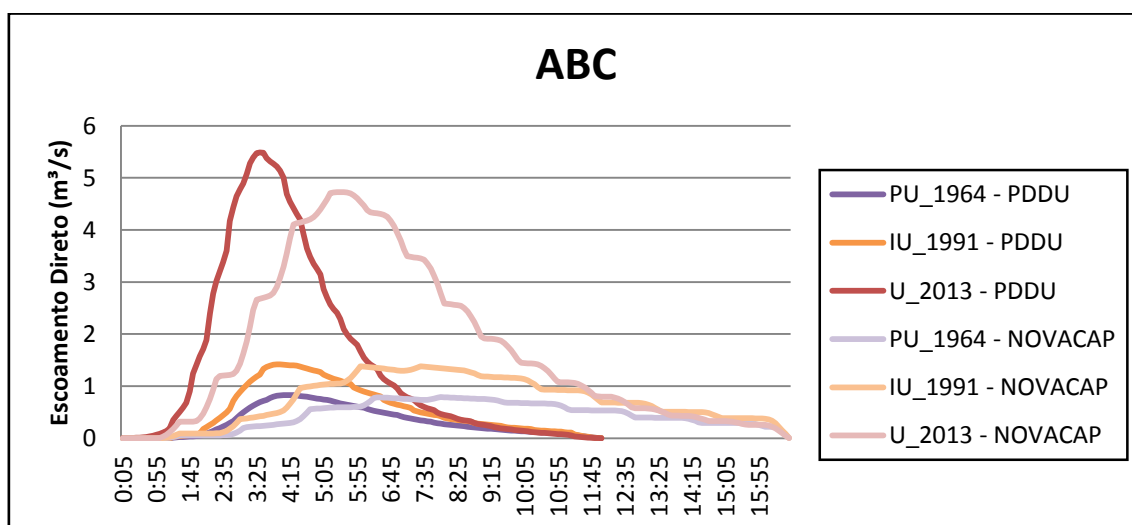


Figura 0.4 - Resumo dos Hidrogramas do ABC 6

É possível notar na Figura 0.4 que as simulações para as chuvas de projeto, os resultados apresentaram valores semelhantes, entretanto a chuva do PDDU mostrou significativa antecipação no tempo ao pico da vazão máxima em todos os cenários de projeto:

- 2:30 para o cenário 2013;
- 4:00 para o cenário 1991;
- 4:35 para o cenário 1964.

E isso foi resultado do tempo de duração dessa chuva, 24 horas, levando a saturação do solo e consequentemente ao aumento do escoamento direto da sub-bacia simulada.

Diante dos parâmetros analisados nas simulações dos cenários de projeto, pode-se inferir que para as chuvas simuladas, PDDU e NOVACAP, nas condições que o ABC6 permite, a diferença nas vazões máximas entre o cenário mais rural (1964) e o urbanizado (2013), foram devido a forma que o modelo atribui valores para o parâmetro CN. O ABC6 não permite com que sejam distribuídos mais de 3 (três) usos do solo para o cálculo do CN, portanto, para que fosse possível realizar a distribuição deste parâmetro foi realizado o cálculo do CN médio. E nessa configuração pode ter considerado mais solos impermeáveis, e com isso maiores valores de vazão.

O CN médio foi obtido por geoprocessamento levando em consideração todos os usos e ocupações da sub bacia simulada, Setor Habitacional Vicente Pires, e também foi necessário utilizar a pedologia do local e atribuir valores para o CN de acordo com o grupo hidrológico e seu respectivo uso do solo.

Outra crítica ao ABC é que os valores atribuídos ao CN são apenas no intervalo de 50 – 99, ignorando as particularidades da unidade hidrográfica, ou seja, considerando como se todas as áreas impermeáveis fossem diretamente conectadas, bem como as permeáveis. E por causa disso o programa não reflete a realidade da infiltração para o cenário PU-1964, que apresenta grande parte a área simulada, classificação com valores de CN 26 e 46, que estão abaixo do intervalo permitido pelo ABC6.

Contudo, o modelo atendeu ao objetivo de quantificar as vazões escoadas nos eventos selecionados, de modo onde foi possível estimar a influência do avanço da urbanização sobre o escoamento superficial, e também mostrar o aumento do índice de áreas impermeáveis sobre a vazão de pico no escoamento superficial e na redução do tempo ao pico após a urbanização.

## SWMM

Da mesma forma que descrito no item 0, foram simuladas no programa PCSWMM as mesmas chuvas de projeto com geração de hidrogramas para cada cenário. A distribuição das bacias e os resultados obtidos são apresentados a seguir, Figura 5.4.

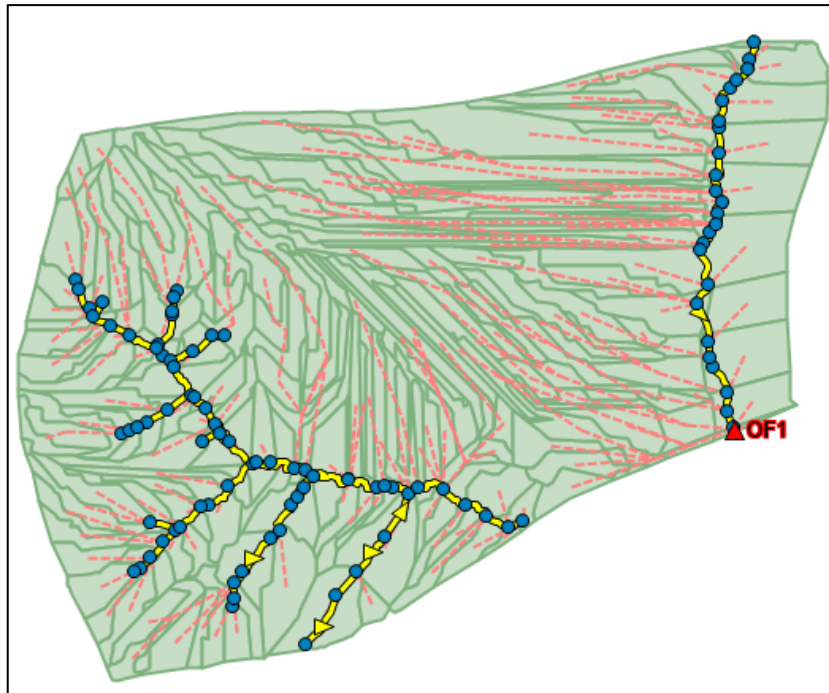


Figura 0.5 Drenagem correspondente no SHVP

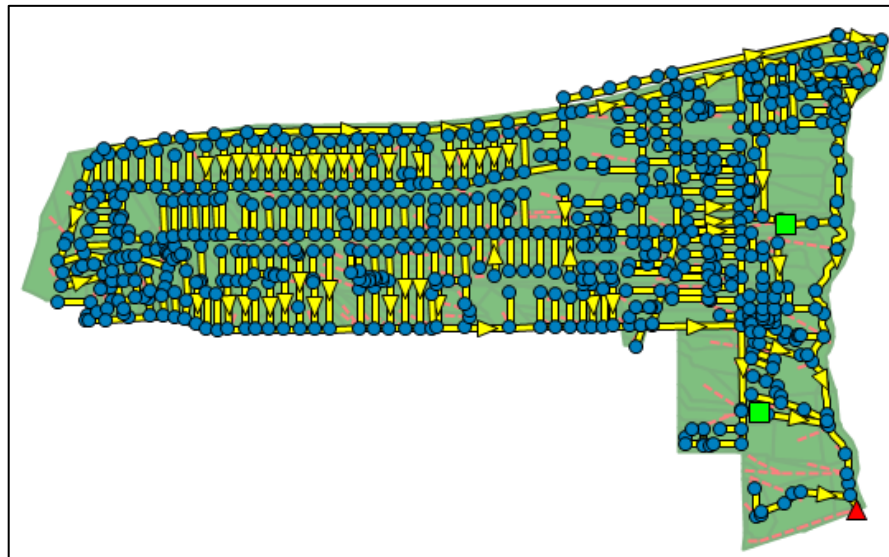


Figura 0.6 Drenagem correspondente aos cenários URd-2013 e URdMc-2013

## Chuva de Projeto PDDU

O PDDU recomenda uma precipitação com 24 horas de duração, conforme descrito no item 0. Essa chuva foi utilizada em todos os cenários simulados para que fosse possível uma comparação entre eles, o resultado no PCSWMM pode ser visualizado na Figura 5.7.

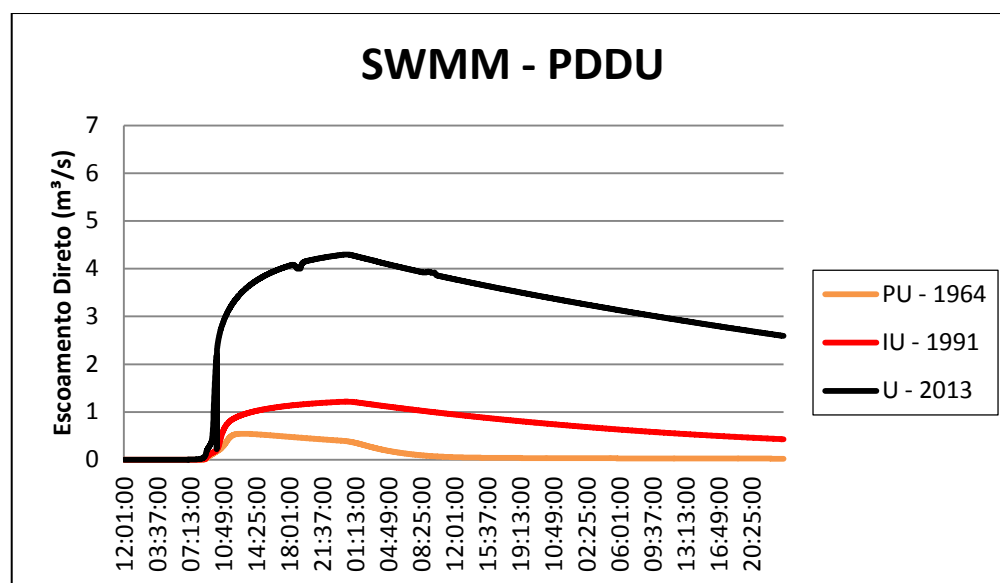


Figura 0.7 Hidrograma do PCSWMM para a chuva de projeto do PDDU no exultório.

Nota-se pelo Figura 0.7 as diferenças entre os hidrogramas dos cenários simulados, com destaque novamente para o cenário PU\_2013, que possui uma vazão de pico muito acima das outras, a vazão para essa chuva de projeto é aproximadamente 795% a mais que a vazão de pico do cenário PU\_1964.

Entretanto, o cenário mais rural (1964) apresentou o tempo ao pico com maior rapidez se comparado com as outras simulações, que pode ter resultado da chuva ser distribuída uniforme sobre a bacia. Por isso, serão comparadas as reduções no tempo ao pico apenas do cenário U – 2013 em relação ao IU – 1991, com o intuito de estimar a influência no avanço da urbanização sobre o escoamento superficial.

Como esperado, a simulação U – 2013 apresenta a redução no tempo ao pico, quando comparado com o cenário IU – 1991 percebe-se uma redução de 30 minutos. O valor da vazão máxima do cenário mais urbanizado (2013) é maior em aproximadamente 354%, se comparado com o cenário de 1991.

## Chuva de Projeto Novacap

A NOVACAP recomenda uma precipitação constante com 90 minutos de duração, conforme descrito no item 0. Essa chuva foi utilizada em todos os cenários simulados para que fosse possível uma comparação entre eles, e os resultados estão na Figura 5.7.

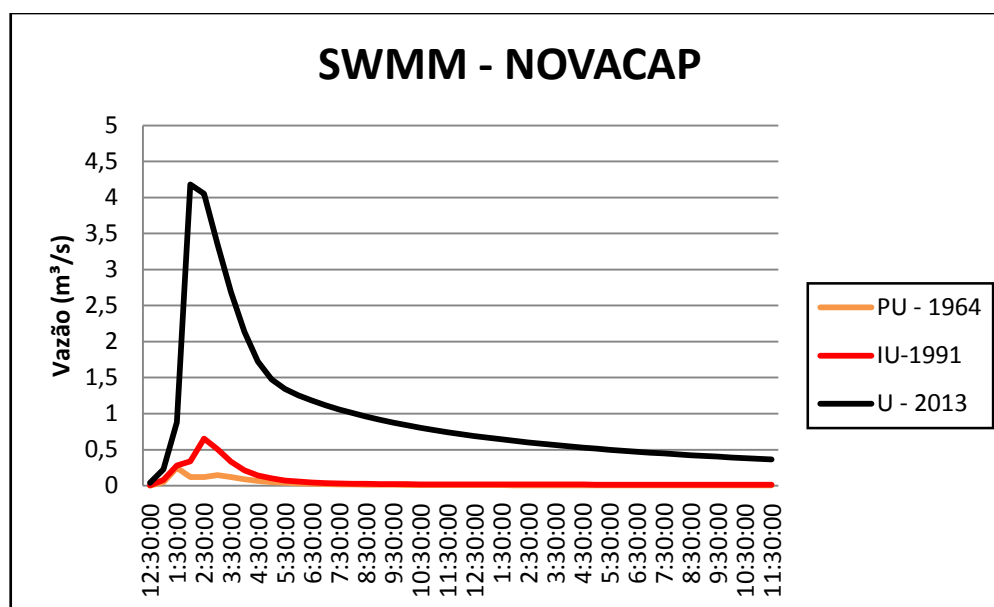


Figura 0.8 Hidrograma do PCSWMM para a chuva de projeto da NOVACAP.

Da mesma forma que ocorreu no ABC6, nota-se pela Figura 0.8 as diferenças entre os hidrogramas dos cenários simulados, com destaque novamente para o cenário U\_2013, que apresenta a vazão de pico muito acima das outras, para essa chuva de projeto a diferença ficou maior que 1000%, se comparada com a vazão de pico do cenário PU\_1964.

Do mesmo modo que ocorreu na simulação da chuva de projeto do PDDU, o cenário mais rural (1964) apresentou o tempo ao pico com maior rapidez se comparado com as outras simulações. Por isso, serão comparadas as reduções no tempo ao pico apenas do cenário U – 2013 em relação ao IU – 1991, com o intuito de estimar a influência no avanço da urbanização sobre o escoamento superficial.

Como esperado, a simulação U – 2013 apresenta a redução no tempo ao pico, quando comparado com o cenário IU – 1991 percebe-se uma redução de 30 minutos. O valor da vazão máxima do cenário mais urbanizado (2013) é maior em aproximadamente 500%, se comparado com o cenário de 1991.

Diferente do item 5.2.1 , o resumo dos hidrogramas para o PCSWMM não foi possível encaixar as duas chuvas, Novacap e PDDU num mesmo hidrograma, pois neste modelo o tempo de simulação difere bastante entre as formulações e ao tentar colocar a mesma duração parte do hidrograma do escoamento superficial direto não é representado

A seguir serão apresentados os hidrogramas obtidos nas simulações do cenário urbanizado com a rede de drenagem e bacias de retenção/detenção propostas pela NOVACAP, para a saída correspondente à margem direita do córrego Vicente Pires.

### **Modelo ABC x Modelo SWMM**

Todos os cenários de projeto já descritos foram simulados sob as mesmas condições de tempo de retorno e chuvas de projeto. Sendo assim, é possível realizar a comparação entre os dois modelos de transformação chuva-vazão.

A forma de apresentação dos resultados do ABC é mais restrita, as análises são feitas de acordo com os dados de entrada inseridos no programa, processados e apresentados posteriormente, sem que o modulador tenha muito controle sobre os parâmetros analisados. Não sendo possível observar a resposta da bacia por um maior tempo, tampouco simular todo o ciclo hidrológico e atribuir os valores reais para o parâmetro que calcula a infiltração.

Já o modelo SWMM dar mais autonomia ao modulador, é possível estender o tempo de simulação para quantos dias desejar, o programa tem interface com outros softwares ( AutoCad e ArcGis), e além de realizar a simulação total do corpo receptor, apresenta resultados de escoamentos laterais, pode gerar resultados de qualidade do corpo hídrico, além de simular todo o ciclo hidrológico.

No geral a grande diferença entre os modelos está na distribuição do parâmetro CN e na forma de distribuição da bacia a ser considerada. O modelo ABC apresenta uma aproximação grosseira destes, enquanto o SWMM realiza a distribuição do CN de forma ponderada pela área de contribuição de cada uso do solo. Por isso, os cenários de 1964 e 1991 ficam muito diferentes entre os programas, apresentando respectivamente diferenças de 54% e 38% para a chuva do PDDU.

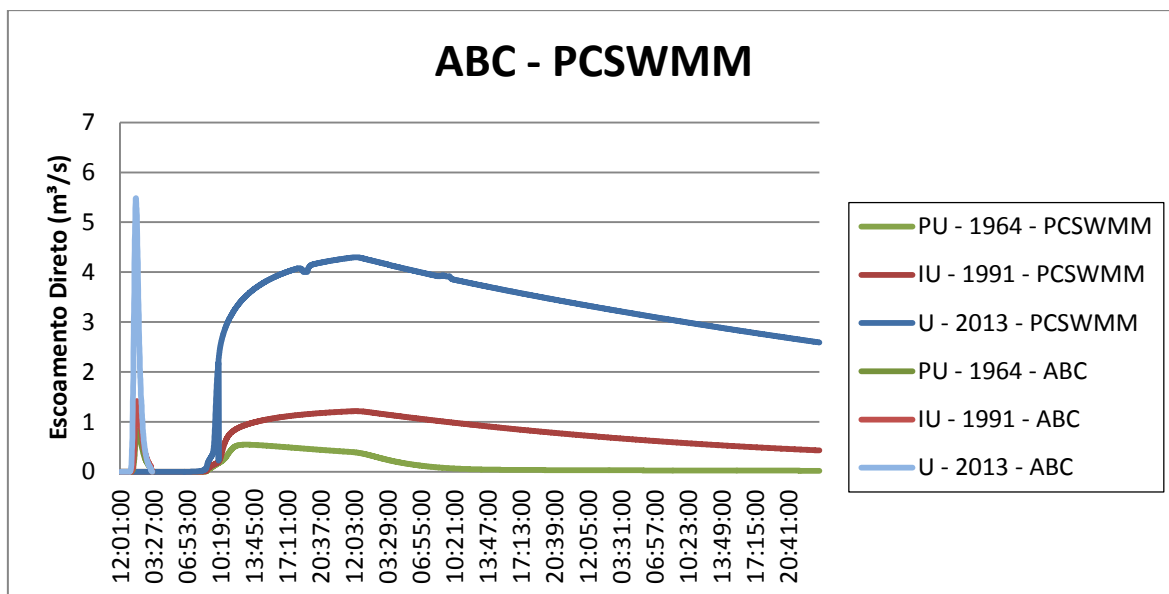


Figura 0.9 - Resumo dos hidrogramas de projeto no ABC e PCSWMM para a chuva do PDDU

Ainda analisando os resultados dos itens 0 e 0 e Figura 0.9 é possível verificar que com relação ao valor máximo do pico, os modelos apresentam similaridade com o avanço da urbanização. E a diferença entre os modelos no cenário mais urbanizado para a chuva de projeto com 24 horas de duração é de 27,5%. Entretanto, ao realizar a análise do tempo ao pico, o ABC apresentou resultados com valores muito antecipados devido a limitação do modelo no tempo de simulação dos cenários, a ascensão e o decaimento do hidrograma de projeto é muito rápida, diferente do PCSWMM, onde é possível verificar o decaimento gradual do escoamento superficial direto.

Contudo, mesmo com particularidades distintas os modelos representaram de forma satisfatória o aumento do hidrograma de cheia devido o crescimento das áreas impermeabilizadas, o SWMM é o modelo mais completo e dar ao modulador informações mais detalhadas para o aperfeiçoamento da simulação e aplicação de melhorias na bacia. Por ser mais robusto o tempo para as análises é maior, sendo mais aplicado e indicado em bacias com áreas de contribuição maiores.

Os resultados também mostraram que em níveis mais simples de gestão, principalmente em pequenas bacias, a modelagem realizada pelo ABC 6 (programa considerado mais empírico) pode auxiliar na rapidez dos resultados, pela facilidade do modelo e consequentemente na tomada de decisões a curto prazo.



## Cenário Urbanizado com Rede de Drenagem SWMM

A Figura 0.6 representa a simulação da rede de drenagem para à margem direita do córrego Vicente Pires. Nessa foi utilizada a chuva de projeto do PDDU, com 24 horas de duração. A Figura 0.10 apresenta o hidrograma da situação sem rede de drenagem e com a rede de drenagem.

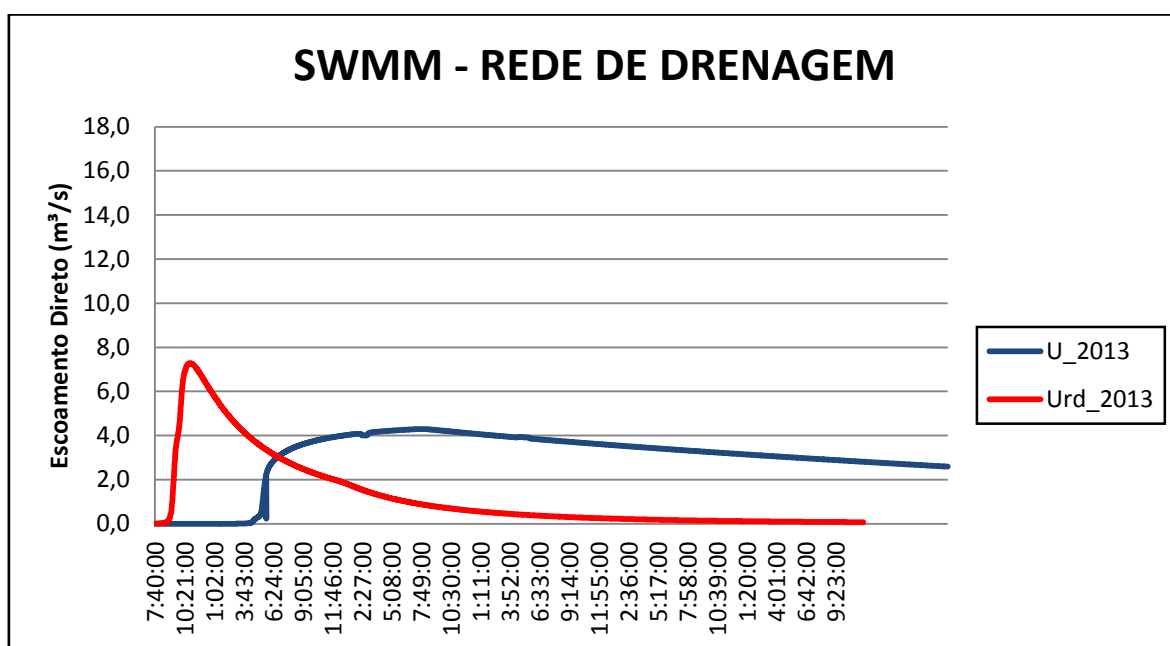


Figura 0.10 Hidrograma do PCSWMM para simulação do Rede de Drenagem com chuva de projeto do PDDU

Com auxílio da Figura 0.10 é possível observar que na simulação com a rede de drenagem do cenário U – 2013 as vazões aumentaram significativamente, visto que a rede torna-se um caminho preferencial para o escoamento e além de acumular maiores volumes, torna as velocidades das águas pluviais maiores. É possível observar que com a implementação da rede proposta para o SHVP o volume escoado aumenta significativamente e que houve a antecipação do tempo ao pico de vazão.

A Figura 0.11 ilustra a situação simulada da rede de drenagem pluvial. Tons mais claros significam condições mais amenas de sobrecarga, enquanto que o azul ilustra condições críticas.

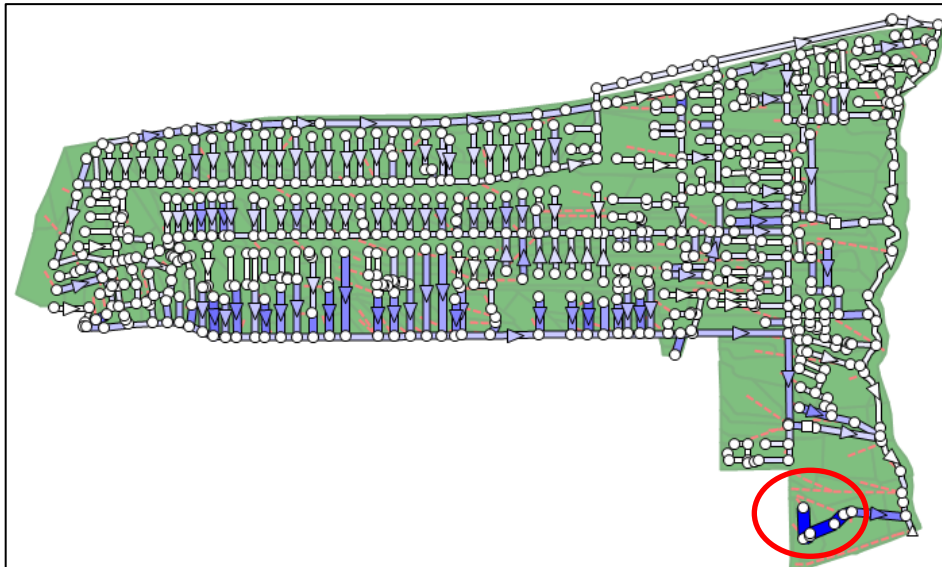


Figura 0.11 Situação da Drenagem para cenário U-2013 para chuva de projeto do PDDU.

Como é possível notar nos condutos que apresentaram condições de sobrecarga (tom de azul), ocorreu o processo de inundação (*flooding*). Esse processo ocorre quando a lâmina d'água em uma junção excede a máxima profundidade disponível, de forma que o excesso de escoamento é então perdido do sistema ou se acumula na superfície, voltando a ser reintroduzido no sistema de drenagem (ROSSMAN, 2010). Na prática, isso representa pontos de alagamento. As Figura 0.12 e Figura 0.13 mostram o perfil do conduto 1762 e a Junção 1865, respectivamente.

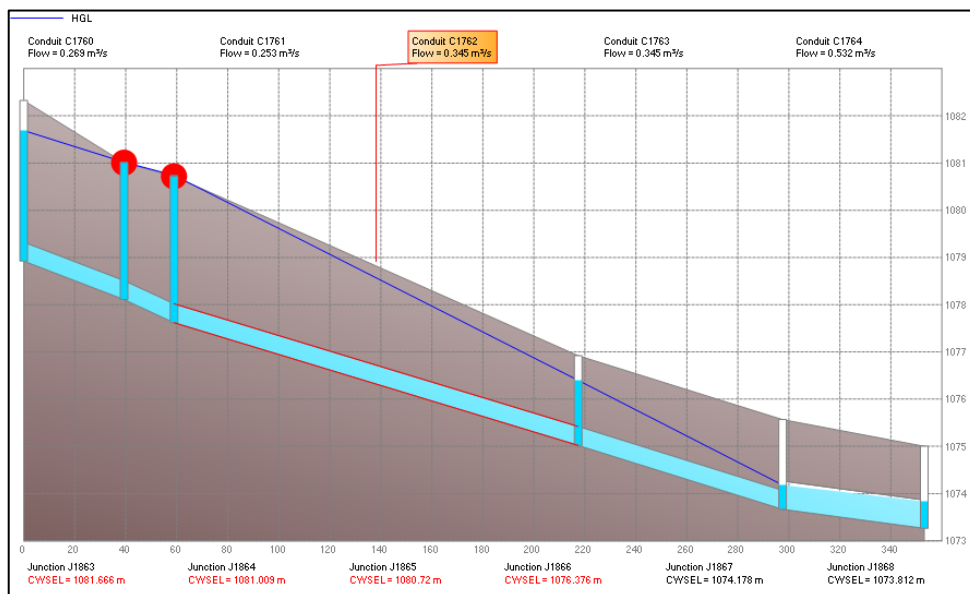


Figura 0.12 Perfil do Conduto 1762.

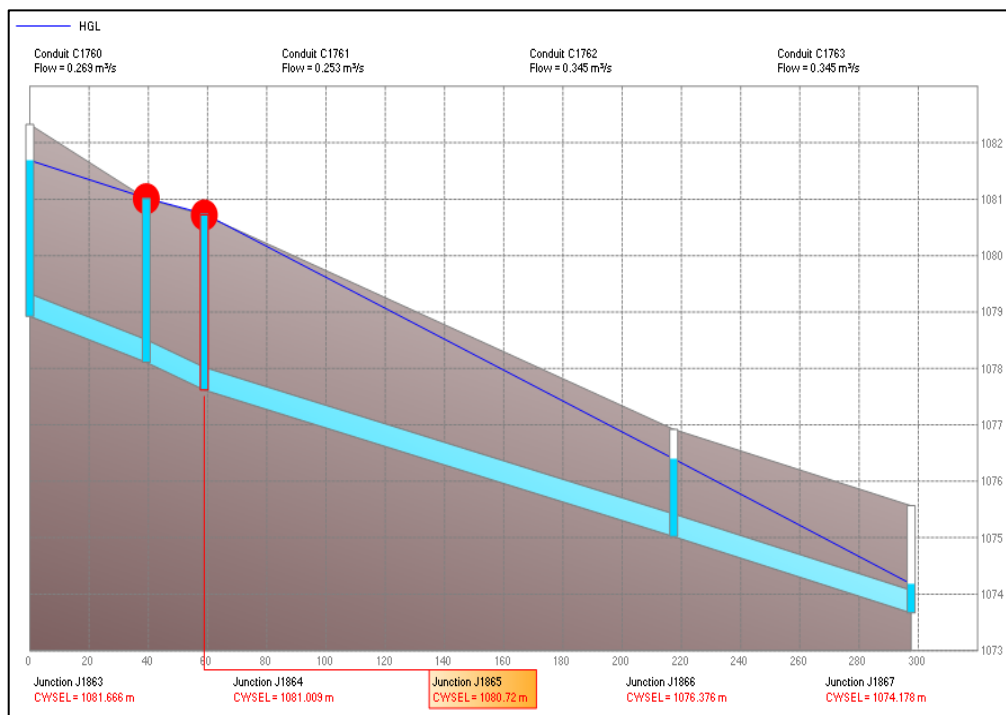


Figura 0.13 Perfil da Junção 1865.

Na Figura 0.13 pode-se notar que há uma mudança moderada na declividade do conduto localizado mais a montante da Junção 1865, e uma mudança leve no conduto a jusante desta que apresenta declividade de 1,64%. O conduto C1761 (montante do conduto) apresenta declividade de 2,49%, enquanto o C1763 (jusante do conduto) tem 1,69%.

É importante salientar que, em função da falta de detalhamento nos projetos, não foram consideradas nas redes os tubos de queda previstos para os PVs, o que certamente alteram as declividades dos trechos.

Neste sentido, pode-se dizer que essa mudança na declividade da rede e o diâmetro dos condutos C1761 e C1762 que é de 400 mm, pode ter provocado à formação de afogamento no interior dos condutos, levando a sobrecarga da rede de drenagem nesse ponto em destaque e em outros pontos da rede com a mesma situação.

## Cenário Urbanizado com Rede de Drenagem e Bacias Propostas pela Novacap

A Figura 0.14 representa a simulação da rede de drenagem para à margem direita do córrego Vicente Pires.



Figura 0.14 Localização das Bacias propostas pela Novacap para o SHVP

A Tabela 0.1 apresenta as características construtivas das bacias consideradas para as simulações no setor pela Novacap.

Tabela 0.1 Dimensionamento das Bacias propostas pela Novacap no SHVP

Características	BACIA 24		BACIA 27	
Localização (latitude/ longitude)	15°47'50.25"S	48° 0'32.66"O	15°48'30.78"S	48° 0'39.12"O
Tipo de bacia	Quantidade		Quantidade	
Área (m <sup>2</sup> )	15.000		4000	
Profundidade (m)	3,0		2,5	
Volume Máximo (m <sup>3</sup> )	45.000		10.000	
Vazão de Saída (l/s)	520,83		115,74	

Para essa simulação foi utilizada a chuva de projeto do PDDU, com 24 horas de duração. A Figura 0.15 apresenta o hidrograma da situação com rede de drenagem e as bacias de retenção/detenção apenas da margem direita do córrego Vicente Pires. Colocar o método do reservatório

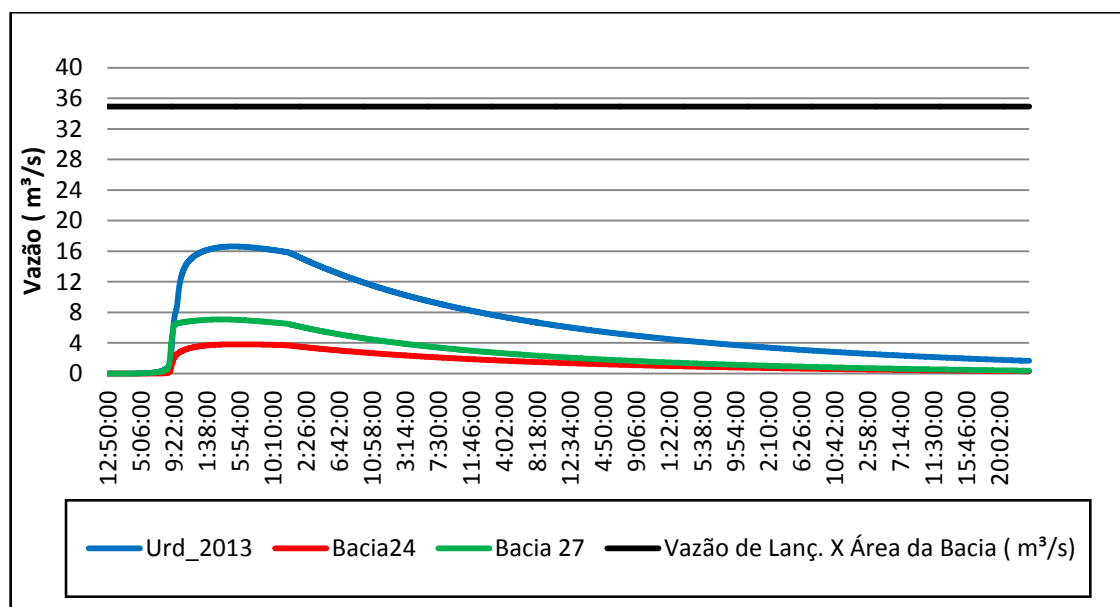


Figura 0.15 Hidrograma do PCSWMM para a simulação do cenário URd-2013 e URdMc-2013 para a chuva de projeto do PDDU.

Na Figura 0.15 observa-se que devido à implantação das bacias houve uma redução da vazão de pico de aproximadamente 65%, se comparar o somatório dos hidrogramas das duas bacias (24 e 27) com o cenário URd-2013.

Outro ponto que merece destaque é a vazão de lançamento da ADASA, descrita no item 0. Analisando os resultados da Figura 0.15 é possível notar que a simulação da margem direita do córrego Vicente Pires atende a vazão máxima de lançamento regulada pela ADASA de 24,4 L/s.ha ou 34,91 m³/s. Ressalta-se que esse valor de lançamento de águas pluviais é único para todo o Distrito Federal e pode não corresponder ao comportamento e/ou capacidade de suporte do córrego em análise.

Os resultados da Figura 0.15 mostram que, mesmo com as bacias implantadas no *software* PCSWMM, para a margem direita do córrego Vicente Pires pode-se observar que a drenagem do SHVP é insustentável.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho buscou-se avaliar o impacto da urbanização nos hidrogramas de cheia para o Setor Habitacional Vicente Pires (SHVP). Para isso, foram realizadas simulações utilizando os programas ABC6 e SWMM para diferentes condições de urbanização e de drenagem urbana. É importante destacar que, devido à ausência de dados fluviográficos para a região, não foi possível realizar a calibração e a verificação dos modelos, sendo essas fases de grande importância para a obtenção de resultados confiáveis. Portanto, sugere-se, para trabalhos futuros, o monitoramento das vazões dos córregos locais do setor, de forma a implementar essas etapas. Porém, ainda assim, foi possível realizar uma análise técnica quanto à drenagem da bacia.

Com base nos resultados, foi possível observar a influência do desenvolvimento da malha urbana nas condições de escoamento superficial, além de ter sido possível comparar as alterações produzidas no hidrograma da bacia devido à introdução ou não de bacias de retenção à rede de drenagem pluvial.

As simulações realizadas no ABC e SWMM confirmaram a tendência esperada para os hidrogramas da região de estudo. Porém, os resultados dos cenários menos urbanizados (1964 e 1991) para o modelo ABC são menos confiáveis, pois o programa não apresenta boa distribuição para o cálculo do CN e seu intervalo de classificação é restrito (50 – 99), por esse motivo foram obtidos resultados maiores do que no modelo SWMM.

Entretanto, para o cenário mais urbanizado os programas responderam de forma satisfatória, mesmo o ABC6 apresentando resultados maiores, para as chuvas de projeto consideradas, a diferença entre os modelos não ultrapassou 30%. E como isso, pode-se concluir que para gestão mais simples e em pequenas bacias urbanas o ABC6 apresenta resultados satisfatórios.

O PCSWMM representou bem o comportamento da bacia em estudo, ocorreu o aumento da vazão de pico com o avanço da urbanização e aumento das áreas impermeáveis. Contudo, para as duas chuvas de projeto, Novacap e PDDU, no cenário de 1964 o tempo ao pico ficou mais rápido se comparado com os cenários de 1991 e 2013, isso pode ser pela chuva ser distribuída em toda a bacia.

Portanto, todas as análises para essa condição (tempo ao pico) foram feitas comparado ao cenário de início da urbanização com o urbanizado para este modelo. E resultou na antecipação do tempo ao pico no cenário mais urbanizado devido ao aumento de áreas impermeáveis.

Nas simulações com a rede de drenagem proposta pela Novacap, foi possível perceber a ocorrência de sobrecarga na rede. Por isso, sugere-se um detalhamento mais completo da rede de drenagem, de forma a corrigir os erros identificados e, assim, avaliar melhor a sua eficiência no controle das inundações do setor. É fundamental a correção das declividades dos trechos, com a inclusão das informações sobre as cotas de montante e jusante da rede em cada PV.

Nas simulações com as bacias para o amortecimento das cheias, na margem direita do córrego Vicente Pires, ficou evidenciado que as duas bacias reduziram os valores do pico do hidrograma de cheia, porém caso fossem implantadas mais medidas de baixo impacto o amortecimento das vazões de pico podem ser mais satisfatórios. Dessa forma, faz-se necessário o estudo e análise da implementação de medidas compensatórias adicionais ao sistema de drenagem pluvial, de maneira a abater ainda mais a vazão de pico, minimizando problemas de inundação, sobrecarga da rede de drenagem e promovendo melhorias na qualidade da água do rio no trecho, principalmente com relação à carga de sedimentos.

Para todos os cenários testados no SWMM, simulações com/sem rede de drenagem e com as bacias propostas pela Novacap e comparada com a vazão de lançamento utilizada no Distrito Federal, 24,4 L/s.ha, todas as simulações levaram a valores dentro do estabelecido pela ADASA. Entretanto, vale destacar que ao aplicar essa vazão regulada de lançamento do DF para a bacia em estudo com 14,31 km<sup>2</sup>, o valor obtido foi de 35 m<sup>3</sup>/s bastante elevado para um córrego das proporções do Vicente Pires. Assim, recomenda-se a que a vazão de lançamento de águas pluviais seja reanalisado, principalmente para pequenas bacias.

Portanto, este trabalho mostrou a influência do processo de urbanização acelerado e sem planejamento sobre a produção de escoamento superficial e, conseqüentemente, sobre os hidrogramas do córrego Vicente Pires, apontando, no sistema de drenagem pluvial, os locais em que há possibilidade de problemas futuros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Resolução nº 09, de 08 de abril de 2011. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados. Disponível em: <adasa.df.gov.br>

ADASA, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Relatório Técnico da Resolução de Águas Pluviais. 2010.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. (2011). Técnicas compensatórias em drenagem urbana. UFRGS/ABRH Porto Alegre-RS, 2ª edição 318 p.

BARROS, H; LICCO, E. A; STOEBER, O. Soluções práticas para retenção de águas pluviais como medida alternativa para mitigação de alagamentos: Um estudo de viabilidade aplicado ao bairro do Boqueirão em Santos/SP – Revista Iniciação Científica, Tecnológica e Artística, vol 4, n. 2, 2014.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8. Ed. Atual. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BIDONE, F; TUCCI, C.E.M., (1995) *Microdrenagem*, apud: TUCCI, C.E.M., 1997 *Água no Meio Urbano*, capítulo 14 de *Água Doce*, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS.

CANHOLI, A. P. 2005. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina dos Textos.

CHRISTOFIDIS, H. DO V. (2010) *Drenagem Urbana Sustentável: Análise do uso do Retrofit*. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.163 p.

COSTA, J ; COSTA, A. POLETO, C. Telhado Verde: Redução e Retardo do Escoamento Superficial REA – Revista de estudos ambientais, v. 14, n. 2esp, p. 50-56, 2012.



COSTA, J; MOREIRA, H. A; SANTOS, E. J; FILHO, A. R; ALMEIDA, V. H; BRITO, A.J; SILVA, T.T.S. Reservatórios para controle de cheias urbanas no distrito federal: cenário atual e avaliação de critérios de dimensionamento. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, Nov 2015;

COSTA, M. E. L.; (2013). *Monitoramento e modelagem das águas da drenagem urbana na bacia do lago Paranoá*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF, 179p.

ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS – SETOR HABITACIONAL VICENTE PIRES. Brasília. 2008. Geológica.

FERRIGO, S. (2014). *Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto – DF*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF, 164p.

GALBETTI, M.V. Comparação dos Modelos Hidrológicos presentes no SSD ABC6 aplicados a uma bacia urbana. Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.

Garcia, J. I. B. (2005). *Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 168p.

GAROTTI, L.M. BARBASSA, A.P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.15, n.1, p. 19-28 janeiro/abril de 2010.

MACEDO, R. L. Estudo Hidrológico da bacia do Rio Negrinho – SC utilizando o HEC-HMS. Projeto de Conclusão em Engenharia Sanitária e Ambiental submetida à Universidade Federal de Santa Catarina. 2010

MACIEL FILHO, C. L. 1997. Introdução à Geologia de Engenharia. Santa Maria, Editora da UFSM; Brasília, CPRM. 2a ed. 283p.

MARTINI, E. A. Aplicação do Modelo Smap para Avaliação de Impactos de Mudanças Climáticas: Um Estudo de Caso para a Bacia de Camargos (MG). Projeto de Graduação Submetido à Escola Politécnica da Universidade Federal Do Rio De Janeiro, 2015.

MARTINS, V. C. D. Avaliação de Sistemas de Prevenção e Contenção de Inundações em Bacia de Drenagem Urbana. 2015. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

NASCIMENTO, N.O; BARBOSA, R.A.L; COSTA, O.V; BAPTISTA, M. B. Relações entre planejamento urbano e planejamento dos sistemas de drenagem: Estudo de caso do Ribeirão Areias em Betim- MG. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012.

NEUMANN, M. R. B. Mapeamento digital de solos, no Distrito Federal. 2012. 110 f. Dissertação de Doutorado submetida ao Departamento de Geociências da Universidade de Brasília. 2012.

NOVACAP - Secretaria de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano. Setor Habitacional Vicente Pires: Projeto de Drenagem Pluvial e Pavimentação. Governo do Distrito Federal - GDF. 2012

NOVACAP. 2012. *Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistema de Drenagem Pluvial*. Companhia Urbanizadora da Nova Capital do País. Brasília/DF.

OLIVEIRA, C. P. M.; PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K; ROBERTO, A. N. (1999). “ABC 6, um sistema de suporte a decisões para análise de cheias em bacias

complexas” in Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Dez. 1999, 1, pp. 56-65.

PORTO, R. L. L. Escoamento superficial direto. In: BARROS, M.T.; TUCCO, C.E.M (Organizadores). Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH, 1995. Cap 4, p 107-165.

PORTO, R.; ZAHED F., K.; TUCCI, C.; BIDONE, F. (2001) Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ ABRH, 2007. 4 ed. 943p

REIS, J.B.C. Monitoramento e Alerta de Inundações no município de Itajubá através de modelos matemáticos. 95p, 2014. Dissertação de Mestrado aprovado pelo Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá.

RIGHETTO, A.M.(coord) (2009) Manejo de águas pluviais urbanas. Rio de Janeiro: ABES. 396 p.

ROSSMAN, L. A. (2010). Storm water management model User's manual Version 5.0. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency. 285p.

SANTOS, L.L. Modelos Hidráulicos e Hidrológicos: Conceitos e Aplicações. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife-PE, Vol.2, n.03, set-dez, 2009, 01-19p.

SECRETARIA DE HABITAÇÃO, REGULARIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO. Projetos de Regularização Fundiária das Áreas de Regularização de Interesse Específico e de Interesse Social do Vicente Pires. Governo do Distrito Federal - GDF. 2013.

SECRETARIA DE HABITAÇÃO, REGULARIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO. GDF. Disponível em: [http://www.sedhab.df.gov.br/mapas\\_sicad/index.htm](http://www.sedhab.df.gov.br/mapas_sicad/index.htm)

SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO. Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: aspectos tecnológicos e fundamentos. Vol 02; São Paulo: SMDU, 2012

SILVEIRA, A.L.L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.10, p 5-23, março 2005.

SILVEIRA, A.L.L. Drenagem Urbana: Aspectos de Gestão. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.

SILVEIRA, G.M. Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos de sua definição indireta. 2010. 244p. Dissertação de Mestrado submetida à Escola Politécnica da universidade de São Paulo, 2012.

SO/DF – Secretaria de Estado de Obras do Distrito Federal. (2008a). *Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal*. V.4, T.01/03, Concremat Engenharia, Brasília, 145p.

SO/DF – Secretaria de Estado de Obras do Distrito Federal. (2009). *Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal*. V.8, T.01/07, Concremat Engenharia, Brasília, 73p.

Souza, F. P. (2014). *Monitoramento e Modelagem Hidrológica da Sub-bacia do Lago Paranoá – Brasília/DF – e Avaliação de Bacias de Detenção*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139p.

Topocart. (2010). Relatório Técnico: Memorial descritivo do projeto de Drenagem Urbana. Brasília, 41p

TUCCI, C.E.M. 2007. Hidrologia: Ciência e Aplicação. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, 4 ed. 943p.

TUCCI, C.E.M. 2007. Inundações Urbanas. Capítulo 1 , Editora da ABRH, 389p.

TUCCI, C.E.M., 1998. Modelos Hidrológicos. ABRH Editora da Universidade, 652p.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C.(2003). Inundações Urbanas na América do Sul.  
Editora: ABRH. Porto Alegre. 156p

U.S.ARMY CORPS OF ENGINEERS. Hec-HMS River Analysis System, 2010.

## ANEXO

### Classificação geotécnica dos solos Universal de Casagrande Simplificada.

Solos Grossos	<b>Seixos</b> 50% ou mais da fração grossa é retida na peneira no 4	Limpos	<b>GW</b>	Seixos e misturas de areia-seixo, bem graduados, com pouco ou nenhum fino.
			<b>GP</b>	Seixos e misturas areia-seixo, mal graduados com pouco ou nenhum fino.
		Com Finos	<b>GM</b>	Seixos com silte e misturas seixo-areia, mal graduadas.
			<b>GC</b>	Seixos com argila e misturas seixo-areia-argila, mal graduadas.
	<b>Areia</b> Mais de 50% da fração grossa passa na peneira no 4 e é retida na peneira 200	Limpa	<b>SW</b>	Areias e areia com seixo, bem graduado, com pouco ou nenhum fino.
			<b>SP</b>	Areias e areias com seixo, mal graduadas, com pouco ou nenhum fino.
		Com finos	<b>SM</b>	Areias argilosas e misturas de areia e silte, mal graduadas.
			<b>SC</b>	Areias argilosas e misturas de areia e argila, mal graduadas.
Solos Finos	<b>Silte e Argilas</b> Com limite de liquidez menor ou igual a 50%	<b>ML</b>	Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó de pedra, areias finas siltosas ou argilosas com baixa plasticidade.	
		<b>CL</b>	Argilas inorgânicas de baixa ou média plasticidade, argilas com seixo argilas arenosas, siltosas e magra.	
		<b>OL</b>	Siltes orgânicos e sua mistura com argilas de baixa plasticidade.	
	<b>Silte e Argilas</b> Com limite de liquidez maior que 50%	<b>MH</b>	Siltes inorgânicos, areias finas ou siltes micáceos ou diatomáceos.	
		<b>OH</b>	Argilas orgânicas de média a alta plasticidade.	
		<b>CH</b>	Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas.	
Solos com muita matéria orgânica		<b>Pt</b>	Turfas e outros solos com muita matéria orgânica.	
Fonte: Maciel Filho (1997, Adaptado)				