

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

**AVALIAÇÃO HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA**  
**DE BACIAS DE DETENÇÃO**  
**ESTUDO DE CASO DA BACIA DO GUARÁ II – DF**

**NICOLE JOHN VOLKEN**

**ORIENTADOR: SERGIO KOIDE, PhD**  
**CO-ORIENTADORA: MARIA ELISA LEITE COSTA**

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

**BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO / 2018**

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

**AVALIAÇÃO HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA  
DE BACIAS DE DETENÇÃO  
ESTUDO DE CASO DA BACIA DO GUARÁ II – DF**

**NICOLE JOHN VOLKEN**

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

**APROVADA POR:**

---

**SERGIO KOIDE, PhD (ENC/UnB)  
(ORIENTADOR)**

---

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES, PhD (ENC/UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**Eng. DAVI NAVARRO DE ALMEIDA  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 06 de dezembro de 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

VOLKEN, NICOLE JOHN

Avaliação hidráulica e hidrológica de bacias de retenção – Estudo de caso da bacia de retenção do Guará II – DF [Distrito Federal] 2018.

vii, 70 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2018)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Bacia de retenção

2. Escoamento Superficial

3. Modelo SWMM

4. Drenagem Urbana

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VOLKEN, N. J. (2018). Avaliação hidráulica e hidrológica de bacias de retenção – Estudo de caso da bacia de retenção do Guará II – DF. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 70 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Nicole John Volken

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação hidráulica e hidrológica de bacias de retenção – Estudo de caso da bacia do Guará II - DF.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2018

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

---

Nicole John Volken

nicolejvolken@gmail.com

70745-100 - Brasília/DF – Brasil

## AGRADECIMENTOS

Meu primeiro agradecimento por chegar até aqui vai para Deus e minha Nossa Senhora, que além de conduzirem meus caminhos para dentro da Universidade de Brasília, me deram a oportunidade de cursar a graduação em Engenharia Ambiental, que claramente eu não sabia onde estava me metendo! Mas que bom que tudo isso aconteceu, pois vejo que toda essa montanha russa que foram esses seis anos e meio me transformaram e me fizeram chegar neste dia cheia de orgulho, emoção e um sorriso bem largo no rosto em concluir essa etapa de minha vida.

Em segundo lugar agradeço imensamente e de todo o meu coração aos meus pais, mãe Adiles e pai Jair, sem o apoio de vocês essa caminhada jamais teria sido possível e realizada de maneira tão maravilhosa! Obrigado por todas as vezes que não me deixaram pular desse barco e me fizeram acreditar que dias melhores viriam. E sim eles chegaram! Quanto a você meu irmão, Gustavo (Nêne), todas as vezes que você bateu na minha porta enquanto eu estudava para me dar sustos estão guardadas na minha memória e pode crê que terão volta! Obrigado por me fazer rir das mais estranhas situações que a UnB me proporcionou, a vida ao seu lado é muito mais divertida! Amo vocês imensamente!

A todos os amigos que a UnB me deu e que levarei no coração, em especial aos componentes do AOA, sem dúvida nenhuma, vocês hoje são merecedores dessa minha conquista! Nas melhores lembranças vocês estão presentes, sendo nos dias de glória do RU gourmet, nos dias de pizza, aniversários surpresas, festas, viagens, barzinhos ou mesmo e principalmente quando nos encontrávamos na minha casa para rir das músicas que cada um escolhia para tocar na TV. Espero não deixarmos essa tradição morrer.

Quero agradecer imensamente a todos os professores no ENC que ao longo desses anos não apenas me ensinaram novas matérias, mas também novas maneiras de enxergar o mundo e me apresentaram os desafios que esperam a vida de uma engenheira ambiental. Quero agradecer em especial ao meu orientador de projeto final, Sergio Koide, por toda aprendizagem ao longo desse ano e emendando, agradecer também a minha co-orientadora Maria Elisa por toda paciência e disponibilidade. Fica aqui um agradecimento especial às meninas do grupo de orientandas que tiraram minhas dúvidas e me fizeram rir do desespero nessa etapa final, vocês são dez! Agradeço ainda a CHIWATER pela licença do programa PCSWMM.

Agradeço a todos que me deram oportunidade de aprender botando a mão na massa, em especial as pessoas com quem trabalhei na ANA e na Itaipu Binacional. Gostaria muito de voltar a trabalhar com vocês! E não poderia deixar de agradecer a Flua Consultoria Ambiental, fazer parte desse time é incrível!

Por fim, agradeço a todos que passaram por minha vida e que, direta ou indiretamente, me ajudaram a chegar até aqui!

## RESUMO

A urbanização dos espaços acaba por alterar o uso e ocupação do solo, geralmente removendo a vegetação nativa e promovendo sua impermeabilização, diminuindo assim a capacidade de infiltração do solo e aumentando o escoamento superficial. O Brasil, de modo geral, apresenta um sistema de drenagem urbana com visão higienista, que muitas vezes acaba transferindo os problemas para jusante, além disso, sistemas de drenagem defasados tendem a gerar áreas de alagamento nas cidades, causando problemas, como transtorno no trânsito, danos a patrimônios públicos e privados e disseminação de doenças. As medidas alternativas de controle do escoamento surgem para tentar solucionar esses problemas e tendem a favorecer a infiltração da água na fonte de geração ou promover o armazenamento temporário, como no caso das bacias de retenção. Este projeto buscou avaliar hidrológica e hidráulica a bacia de retenção localizada na Região Administrativa do Guará II – DF, que está em atuação desde o ano de 2007 e anteriormente já foi uma lagoa de estabilização utilizada para tratamento de esgoto pela CAESB. A sua rede de drenagem abrange as áreas do Cruzeiro Velho, Cruzeiro Novo, Octogonal, Setor de Abastecimento e Indústrias e parte do Setor Policial Sul. Foi utilizado o modelo PCSWMM para análise da rede de drenagem do comportamento e a bacia de retenção frente a diferentes eventos de chuvas de projeto constantes e variáveis no tempo. Verificou-se que a rede de drenagem possui pontos de alagamentos e que a vazão de escoamento é muito elevada, constatando a necessidade da utilização de uma bacia de retenção. Para o reservatório de retenção, a modelagem apresentou um amortecimento dos picos de cheia acima de 94% em todas as análises e atendimento da Resolução nº 9/2011 da Adasa. A elevada capacidade volumétrica da bacia de retenção faz com que nas condições simuladas o vertedor apenas extravase para chuvas de projeto com tempos de retorno superiores a 290 anos.

**Palavras-chave:** Drenagem urbana; bacia de retenção; escoamento superficial; modelagem SWMM.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	xii
1	14
2	17
2.1	17
2.2	17
3	18
3.1	18
3.2	20
3.2.1	24
3.2.2	29
3.2.3	31
3.3	34
3.3.1	36
4	40
4.1	41
4.1.1	41
4.1.2	44
4.1.3	45
4.1.4	48
4.1.5	49
4.2	53
4.2.1	53
4.2.2	56
4.2.3	58
5	59
5.1	59
5.1.1	63
5.2	68
5.2.1	68
5.2.2	74



6 79

7 81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1- Balanço hídrico (Schueler, 1987).	6
Figura 3.2– Escoamento pré e pós-urbanização (Schueler, 1987).	7
Figura 3.3 – Esquema operacional do sistema de drenagem (Adasa, 2018, modificado).	9
Figura 3.4 - Hidrograma com medidas de controle do escoamento (Adasa, 2018).	12
Figura 3.5– Disposição dos reservatórios.	19
Figura 3.6 – Bacia de retenção típica (Righetto, 2009, modificado).	20
Figura 3.7 - Processamento das categorias pelo modelo SWMM (Rossman, 2016, modificado).	25
Figura 4.1 – Fluxograma geral da metodologia.	27
Figura 4.2 – Localização da área de estudo em relação as bacias hidrográficas do DF.	28
Figura 4.3 - Área de contribuição da drenagem para a bacia de retenção do Guará.	29
Figura 4.4 – Mapa de uso e ocupação do solo.	33
Figura 4.5 – Série histórica da precipitação acumulada (mm) registrada na Estação Meteorológica de Brasília (INMET, 2018).	35
Figura 4.6 – Bacia hidrográfica do Riacho Fundo (esquerda) e enfoque na bacia de retenção do Guará (direita) (Paula, 2018).	36
Figura 4.7 – Área da bacia de retenção, sendo: a) antiga lagoa de estabilização da CAESB em 1991; b) atual bacia de retenção em 2018; c) vista superior.	37
Figura 4.8 - Bacia de retenção durante época de seca: área da bacia; vertedor; orifício de saída.	38
Figura 4.9 – Fotos da bacia de retenção do Guará: galeria de entrada; área alagada após chuva; vertedor; orifício de saída.	38
Figura 4.10 - Fluxograma da modelagem da rede de drenagem no programa PCSWMM.	40
Figura 4.11 – Exemplo de áreas de contribuição e direções de fluxo para outras área de contribuição ou PV: a) Área do Cruzeiro Velho; b) Área do Cruzeiro Novo.	40
Figura 4.12 – Hietograma da chuva de projeto: PDDU com tempo de retorno (Tr) de 10 anos e duração de 24 horas.	41
Figura 4.13 - Fluxograma para chuva de projeto do PDDU (2009) e Tr de 10 anos.	43
5.1- Rede de drenagem que direciona a água pluvial para a bacia de retenção em estudo, modelada no PCSWMM.	47
Figura 5.2 – Variação dos valores de CN para cada uma das áreas de contribuição.	48

Figura 5.3 – Vazão final da rede de drenagem, modelada a partir da curva IDF do PDDU, tempo de retorno de 10 anos e duração de 24 horas.	50
Figura 5.4 – Poços de visita em que acontece alagamentos, classificado pelo período de tempo pelo qual o fenômeno se mantém.	51
Figura 5.5 - Condutos da rede de drenagem. A esquerda um conduto da região da Octogonal e a direita um conduto localizado no SIA.	53
Figura 5.6 - Vazão afluyente e efluente à bacia de detenção do Guará.	54
Figura 5.7 - Perfil da rede de drenagem afluyente e efluente a bacia de detenção, circulada em vermelho.	55
Figura 5.8 – Volume armazenado na bacia de detenção para Tr de 10 anos e duração de 24h.	56
Figura 5.9 - Vazão de saída e altura que a água atinge dentro do orifício de saída.	57
Figura 5.10 - Tempo de retorno associado ao máximo volume da bacia de detenção.	57
Figura 5.11 - Vista superior da bacia de detenção com grande presença de água próxima ao vertedor.	59
Figura 5.12 – Vazão de afluyente e efluente a bacia de detenção para chuva de 102 mim.	60
Figura 5.13 – Vazão afluyente e efluente à bacia de detenção para duração de 204 mim.	61
Figura 5.14 – Comparação entre funcionamento do orifício de saída.	62
Figura 5.15 - Comparação entre os volumes armazenados.	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1– Principais características dos dispositivos de controle de escoamento (Adasa, 2018; GDF, 2009b, modificado).	13
Tabela 3.2 - Dispositivos de controle de escoamento (Adasa 2018, modificado).	15
Tabela 3.3 – Principais características, vantagens e desvantagens dos dispositivos de controle do escoamento (ADASA ,2018; GDF ,2009; Azzout et al.,1994, modificado).	16
Tabela 4.1 - Tipo de solo segundo classificação (Tucci, 1995).	31
Tabela 4.2 - Classificação do uso e ocupação da área de contribuição da rede de drenagem da bacia de detenção. Apresentando o valor de CN (Tucci,1995 modificado).	32
Tabela 4.3 - Faixa de CN para utilizada para lotes residenciais (Tucci, 1995).	32
Tabela 4.4 - Porcentagem dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo encontrado na área de contribuição da rede de drenagem.	34
Tabela 4.5 – Parâmetros do projeto original da bacia de detenção do Guará (ArKIS, 2005).	43
Tabela 5.1 - Características gerais da rede de drenagem da bacia de detenção.	45
Tabela 5.2 – Tempo de concentração da bacia de contribuição da rede de drenagem.	46
Tabela 5.3 - Porcentagem dos valores de CN para a área da rede de drenagem.	49
Tabela 5.4 - Dados gerais da rede de drenagem com enfoque no acontecimento de alagamentos em PVs.	52
Tabela 5.5 - Valores da vazão afluyente e efluente a bacia de detenção do Guará.	55
Tabela 5.6 - Volumes para diferentes tempo de retorno em comparação ao volume da bacia de detenção e altura de lâmina d'água alcançada.	58

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

ANA – Agência Nacional de Águas

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

DF – Distrito Federal

DQO – Demanda química de oxigênio

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio

GDF – Governo do Distrito Federal

h – horas

ha – hectares

m – metros

m<sup>3</sup> – metros cúbicos

L – litros

LID – *Low Impact Development*

km<sup>2</sup> - quilômetros quadrados

NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil

PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

PDOT – Plano Diretor de Ordenamento Territorial

PV – Ponto de Visita

s - segundos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento

SWMM – *Storm Water Management Mode*

# 1 INTRODUÇÃO

O deflúvio é causado pelas precipitações e pode ser dividido em escoamento de base e escoamento direto. O escoamento de base é responsável pelo nível mínimo de manutenção dos corpos hídricos, sendo o principal contribuinte nos períodos de estiagem, e que provém da infiltração da água no solo, enquanto que o escoamento direto, onde a água se dirige aos mananciais pela superfície do solo, é responsável pelos picos de vazão observados nos corpos hídricos após a precipitação (Righetto, 2009).

A urbanização normalmente altera as condições de escoamento de base, uma vez que em geral tem como característica a remoção da vegetação nativa, alteração do uso do solo, ocupação de áreas de várzea, além de causar a impermeabilização do terreno, isso tudo colabora para a diminuição da quantidade de água infiltrada no solo e retida pela vegetação, aumentando consideravelmente o volume de água escoada superficialmente.

A alteração das características hidrológicas da região causa impactos no ambiente como áreas de inundação, erosão do solo, danos a patrimônios públicos e privados, problemas sociais, e ainda os impactos no corpo receptor que acaba recebendo um pico de vazão muito superior ao de pré-urbanização, além das cargas de poluentes que são carreados das vias, como graxas e óleos, sedimentos e resíduos sólidos (Tucci, 2008; Canholi, 2005).

Diante da necessidade de conduzir a água para longe das áreas urbanas o mais depressa possível, surgiu o sistema de drenagem urbana em sua visão tradicional, constituída pelas redes de drenagem. Entretanto, tais medidas estruturais acabam por transferir o problema para jusante (Tucci, 2005). Como alternativa, surgiram os dispositivos alternativos de controle do escoamento que podem possuir características muito variadas, mas que têm como principal objetivo o armazenamento da água ou sua infiltração no solo, buscando alcançar as características hidrológicas pré-urbanização.

A bacia de retenção é uma alternativa para amortecimento de ondas de cheia causadas pela urbanização e impermeabilização do solo e também podem contribuir para melhoramento da qualidade da água drenada (Baptista *et al.*, 2005). Consistem em uma medida estrutural que retém temporariamente a água coletada nas redes de drenagem e geram uma vazão efluente menor que a vazão afluyente, de modo que, ao final do processo encontra-se seca até que venha a ocorrer outro evento de precipitação (Adasa, 2018).

No Distrito Federal segundo a Resolução n.º 9/2011 da Adasa, recomenda-se o uso de bacias de retenção frente à necessidade de melhoramento quantitativo e qualitativo das águas drenadas quando não for possível a utilização de medidas de controle na fonte, sendo esse um dos motivos da utilização das bacias de retenção no território do DF (Adasa, 2011).

A utilização de modelagem computacional para entendimento e dimensionamentos dos sistemas de drenagem tem se mostrado indispensável, uma vez que facilita o entendimento de seu funcionamento e é possível a definição de cenários que visam à compreensão da resposta do sistema a diferentes variáveis, como a mudança da ocupação e uso do solo, diferentes precipitações e a variações da qualidade da água escoada, melhorando a identificação dos impactos gerados (Tucci, 1998). O SWMM consiste em um modelo computacional capaz de simular diversas características ambientais relacionadas às águas urbanas, levando em consideração a quantidade e a qualidade da água drenada, realizando uma avaliação hidráulico-hidrológica dos sistemas de drenagem urbana em um único evento ou em períodos contínuos (Righetto, 2009).

Nesse sentido, o presente estudo buscou avaliar o desempenho da bacia de retenção situada na Região Administrativa do Guará – DF e sua respectiva rede de drenagem que abrange áreas do Cruzeiro Velho, Cruzeiro Novo, Octogonal, Setor de Abastecimento e Indústria e parte do Setor Policial Sul, uma vez que se encontra em funcionamento há mais de dez anos e durante esse período não foi realizado nenhum estudo sobre seu comportamento.

Assim, procurando-se verificar sua capacidade de armazenamento temporário da água pluvial, levando em consideração parâmetros quantitativos, como a vazão afluente e efluente da bacia e seu volume de armazenamento, avaliou-se o comportamento da bacia de retenção em situações de chuva modelada pelo método de blocos alternados, utilizando a curva chave adotada pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana (2009), e também sua resposta para chuvas lâmina d'água precipitada por minuto constante, com tempo de duração igual ao tempo de concentração da rede de drenagem. O modelo de simulação hidráulico-hidrológico SWMM foi utilizado considerando apenas a configuração do projeto original da bacia de retenção.

Este documento está estruturado em sete capítulos. O Capítulo 1 consiste na Introdução, enquanto que o Capítulo 2 apresenta os objetivos gerais e específicos do presente estudo. O Capítulo 3 é referente à fundamentação teórica e revisão bibliográfica, apresentando uma abordagem sobre as águas urbanas e seu sistema de drenagem, mostra ainda uma visão geral sobre os dispositivos de controle de escoamento, e dando uma ênfase às bacias de retenção,

que são o objeto principal de estudo deste trabalho. Também é abordada a importância da modelagem computacional dos sistemas hidrológicos e hidráulicos, apresentando o modelo *Storm Water Management Model* – SWMM e sua aplicação para verificação do funcionamento das redes de drenagem e das bacias de retenção. O Capítulo 4 consiste na apresentação da metodologia a ser abordada para efeito de alcançar os resultados nesse estudo, com enfoque na caracterização da área de estudo e na modelagem que foi realizada no SWMM. O Capítulo 5 contém os resultados e a discussão referentes à abordagem metodológica utilizada, focando na rede de drenagem e no funcionamento da bacia de retenção. No Capítulo 6 é apresentada a conclusão sobre o estudo. A referência bibliográfica se encontra no Capítulo 7.



## **2 OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o comportamento da bacia de retenção localizada no Parque Ezequias Heringer, do Guará II – DF, levando em considera aspectos quantitativos para analisar a capacidade de amortecimento das ondas de cheia causadas pela urbaniza da rea.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Com propósito de alcançar o objetivo geral, foram delimitados os seguintes objetivos específicos:

- Comparar os parâmetros do projeto original da bacia de reteno e sua rede de drenagem aos parâmetros preconizados pelo PDDU do DF, buscando identificar suas diferenças.
- Verificar a capacidade de amortecimento dos picos de vazão, aplicando o modelo SWMM para diferentes eventos de chuvas de projeto constante e variáveis no tempo.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

As diferentes características de clima da região, tipo de vegetação, relevo, solo, afetam diretamente o comportamento do deflúvio de uma bacia hidrográfica. O deflúvio causado pela precipitação pode compor tanto o escoamento de base, que é causado pela infiltração da água no solo e que mantém os corpos d'água com vazão ao decorrer do ano, mesmo em períodos de estiagem, quanto pelo escoamento direto que é aquele no qual a água se dirige para os corpos hídricos pela superfície. A urbanização altera as características de uso e ocupação do solo, principalmente com sua impermeabilização, aumentando o escoamento direto e diminuindo a infiltração, causando impactos como os alagamentos (Righetto, 2009).

Faz-se necessário o estudo do comportamento das águas urbanas visando à diminuição dos impactos causados pela urbanização. O sistema de drenagem faz parte do conjunto de serviços de saneamento básico, e é composto por medidas de controle do escoamento, dentre elas as bacias de retenção têm apresentado grande importância para controle quantitativo e qualitativo das águas de drenagem urbana.

#### **3.1 ÁGUAS URBANAS**

A urbanização consiste no crescimento das cidades, tanto em termos de população quanto em extensão territorial. Existem instrumentos que podem ser utilizados para o ordenamento do território, zoneando os espaços em busca da minimização dos impactos gerados pela expansão das cidades. Entretanto, a maioria das cidades não possui tais instrumentos.

É muito comum que a urbanização aconteça de forma desordenada, ou seja, sem controle das áreas que se tornam urbanas, onde os impactos ambientais provocados são mais acentuados. Esse tipo de urbanização acaba muitas vezes sendo caracterizada pela ocupação ilegal de áreas, gerando zonas periféricas que não são atendidas pelos serviços básicos de saneamento, consequentemente as pessoas que ali vivem têm a qualidade de vida afetada negativamente.

Dentre os impactos gerados pelo processo de urbanização está a remoção da cobertura vegetal diminuindo a capacidade de infiltração e retardamento da água da chuva, os impactos sobre a fauna local, a modificação do relevo natural, muitas vezes com a remoção de colinas ou aterramento de pequenos córregos, modificação dos cursos de rios pelo processo de retificação, além da ocupação de áreas naturais de várzeas que posteriormente acabam sofrendo alagamentos naturais e enchentes causadas pela impermeabilização do solo (Canholi,

2005). Pedrosa (1996) ainda ressalta que, após as enchentes em áreas urbanas, é comum a proliferação de doenças de veiculação hídrica.

A ação antrópica sobre o ambiente, visível quando acontece a urbanização, traz impactos significativos sobre o ciclo hidrológico que muitas vezes são irreversíveis e que afetam não só a natureza como também o homem (Tucci, 2005). O balanço hídrico em áreas que sofrem mudanças antrópicas se torna mais complexo para entendimento e avaliação, uma vez que é imprescindível levar em consideração as necessidades de utilização da água na região urbanizada, como para os serviços de abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário e a drenagem urbana.

Na Figura 3.1 é apresentada uma comparação entre o balanço hídrico em uma área natural e uma área urbanizada. A remoção da vegetação acaba por interferir nos mecanismos de transporte da água superficial e subterrânea, reduzindo a interceptação da água da chuva, podendo aumentar a erosão do solo pelo aumento da velocidade de escoamento e falta de proteção natural. A impermeabilização do solo é uma das características da urbanização que mais impacta o ambiente e acaba colaborando para que o escoamento superficial seja maior do que em condições naturais. Além disso, a água que esco superficialmente em regiões urbanizadas, anteriormente teria uma boa parcela infiltrada no solo contribuindo para a recarga do aquífero.



Figura 3.1- Balanço hídrico (Schueler, 1987).

A mudança no balanço hídrico da bacia urbanizada gera mudança no hidrograma da região caracterizado pela diminuição do escoamento de base, aumento dos picos de vazão que também são antecipados no tempo uma vez que, com a impermeabilização da área, a água pluvial esco com maior velocidade e maior volume chega aos corpos hídricos (Figura 3.2).

Esses impactos são mais visíveis e prejudiciais quando se tratam de precipitações de maior intensidade.

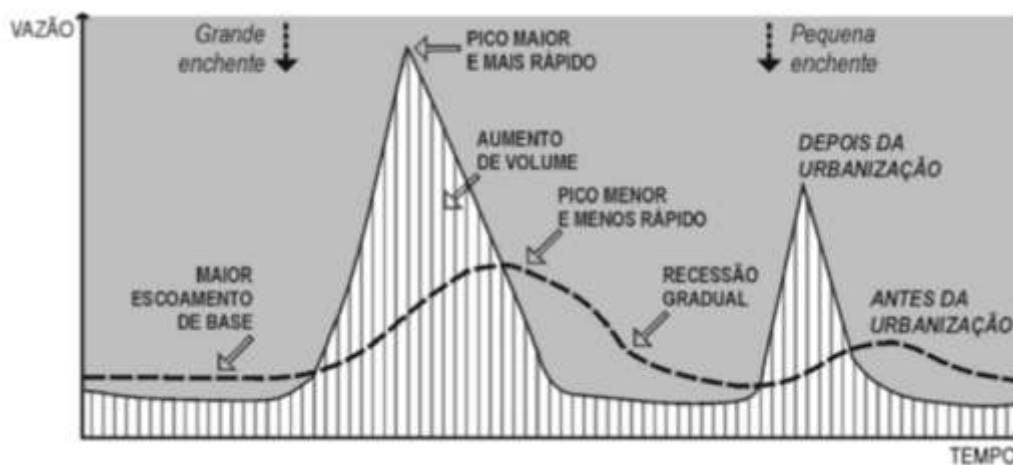


Figura 3.2– Escoamento pré e pós-urbanização (Schueler, 1987).

Segundo Tucci (2008) a qualidade da água que chega ao corpo hídrico receptor também é bastante afetada pelo carreamento do lixo não coletado, que depende da qualidade e frequência do serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos. As primeiras chuvas após certo período de estiagem, como acontece no Distrito Federal, são as que apresentam a pior qualidade. As águas drenadas também exibem na composição a presença de metais pesados, óleos, graxas e sedimentos que estão depositados na via e são lavados nos eventos de precipitação (Matias, 2006). Todos esses impactos são acentuados pela intensidade da precipitação e sua distribuição temporal, além de depender da época do ano e do tipo e ocupação e uso do solo da bacia de contribuição (Tucci, 2008).

### 3.2 DRENAGEM URBANA

A Política Federal de Saneamento Básico, Lei nº 11.445/2007 estabelece que o saneamento básico no Brasil consista em “um conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das redes urbanas”.

Além disso, a Lei 11.445/2007 estabelece como sendo os elementos da drenagem as redes de águas pluviais, seu transporte, a detenção ou retenção para amortecimento das vazões de cheia, o tratamento e disposição ambientalmente corretos (Brasil, 2007).

A drenagem urbana é, portanto, o direcionamento adequado da água da chuva, uma vez que o escoamento superficial irá acontecer com ou sem o sistema de drenagem.

O que se percebe sobre a realidade brasileira é que a drenagem urbana ainda é pouco estruturada em muitas cidades, agravando a exposição ao risco de alagamentos e proliferação de doenças, prejudicando a qualidade de vida, sobretudo daqueles que vivem em áreas não atendidas pelo sistema de saneamento básico.

O Diagnóstico de Serviços de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas, que é um módulo do SNIS, desenvolvido pela Secretaria de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades tem por objetivo verificar a qualidade e a abrangência do sistema de drenagem urbana no Brasil. Em seu primeiro ano de publicação conseguiu abranger 45,6% do total de municípios do país, representando 66% da população urbana brasileira, sendo que desses apenas 10% operam com sistema de drenagem subterrânea e 4,2% dos domicílios estão em áreas de alagamento, sendo que no ano de 2015, cerca de 264 mil pessoas foram atingidas por eventos hidrológicos precisando sair de suas casas (Brasil, 2018).

Um problema frequentemente encontrado no Brasil é a precariedade do sistema de esgotamento sanitário, que segundo os dados disponibilizados pela ANA, cerca de 45% da população não possui tratamento de esgoto, desses, 27% não possuem nem ao menos a rede de coleta (ANA, 2017). Deste modo, é frequente que os sistemas de drenagem sejam mistos, ou seja, recebam além da água pluvial uma parte do esgoto gerado na cidade. No Brasil por volta de 30,9% dos sistemas de drenagem operam de forma mista (Brasil, 2018). Além disso, vale ressaltar ainda que é comum a ligação clandestina de redes de esgoto às redes de drenagem, mesmo em cidades onde existe a rede de esgoto. Tucci (2008) observa que muitas prefeituras aceitam tais condições de redes mistas frente à questão financeira da população envolvida, mesmo não sendo adequada, uma vez que passa a existir uma contaminação a mais da água pluvial.

Canholi (2005) ressalta a importância de estudos de planejamento na área de drenagem urbana, envolvendo questões multidisciplinares, que busquem soluções estruturais e não estruturais que resultem em planos diretores de drenagem. Dentre as soluções não estruturais é possível citar a regulamentação do uso e ocupação do solo, sistemas de previsão e alerta de enchentes, a educação ambiental e os seguros de enchente.

Os planos diretores são importantes ferramentas para o manejo e a gestão das bacias hidrográficas no que diz respeito ao controle e esforços que devem ser aplicados para seu bom funcionamento. Os planos devem dizer respeito tanto à estruturação do transporte na cidade, à disposição do solo quanto a sua ocupação, levando em consideração a conformidade da cidade com o meio ambiente, além dos sistemas básicos de saneamento, como o abastecimento de água, esgotamento sanitário e os projetos de drenagem (Canholi, 2005).

Diante da necessidade de integrar os sistemas de saneamento básico, entender e melhorar o manejo das águas na bacia hidrográfica, mais especificamente, as águas urbanas, se torna necessário o estabelecimento de leis, normas e regulamentos para que o controle de inundações e alagamentos seja efetivo (Adasa, 2018).

Uma particularidade dos sistemas de drenagem é que seu funcionamento é apenas notado em períodos de chuva, e é preciso que todo esse sistema esteja integrado aos demais serviços de saneamento básico de modo a garantir uma eficiência de drenagem. A Figura 3.3 apresenta um esquema que mostra como os serviços de esgotamento sanitário, ligado à rede de drenagem de forma irregular, e a falta de coleta de resíduos sólidos pode afetar a qualidade da água pluvial, sendo indesejadas essas interferências no sistema de drenagem.

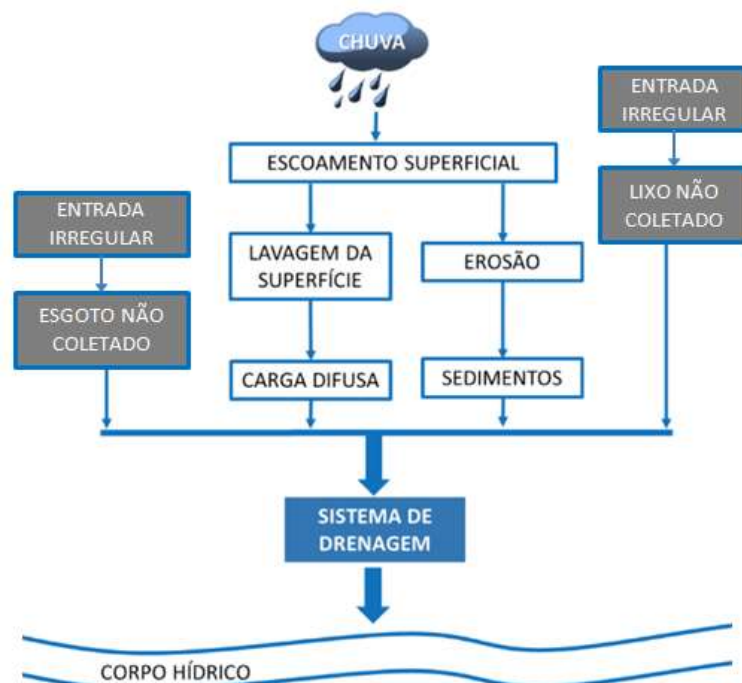


Figura 3.3 – Esquema operacional do sistema de drenagem (Adasa, 2018, modificado).

De acordo com o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (Adasa, 2018) o planejamento, a infraestrutura, a integração entre os sistemas de saneamento, o correto funcionamento, o monitoramento do sistema e as recorrentes medidas de melhoramento da drenagem são fundamentais para que o objetivo de redução das inundações seja alcançado juntamente com a boa qualidade da água de drenagem, uma vez que no DF existe a necessidade de se manter a qualidade dos mananciais em vista de sua utilização como fonte de abastecimento humano.

Para que as redes de drenagem sejam dispostas de forma a maximizar sua eficiência em relação às obras de engenharia e melhoramento ambiental, buscando recuperar as características originais de pré-urbanização, é preciso que os projetistas levem em consideração não apenas a topografia natural do terreno, os projetos urbanísticos e viários, mas também avaliem como já estão dispostas as redes de distribuição de água, esgotamento sanitário, redes de energia elétrica enterrada, para que não só a interferência nos outros sistemas seja mínima, mas de modo a obter o melhor aproveitamento do espaço urbano (Adasa, 2018).

O sistema de drenagem é constituído pela rede coletora que é um conjunto de canais ou tubulações que visam conduzir a água pluvial até o ponto de deságue, normalmente até os corpos hídricos. Os dispositivos de entrada quando dispostos de maneira adequada, tendem a aumentar a eficiência da drenagem, além disso, os poços de visita (PV) são parte essencial para monitoramento do funcionamento da rede. Ainda, podem integrar a rede de drenagem os sistemas de controle de escoamento alternativos, como por exemplo, as trincheiras de infiltração, bacias de detenção e retenção, que visam o melhoramento do sistema (Adasa, 2018).

Segundo Tucci (2005) no princípio da drenagem da água pluviais o que se preconizava era a remoção o mais breve possível da água da área urbana, de modo a evitar as inundações e transtornos gerados pela presença da água, como a danificação de bens públicos e privados. Entretanto a remoção da água de forma rápida e pela utilização apenas das redes canalizadas de água se mostrou uma medida que apenas transferia o problema local para jusante (Tucci, 2005). Atualmente a drenagem urbana consiste em medidas que vão além da canalização da água pluvial. De acordo com a literatura, o sistema de drenagem pode ser dividido em três partes, sendo eles a macrodrenagem, a microdrenagem e as medidas de controle na fonte.

Cada um deles possui características próprias que os distinguem, mas todos estão interligados direta ou indiretamente.

As medidas de controle na fonte normalmente possuem pequeno porte e estão geralmente situadas próximas aos locais onde é gerado o escoamento de modo a maximizar o efeito de redução do volume de água pluvial diretamente escoado para os corpos hídricos (Canholi, 2005). Podem ser de dois tipos: por infiltração total ou de parte da água no terreno, ou por armazenamento temporário que tenta regularizar a vazão com o intuito de amenizar o pico de vazão (Adasa, 2018), tendo por objetivo o amortecimento da vazão e, conseqüente, diminuição do volume escoado superficialmente.

Alguns exemplos de sistemas de controle na fonte são os dispositivos trincheiras de infiltração, pavimento permeável, poços de infiltração, micro reservatórios, bacias de detenção e de retenção.

A microdrenagem é definida pelos componentes do sistema de drenagem primário que conduzem a água até as redes de macrodrenagem ou direto para os corpos hídricos. Essa drenagem é projetada para atender a precipitações que geram um risco de leve a moderado (GDF, 2009b). As tubulações não têm diâmetro superior a 800 mm (Adasa, 2018), e fazem parte do sistema de microdrenagem as valas, sarjetas, canaletas, as bocas de lobo e canais.

A rede de macrodrenagem por sua vez, recebe a água afluyente das redes de microdrenagem e por esse motivo possui um porte maior. Pode lançar em corpos hídricos ou em sistemas de amortecimento de vazões dependendo do tamanho de sua rede de drenagem. É caracterizada por se constituir de redes de drenagem de maior porte, que quando canalizada possuam diâmetro mínimo de 1000 mm (Adasa, 2018). Além disso, os sistemas de macrodrenagem se referem a áreas de maior extensão de drenagem, maiores que 200 ha, podendo variar de localidade para localidade a depender da configuração da área urbana (GDF, 2009b). Normalmente, fazem parte do sistema de macrodrenagem galerias, tubulações, canais abertos ou fechados.

### **3.2.1 Dispositivos Alternativos de Controle do Escoamento**

Segundo o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (Adasa, 2018) é importante destacar que a escolha de um dispositivo de controle do escoamento de água superficial deve ser feito de acordo com os impactos ambientais causados por sua implantação, levando em consideração as características locais, como a área disponível, tipo



de solo, área de influência, profundidade do lençol freático, declividade do terreno, poluição hídrica, necessidade de manutenção do dispositivo e custo de implantação. O grau do impacto gerado pelo mau funcionamento ou falta do sistema de drenagem na região também são fatores que deve ser levados em consideração na hora da escolha.

Para Baptista *et al.* (2005) a participação popular durante o processo de formulação dos projetos de controle de escoamento é indispensável, uma vez que são os afetados diretamente pelo empreendimento. Além disso, é preciso uma equipe técnica especializada e multidisciplinar para que o dimensionamento do projeto seja adequadamente elaborado e atenda as exigências legais e estruturais.

Os chamados dispositivos alternativos de controle de escoamento têm como prioridade a preservação do meio ambiente e a retomada das características dos sistemas hidrológicos de pré-urbanização, aumentando a infiltração da água no solo, o tempo que a água leva para chegar aos corpos hídricos e conseqüentemente a diminuição dos picos de vazão (Baptista *et al.*, 2005). Canholi (2005) ressalta ainda que os dispositivos alternativos são mais utilizados quando o objetivo é a redução das inundações em curto prazo ou ainda quando existe a necessidade de diminuir as interferências nas redes de drenagem convencionais.

Na Figura 3.4 é apresentado o efeito do amortecimento dos picos de vazão no tempo quando é empregado o uso de dispositivos de detenção, sendo a vazão de restrição o maior valor da vazão do hidrograma pré-urbanização.

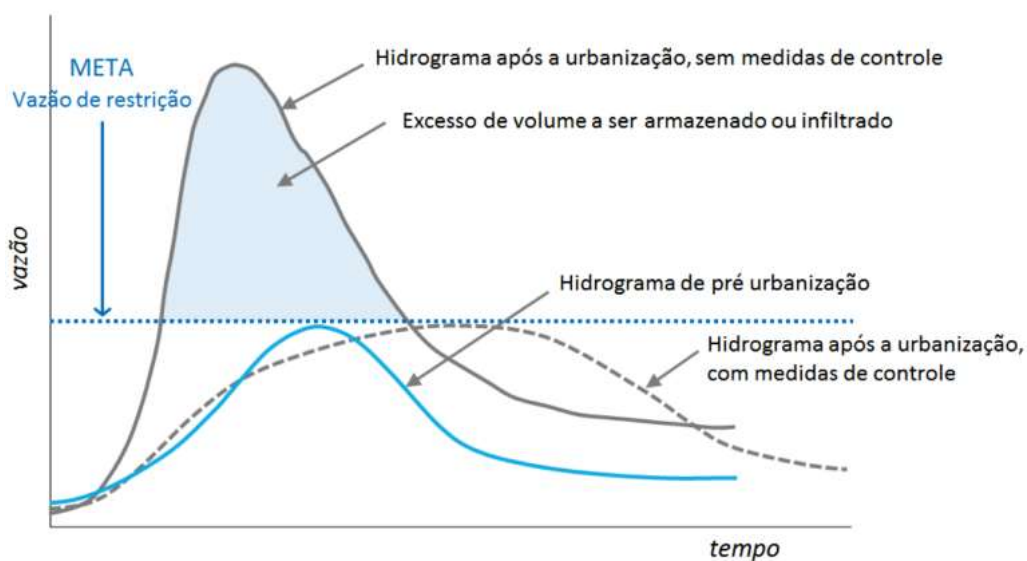


Figura 3.4 - Hidrograma com medidas de controle do escoamento (Adasa, 2018).

De acordo com o Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (GDF, 2009b) as aplicações de medidas alternativas de controle do escoamento superficial acabam por melhorar não apenas quantitativamente, mas também qualitativamente as águas pluviais que posteriormente são lançadas em corpos hídricos.

Para uma breve análise comparativa dos dispositivos alternativos de contenção de escoamento foram selecionados oito dispositivos, levando em consideração suas características fundamentais (Tabela 3.1). Vale ressaltar que na literatura é possível encontrar muitos outros mecanismos de contenção das águas escoadas superficialmente. Para a escolha levou-se em consideração a sua aplicação, por possuírem dispositivos derivados, além de representarem a sua aplicabilidade nos três subtipos das redes de drenagem, sendo elas os dispositivos de controle na fonte, a micro e macrodrenagem.

Tabela 3.1– Principais características dos dispositivos de controle de escoamento (Adasa, 2018; GDF, 2009b, modificado).

Medidas de controle	Características
Pavimento Permeável	Superfícies de concreto ou asfalto poroso
Trincheira de Infiltração	Dispositivos lineares escavados no solo e preenchidos com brita de granulometria uniforme
Poço de Infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo
Vala de infiltração	Depressões lineares em terrenos permeáveis
Reservatório domiciliar	Reservatório de acumulação de água pluvial em casas ou edifícios
Bacia de detenção aberta	Reservatório seco
Bacia de retenção aberta	Reservatório com lâmina d'água permanente ou com permanência temporária
Parques lineares	Faixa de terrenos de solo vegetado marginais a corpos d'água

Os dispositivos podem possuir características muito variadas. Canholi (2005) destaca que a flexibilidade, funcionalidade e confiabilidade de cada alternativa devem ser considerados na hora da escolha. A flexibilidade é associada à capacidade de adaptação do sistema a eventos inesperados, já a funcionalidade do dispositivo relaciona-se a simplicidade de operação,

manutenção e mesmo a instalação, enquanto que a confiabilidade é o quanto o dispositivo realmente consegue atender a demanda, levando em consideração as possíveis falhas no processo e a resistência da infraestrutura (Canholi, 2005).

Genz e Tucci (1995) dividem os dispositivos de controle de escoamento em três tipos, sendo eles os que buscam aumentar a infiltração, os de armazenamento das águas pluviais e ainda os que procuram melhorar a capacidade de escoamento da rede de drenagem principalmente utilizado nos sistemas tradicionais.

O melhoramento das características das redes de drenagem como a rugosidade do canal, sua seção transversal e a declividade, são responsáveis pelo aumento da capacidade de escoamento. Entretanto, vale ressaltar que estas medidas apenas transferem o fluxo para jusante e não necessariamente conseguem solucionar os problemas de drenagem (Tucci, 2005). Além do mais são medidas de melhoria estrutural que possuem custo elevado.

Dispositivos de infiltração buscam reduzir o escoamento da água pluvial infiltrando no solo a maior quantidade de água pluvial possível, sendo preferencialmente aplicável para a contenção na fonte, o que leva a ganhos em toda a rede de drenagem, uma vez que passa a trabalhar com vazões menores, aumentando sua eficiência (GDF, 2009b). Medidas relacionadas à infiltração estão muitas vezes associadas a promover a recarga dos aquíferos subterrâneos, questão que tem mostrado cada vez mais relevância uma vez que as áreas impermeabilizadas se tornam empecilhos para a recarga natural dos aquíferos (Adasa, 2015).

Por outro lado, os mecanismos de armazenamento têm por objetivos o amortecimento do escoamento, reduzindo sua velocidade e vazão de pico, podendo ser destinados ao melhoramento da qualidade da água pluvial, retendo sedimentos e diminuindo as cargas de poluentes arrastados pela água de drenagem ou provenientes de esgotos clandestinos. São indicados para construção ao longo ou ao final das redes de micro e macrodrenagem, e requerem maior espaço físico para sua instalação (GDF, 2009b).

As medidas alternativas de escoamento, como já ressaltado anteriormente são as relacionadas ao armazenamento e infiltração das águas pluviais. A Tabela 3.2 apresenta os dispositivos selecionados para uma breve análise. Vale ressaltar que pode haver a interação entre os tipos, ou seja, um dispositivo de infiltração pode também funcionar para armazenamento, mesmo que temporário.

Além disso, de acordo Genz e Tucci (1995), as medidas de controle do escoamento podem ser aplicadas nos diferentes níveis de drenagem, controle na fonte, microdrenagem e macrodrenagem, dependendo das características de cada dispositivo e de fatores como área disponível, impermeabilização dos lotes, capacidade de infiltração do solo e altura do lençol freático.

Tabela 3.2 - Dispositivos de controle de escoamento (Adasa 2018, modificado).

Medidas de controle	Infiltração	Armazenamento	Controle na fonte	Microdrenagem	Macrodrenagem
Pavimento Permeável	X	X	X	X	
Trincheira de Infiltração	X	X	X	X	
Poço de Infiltração	X	X	X	X	
Vala de infiltração	X	X	X	X	
Reservatório domiciliar		X	X		
Bacia de retenção aberta		X	X	X	X
Bacia de detenção aberta		X	X	X	X
Parques lineares	X		X	X	

A aplicabilidade de cada uma das medidas possui vantagens e desvantagens (Tabela 3.3), de modo que podem ser maximizadas ou minimizadas de acordo com as características específicas do projeto, cabendo ao responsável técnico pela escolha do projeto definir medida estrutural será utilizada em cada situação específica, apresentando suas justificativas (Adasa, 2018).

Para que se faça uma boa escolha do dispositivo alternativo de controle do escoamento das águas pluviais que se pretende utilizar é importante se ter em mente não apenas as vantagens de cada um, mas também seus possíveis impactos ao meio ambiente, uma vez que nenhuma alternativa é perfeita e deve ser disposta de modo a maximizar sua eficiência na redução da vazão de escoamento. Levar em consideração a área disponível, custo de implementação, dificuldades operacionais, transtornos com obras de engenharia, também devem ser ponderados.

Tabela 3.3 – Principais características, vantagens e desvantagens dos dispositivos de controle do escoamento (ADASA ,2018; GDF ,2009; Azzout et al.,1994, modificado).

Medidas de controle	Vantagens	Desvantagens
Pavimento Permeável	Permite a infiltração de parte da água para o solo e a remoção de parte dos poluentes e sedimentos.	Não é recomendável para vias de tráfego intenso e de cargas pesadas; necessidade de manutenção constante; contaminação do lençol freático por metais pesados.
Trincheira de Infiltração	Retardo e amortecimento do escoamento; remoção parcial de poluentes; boa integração com o meio urbano.	Podem reduzir a eficiência ao longo do tempo dependendo da quantidade de sedimentos retidos.
Poço de Infiltração	Retardo e amortecimento do escoamento; remoção parcial de poluentes; recarga de aquíferos.	Pode ocorrer a colmatção dos poros; baixa capacidade de armazenamento e pode contaminar o lençol freático.
Vala de infiltração	Permite a infiltração de água para o subsolo; criação de áreas verdes no meio urbano.	Diminuição da eficiência dependendo da inclinação do terreno; manutenção regular específica.
Reservatório domiciliar	Amortecimento do escoamento; durabilidade; volume ajustável; versatilidade de formas e de instalação.	Necessidade de manutenção regular.
Bacia de retenção aberta	Retardo e amortecimento do escoamento; remoção parcial de poluentes; efeito paisagístico.	Descarga de poluente pode afetar o equilíbrio do ecossistema; ocupação de grandes áreas; risco de proliferação de vetores e mau cheiro.
Bacia de detenção aberta	Retardo e amortecimento temporário do escoamento; remoção de sedimento e fração dos poluentes; usos múltiplos da área quando seco.	Diminuição da eficiência por sedimento, proliferação de vetores e mau cheiro dependendo da qualidade da água drenada.
Parques lineares	Áreas de escape para as enchentes	Depende da qualidade da água drenada e pode favorecer proliferação de vetores.

### 3.2.2 Drenagem Urbana no Distrito Federal

De acordo com o Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal, os sistemas de drenagem mais implantados são os com visão higienista, ou seja, que busca transportar o mais depressa às águas pluviais para longe de áreas com tendência a alagamento. Entretanto essa visão tradicional tende a apenas transferir o problema para jusante (GDF, 2009b).

O processo de urbanização no Distrito Federal segue um padrão de impermeabilização do solo, muitas vezes superiores a 90% do terreno dos lotes, o que causa alterações significativas

no regime hídrico da região, com aumento significativo do escoamento superficial e consequente diminuição da infiltração e recarga dos aquíferos (GDF, 2009a).

Frente à realidade do uso e ocupação do solo, a Lei Distrital n.º 4.285/2008 no art. 50 elenca as competências do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Distrito Federal como “o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final de águas pluviais drenadas nas áreas urbanas” (GDF, 2008). Como enunciando, a Lei Distrital indica a opção de utilização das bacias de detenção ou retenção como as medidas de controle de escoamento e melhoramento da qualidade da água a serem adotadas no Distrito Federal.

De acordo com a Lei Complementar n.º 929/2017 lotes públicos ou privados que possuam um área igual ou superior a 600 m<sup>2</sup> devem possuir um sistema que permita infiltração e retenção de água pluvial no terreno, para que a vazão efluente ao lote seja no máximo igual a vazão de pré-urbanização da área (GDF, 2017), favorecendo as medidas de controle de escoamento na fonte, o que faz com que medidas como as bacias de detenção e retenção não sejam necessárias ou possuam um volume de armazenamento menor.

Quando for imprescindível a utilização de bacia para acúmulo temporário de água, melhorando a qualidade e diminuição dos picos de vazão, a Resolução n.º 9/2011 da Adasa deixa explícito no art. 6º que “para a manutenção da qualidade e quantidade da água do corpo hídrico receptor deverão ser utilizados, preferencialmente, reservatório de qualidade e reservatório de quantidade, dispostos em série, nesta respectiva ordem”. Comenta ainda que “em casos de comprovada inviabilidade de implantação dos reservatórios de qualidade e quantidade, poderão ser apresentadas medidas alternativas que gerem resultados similares aos dos referidos reservatórios” (Adasa, 2011).

Outro instrumento no DF que propõe um conjunto de diretrizes que devem ser seguidas pelos agentes que constroem e utilizam o território, no intuito de oferecer serviços de qualidade, atendendo as necessidades da população, levando em consideração a eficiência do serviço prestado bem como a busca pela salubridade e sustentabilidade ambiental é o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT). O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) é um dos três planos setoriais estabelecidos no PDOT.

No Distrito Federal o órgão responsável pela prestação de serviço relacionado ao manejo e drenagem de águas pluviais é a NOVACAP. Essa por sua vez vem buscando melhorar o sistema de drenagem segundo aspectos de projeto, manutenção, aumento das redes de drenagem e também estudos para avaliação e identificação dos problemas e os pontos que apresentam maiores problemas com alagamentos no DF (GDF, 2009a).

Dentre os problemas encontrados no DF relacionados a rede de águas pluviais, o PDDU (GDF, 2009b) cita a deterioração da rede por falta de manutenção, pontos de lançamento de esgotamento sanitário clandestino, o assoreamento dos condutos por material proveniente do arraste pelas águas das vias urbanas que diminui a capacidade de escoamento e a presença de resíduos sólidos.

### **3.2.3 Bacia de Detenção**

A bacia de detenção é um dos mecanismos de controle de escoamento mais utilizados no Brasil e no Distrito Federal, uma vez que a política federal de saneamento básico, a lei distrital e a Resolução n.º 9/2011 da Adasa, priorizam a utilização de bacias de amortecimento, tanto as de retenção quanto as de detenção, frente à necessidade de adotar medidas alternativas para diminuição do escoamento superficial e melhoramento da qualidade da água pluvial.

Em áreas urbanas as bacias de detenção apresentam grande efetividade no manejo de águas pluviais no aspecto quantitativo, uma vez que seus volumes de amortecimento da vazão das ondas de cheia são maiores, e atuam no melhoramento da qualidade da água, em relação à presença de sedimentos e poluentes, diminuindo os impactos ambientais gerados pelo escoamento da água drenada no corpo hídrico receptor, sendo essas suas principais finalidades (Canholi, 2005; Baptista *et al.* 2011; Berque e Ruperd, 2000).

Em uma bacia de detenção a água armazenada é liberada gradativamente, até o ponto em que volta a secar e permanece nessa condição até que outro evento de chuva venha a ocorrer (Adasa, 2018). No Distrito Federal é estabelecido pelo PDDU (GDF, 2009b) que o tempo de armazenamento das águas pluviais em bacias de detenção não seja superior à 24 horas. O tempo de detenção relativamente pequeno está relacionado à necessidade de se restabelecer o volume de amortecimento, de modo que para a ocorrência de nova precipitação, a bacia venha a desempenhar adequadamente sua função de abatimento do pico de vazão. Matias (2006)

sugere ainda, que tempos de detenção maiores podem ocasionar mau cheiro e proliferação de animais e insetos, podendo vir a se tornar fonte de propagação de doenças.

Porto (2002) ressalta que as bacias de detenção têm sido aplicáveis não somente no intuito de amortecimento das vazões, mas também para melhoria da qualidade das águas drenadas. Para Matias (2006) as principais alterações relacionadas à qualidade da água depois de armazenada por certo período nos reservatórios de detenção estão relacionadas à diminuição da turbidez, aumento da concentração de oxigênio dissolvido, variação da concentração de nutrientes dissolvidos, em especial nitrato e fósforo, e a diminuição da presença de microrganismos patogênicos advindos dos esgotos sanitários presentes na água de drenagem. Entretanto, como os tempos de detenção são relativamente pequenos, a remoção dos poluentes pode não ser efetiva (Berque e Ruperd, 2000).

Os mecanismos de sedimentação são os que melhor atuam sobre a qualidade da água em bacias de detenção. Isso se deve ao fato de que para uma remoção de sedimentos o tempo necessário é menor do que para os poluentes mais complexos, que carecem de tempos de detenção superiores.

As bacias podem estar dispostas em série, alinhada à rede de drenagem, de modo que todo o escoamento passe pela bacia, ou em paralelo, ao lado da rede de drenagem e dessa forma apenas parte da água pluvial passa pela bacia (Figura 3.5). Normalmente as bacias colocadas paralelamente possuem menores dimensões e possuem tendência de acumular menos sedimento que as dispostas em série (Matias, 2006).

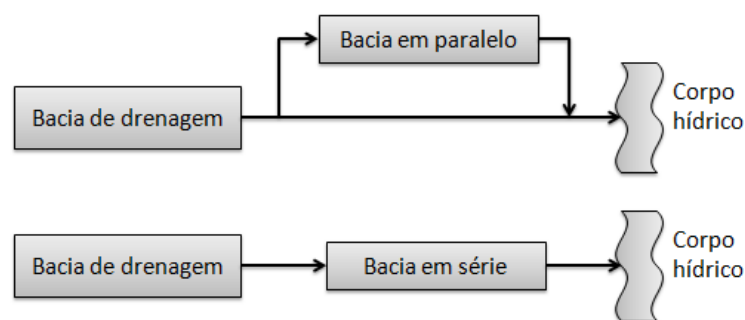


Figura 3.5– Disposição dos reservatórios.

A bacia de detenção pode estar localizada tanto ao longo da rede de macrodrenagem, quando os canais ou galerias possuírem uma seção quadrada de valor elevado ou com diâmetro superior a 1,0 m, ou pertencerem à rede de microdrenagem, com tubulações de menor porte, embora esta disposição das bacias de detenção seja mais raramente encontrada (Adasa, 2018).



O fundo da bacia de detenção normalmente é impermeável, mas quando é do tipo permeável, recebe a nomenclatura de bacia de infiltração (Assunção, 2012).

A necessidade de estudos hidrológicos mais detalhados é fundamental para empreendimentos que superem os 200 ha de área da bacia de detenção, para garantia de que os dispositivos de entrada e de saída sejam bem projetados, além da determinação apropriada do volume da bacia, que seja capaz de aguentar a vazão máxima de projeto sem ultrapassar o volume máximo de lançamento em corpos hídricos de 24,4 L/(s.ha) preconizado na Resolução n.º 9 (Adasa, 2011).

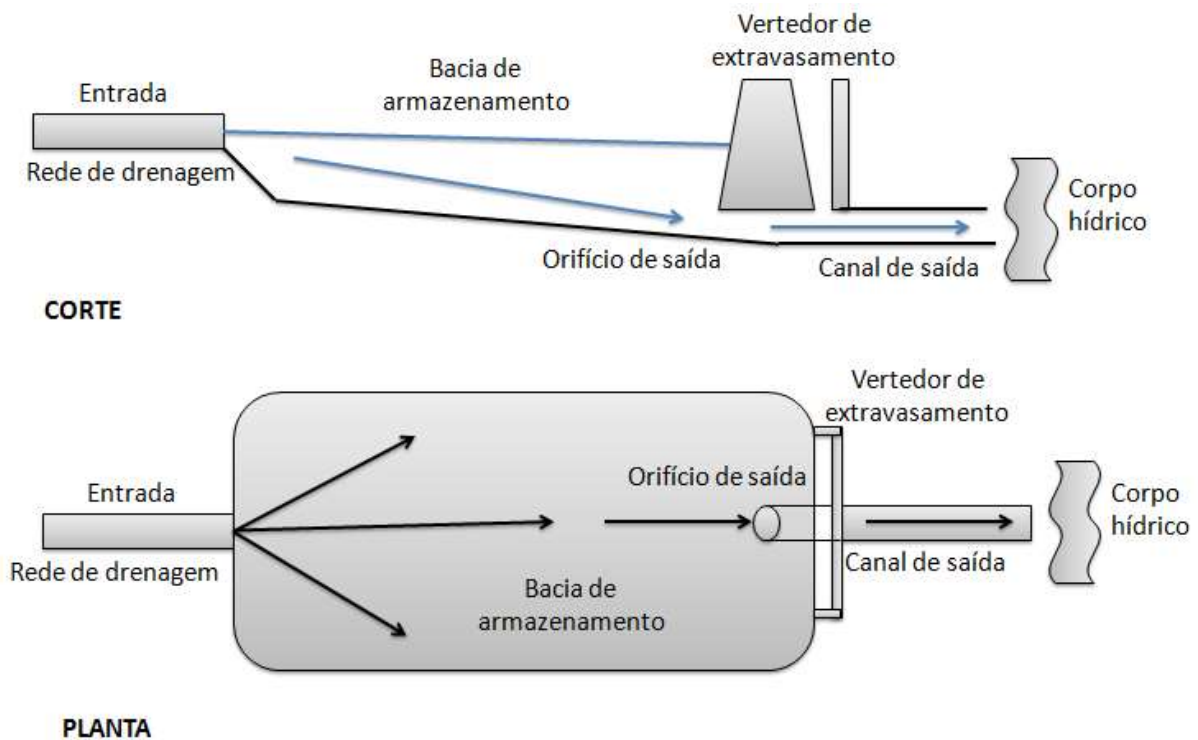


Figura 3.6 – Bacia de detenção típica (Righetto, 2009, modificado).

A entrada da água acontece em uma ponta da bacia de detenção, onde pode ser necessária a construção de dissipadores de energia para diminuição da velocidade de entrada da água drenada. Outra questão importante para observar, apresentada na Figura 3.6, é que existe o orifício de saída e o vertedor de extravasamento e que permanecem sempre abertos para que a água possa continuar a sair, porém com menor vazão que a de entrada (Adasa, 2018).

Além do reservatório de acumulação da água, também fazem parte da estrutura da bacia de detenção as estruturas de controle de saída que normalmente são os orifícios de fundo, que garantem o esvaziamento contínuo da bacia até ficar seca, e os extravasores de emergência,

utilizados quando a bacia atinge seu volume máximo, fazendo com que a água escoe para o canal de saída sem causar maiores problemas às estruturas da bacia (Canholi, 2005).

Segundo o PDDU (GDF, 2009b), sempre que ocorrer uma vazão igual ou superior à vazão de projeto da bacia, é preciso realizar uma visita e eventual manutenção do local. A manutenção do local está associada ao corte de grama, manutenção dos taludes, limpeza do gradeamento, remoção de resíduos sólidos urbanos que venham com a água drenada.

Segundo Porto (2002), quando projetados de maneira adequada as bacias de retenção podem vir a ser utilizadas como áreas de lazer, recreação, práticas de esportes, melhorando a qualidade de vida da população que reside no entorno do reservatório.

A necessidade de grandes áreas e as dificuldades relacionadas com compra das áreas, além da resistência da população que mora no entorno da futura bacia de retenção, principalmente pelos inconvenientes e transtornos gerados pelas obras, podem vir a ser as desvantagens da construção de bacias de retenção (Hartingan, 1986 *apud* Canholi, 2005). Além disso, a atenção às características sociais e econômicas são aspectos fundamentais na tomada de decisão quanto ao tipo de projeto da bacia de retenção, que afetam suas condições de manutenção (Assunção, 2012).

Os problemas relacionados ao dimensionamento dos projetos, à falta de gerenciamento adequado, poucos investimentos em manutenção e em aprimoramento do sistema, além da falta de incentivo a estudos sobre as bacias de retenção são outros fatores que afetam diretamente a qualidade do funcionamento e a vida útil das bacias (Nakazone, 2005). A quantidade de sedimentos que se acumulam com o passar do tempo no fundo da bacia pode alterar o seu funcionamento, alterando principalmente a capacidade de armazenamento de água pluvial.

### **3.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL**

Os modelos matemáticos de simulação são ferramentas que auxiliam na previsão do comportamento dos mais variados sistemas, dentre eles os sistemas hidráulicos e hidrológicos. A modelagem pode ser utilizada tanto para auxiliar em projetos quanto para a previsão de cenários futuros, uma vez que é possível a variação de parâmetros no modelo, favorecendo também o entendimento sobre sua relevância dentro do sistema analisado (Righetto, 2011; Tucci, 1998).

Segundo Tucci (1998), os modelos computacionais utilizados para avaliação da drenagem podem ser divididos em três: hidrológicos, hidráulicos e hidrológico-hidráulico.

- Modelos hidrológicos levam em consideração a bacia e as galerias de macrodrenagem que geram escoamento dentro da mesma bacia, tendo por objetivo a representação dos hidrogramas gerados por chuvas críticas e suas consequências, considerando ainda as perdas iniciais, a infiltração e o escoamento superficial (Tucci, 1998). Podem vir a representar também o efeito das bacias de amortecimento das águas de drenagem (Adasa, 2018).
- Modelos hidráulicos são utilizados para a simulação do escoamento da água em canais com seção variada, condutos e podem gerar linhas de inundação. Também avaliam a qualidade da água, segundo parâmetros variados.
- Modelos hidrológico-hidráulicos também podem ser chamados de modelos integrados e tem como característica poderem simular galerias sob pressão e são mais utilizados quando a rede de drenagem possui grande área. Pode gerar linhas de inundação segundo o modelo digital de terreno e avalia a qualidade da água.

Podem ser citadas como variáveis que compõem os modelos de simulação a precipitação, o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica e de influência da rede de drenagem, evaporação, infiltração, escoamento superficial, tipo de solo. Os resultados apresentados serão correspondente as variáveis introduzidas no modelo (Beling, 2013).

Para que as respostas apresentadas pelos modelos computacionais possam ser consideradas representativas da realidade faz-se necessária à calibração dos parâmetros. A calibração pode vir a ser realizada com utilização de algoritmos matemáticos ou por meio de processo manual de tentativa e erro, sendo capaz de maximizar ou minimizar as variáveis de interesse, buscando encontrar o melhor ajuste dos parâmetros até que se mostrem satisfatoriamente representativos da realidade (Beling, 2013; Gupta & Sorooshian, 1985; Righetto, 2011).

Existem modelos dos mais variados níveis de complexidade, mas vale ressaltar que a experiência do projetista com o modelo é muito importante para a validação da qualidade dos dados gerados (Adasa, 2018). Dessa maneira, modelos simples podem vir a apresentar bons resultados.

Nesse projeto o modelo hidrológico-hidráulico *Storm Water Management Model*, será empregado para avaliação das características da bacia de retenção com sua respectiva rede de

drenagem da área de influência da bacia, que se encontra situada na Região Administrativa do Guará – DF.

### **3.3.1 Modelo de gestão de águas pluviais**

O modelo *Storm Water Management Model* (SWMM) consiste em um programa de avaliação dinâmica de eventos de precipitação especialmente localizados em áreas urbanizadas, e que possui uma plataforma integrada que permite a simulação de sistemas hidrológicos, hidráulicos, obtendo respostas quantitativas e qualitativas sobre a água de drenagem, apresentando os resultados em formatos gráficos, tabelas, mapas, diagramas de perfil, levando em consideração probabilidades estatísticas de frequência dos eventos, utilizando dados temporais de um único evento ou com durações mais longas, apresentando resultados contínuos (Rossman, 2016).

Foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos em 1971, passando por várias atualizações ao longo do tempo, o que contribuíram para seu aperfeiçoamento, melhorando a sua capacidade de simulação da drenagem em ambientes urbanos. Atualmente se encontra em sua quinta versão (Righetto, 2011).

Uma das variações do SWMM encontradas no mercado e disponibilizados para a venda é o PCSWMM, desenvolvido pela empresa *Computational Hydraulics International* – CHI que possui uma interface bastante amigável e de relativa facilidade de aprendizagem. O PCSWMM se utiliza de uma ferramenta de geoprocessamento integrada ao SWMM, facilitando seu uso e aplicação em projetos de gestão de águas pluviais. Além disso, realiza uma análise de sensibilidade verificando qual a variação de cada parâmetro a determinadas alterações do comportamento do sistema em estudo, aproximando a simulação do comportamento real do objeto de estudo (Beling, 2013; Souza, 2014).

Segundo Righetto (2009) os objetivos principais do SWMM são: o dimensionamento dos sistemas de drenagem em áreas urbanas para o controle das inundações; avaliação do uso de medidas de controle de escoamento tanto para quantidade quanto para qualidade analisando o arraste dos poluentes e seu decaimento de concentração ao longo das redes de drenagem ou ainda em sistemas de controle, como as bacias de retenção; as entradas de esgoto no sistema de drenagem; verificação dos sistemas hidrológicos, quanto à infiltração no solo, escoamento superficial e evaporação.

De acordo com Rossman (2016), o SWMM trabalha com o fluxo de água e matéria entre diferentes compartimentos ambientais e que interagem entre si, mas que não necessariamente todos precisam ser analisados, variando de caso para caso. Essas componentes são:

- Atmosférica: responsável pela transformação da precipitação em vazão, utilizando a equação de Manning e da continuidade;
- Superfície do Solo: onde a água precipitada é depositada e pode ser evaporada, infiltrada na camada de solo ou ainda sofrer o escoamento superficial. Nesse módulo é feita ainda a subdivisão da bacia em estudo para melhor compreensão do comportamento hidrológico e hidráulico da área;
- Águas Subterrâneas: recebe infiltração da superfície terrestre gerando em parte as águas subterrâneas, e escoamento superficial.
- Transporte e Tratamento: onde são simuladas as infraestruturas da rede de drenagem, como os canais, unidades de armazenamento e tratamento que vão até a parte dos emissários.

Para a simulação dos processos dentro do modelo SWMM as categorias necessitam de informações diferentes. Para o comportamento hidrológico é preciso definir as áreas de contribuição, a precipitação, neve quando for o caso, e a capacidade de infiltração do solo. O sistema hidráulico opera com as informações referentes à rede de drenagem incluindo as junções, os nós, o emissário final, os condutos, bombas e reguladores de vazão, além das unidades de armazenamento (Rossman, 2016).

Para análise de qualidade da água são levados em consideração o uso e ocupação do solo, e os poluentes de interesse para análise. Alguns exemplos de poluentes que o SWMM é capaz de simular são sólidos em suspensão, metais provenientes dos carros que ficam depositados nas ruas, coliformes, matéria orgânica e inorgânica, avaliando a DBO e DQO, além de nitrogênio e fósforo (Beling, 2013).

Rossman (2016) informa que nas unidades de tratamento, devem ser informados quais os mecanismos de controle de baixo impacto, chamado no modelo de *Low Impact Development Control* (LID Control), podem ser aplicados na simulação, e como as concentrações de poluentes ao longo do sistema de transporte da água drenada variam, informando parâmetros como concentração da carga, vazão afluente. De acordo com Souza (2014), as LIDs que o programa SWMM é capaz de simular são os pavimentos porosos, as trincheiras de infiltração, as células de biorretenção, telhados verdes, cisternas e valas vegetadas.

Por fim um grupo de objetos de dados é usado para caracterizar os fluxos de entrada e o comportamento operacional das demais categorias do SWMM (Rossman, 2016).

Segundo Righetto (2009), os dados de entrada no SWMM podem ser: a precipitação pluviométrica; poços de visita, incluindo suas respectivas cotas e profundidade; área de contribuição da bacia, com a declividade, uso e ocupação do solo, tipo de solo, permeabilidade; as medidas da tubulação e sua disposição na área, velocidade do vento, radiação solar, temperatura, entre outros.

A análise da área de estudo em uma simulação precisa ser dividida em áreas menores, chamadas de áreas de contribuição ou sub-bacias, que são consideradas homogêneas em suas características e apresentam internamente duas áreas: impermeável e permeável, que podem variar de tamanho, área, declividade, capacidade de infiltração, a depender da caracterização da área em estudo (Righetto, 2009).

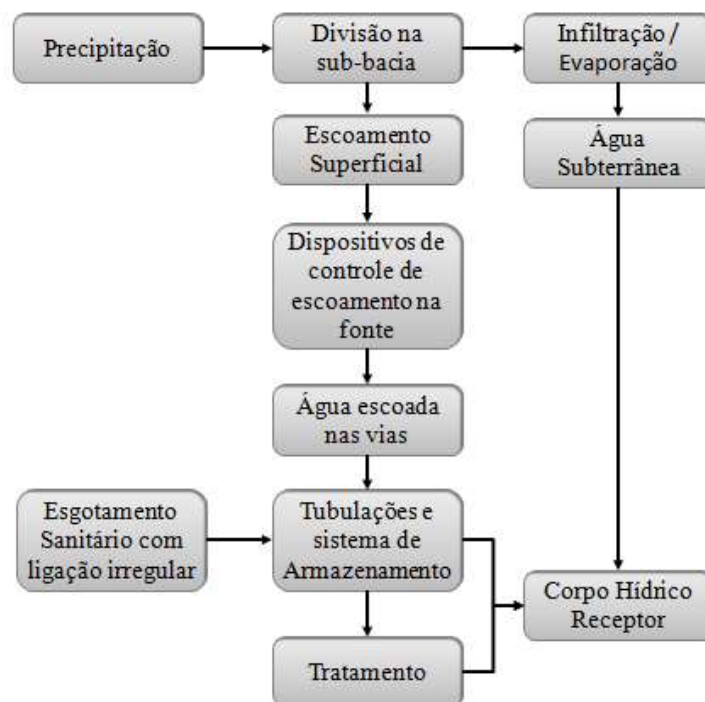


Figura 3.7 - Processamento das categorias pelo modelo SWMM (Rossman, 2016, modificado).

A utilização do SWMM em estudos de verificação das capacidades hidráulicas das redes, frente ao comportamento hidrológico da região, tem alcançado resultados significativos para melhoramento das áreas que sofrem com inundações. A avaliação de como a instalação e operação das LIDs como medidas de contenção na fonte e a capacidade de diminuição das

cargas poluentes ao longo das redes de drenagem afetam a qualidade da água também têm sido relatadas (Huber *et al.*, 2005)

Silva (2017) buscou avaliar o comportamento do escoamento superficial de forma quantitativa no Setor Habitacional do Taquari – DF, utilizando a modelagem hidrológica com o software PCSWMM. Para isso, trabalhou por meio da avaliação comparativa do cenário atual e cenários futuros, que previam a utilização de bacias de retenção na rede de drenagem, verificando sua capacidade de amortização dos picos de vazão. Foi constatado no estudo que a utilização de mais de um reservatório seria necessário para a efetiva amortização do volume escoado.

Silva e Lima (2016) utilizando a modelagem SWMM, realizaram uma comparação entre cenários pré e pós-urbanização do Setor Habitacional Noroeste, verificando a efetividade da utilização de medidas de controle alternativas para redução dos impactos gerados pelo escoamento superficial. Apesar da falta de calibração do modelo, os autores verificaram que os resultados apresentados são compatíveis com os encontrados na literatura, considerando-os coesos.

Silva Junior *et al.* (2015) realizaram o dimensionamento de uma bacia de retenção que fosse capaz de amortecer o pico de vazão de um loteamento com impermeabilização do solo, no intuito de alcançar o regime hidrológico de pré-urbanização. Posteriormente simularam o funcionamento da bacia no programa SWMM para verificação do comportamento da bacia e constataram que o volume de armazenamento calculado conseguiu reduzir em até 97,8% o pico de vazão no corpo hídrico em relação a não utilização da bacia de retenção.

Ponciano (2016) realizou a avaliação da implementação de bacias de retenção no Setor Habitacional Arniqueira – SHAr no Distrito Federal, que é uma área de expansão urbana não planejada. Para isso utilizou o modelo de simulação hidráulico e hidrológico PCSWMM e constatou que a urbanização apresenta uma geração maior de deflúvio e que quando utilizadas as bacias de retenção o controle do pico de vazão gerado é muito satisfatório, ficando sempre abaixo dos valores limites de lançamento de vazão de água pluvial em corpos d'água.

## 4 METODOLOGIA

O presente projeto buscou verificar o comportamento da bacia de retenção situada na Região Administrativa do Guará - DF em relação a sua funcionalidade de armazenamento temporário da água pluvial escoada da área de drenagem, por meio de avaliações da quantidade de água afluente e efluente da bacia, utilizando o programa PCSWMM. Realizou-se ao final uma comparação entre as características do projeto original da bacia em relação às preconizadas no Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (PDDU), uma vez que é posterior ao projeto da bacia de retenção.

Para o desenvolvimento do projeto, dividiu-se a metodologia em duas partes, que por sua vez apresentam etapas de desenvolvimento diferentes e que serão expostas posteriormente. A Figura 4.1 apresenta o fluxograma que exibe a sequência seguida para desenvolvimento da metodologia de estudo.

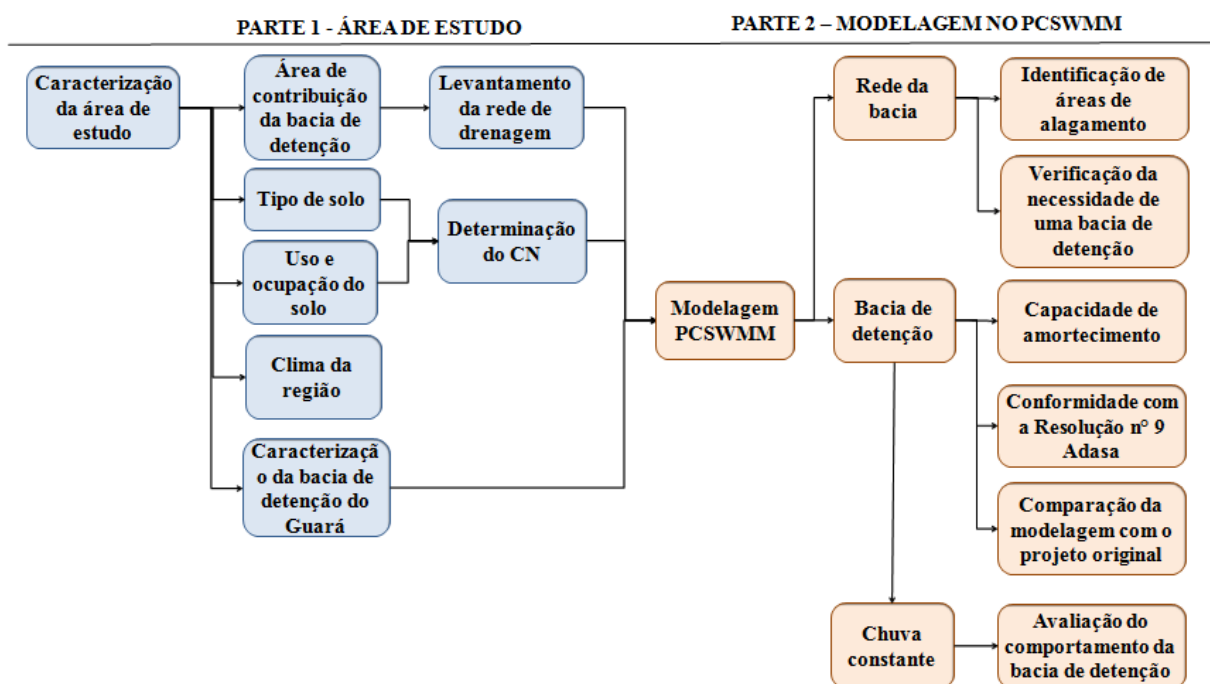


Figura 4.1 – Fluxograma geral da metodologia.

Primeiramente neste capítulo é apresentada uma caracterização da área de estudo para maior compreensão do desempenho da bacia de retenção, levando em consideração sua localização, a área da rede de drenagem e suas características de tipo de solo e uso e ocupação do solo, as dimensões da bacia e o clima da região. Em seguida será apresentada mais detalhadamente a metodologia utilizada para a modelagem no PCSWMM e como foram obtidos os resultados.



## 4.1 ÁREA DE ESTUDO

O principal objeto de estudo deste trabalho é a bacia de detenção, que se situa dentro da área do Parque Ezechias Heringer, no Setor de Oficinas Sul – SOF Sul, na Região Administrativa do Guará – DF. A área de drenagem juntamente com a bacia de detenção encontram-se localizadas dentro da bacia hidrográfica do Lago Paranoá (Figura 4.2), sendo essa uma das bacias mais importantes para o território do Distrito Federal. A rede de drenagem da bacia de detenção se encontra entre as sub-bacia hidrográficas do Riacho Fundo e Lago Paranoá, enquanto que a bacia de detenção se encontra na região da sub-bacia hidrográfica do Riacho Fundo e seu ponto de lançamento é no córrego do Guará (ArKIS, 2005).

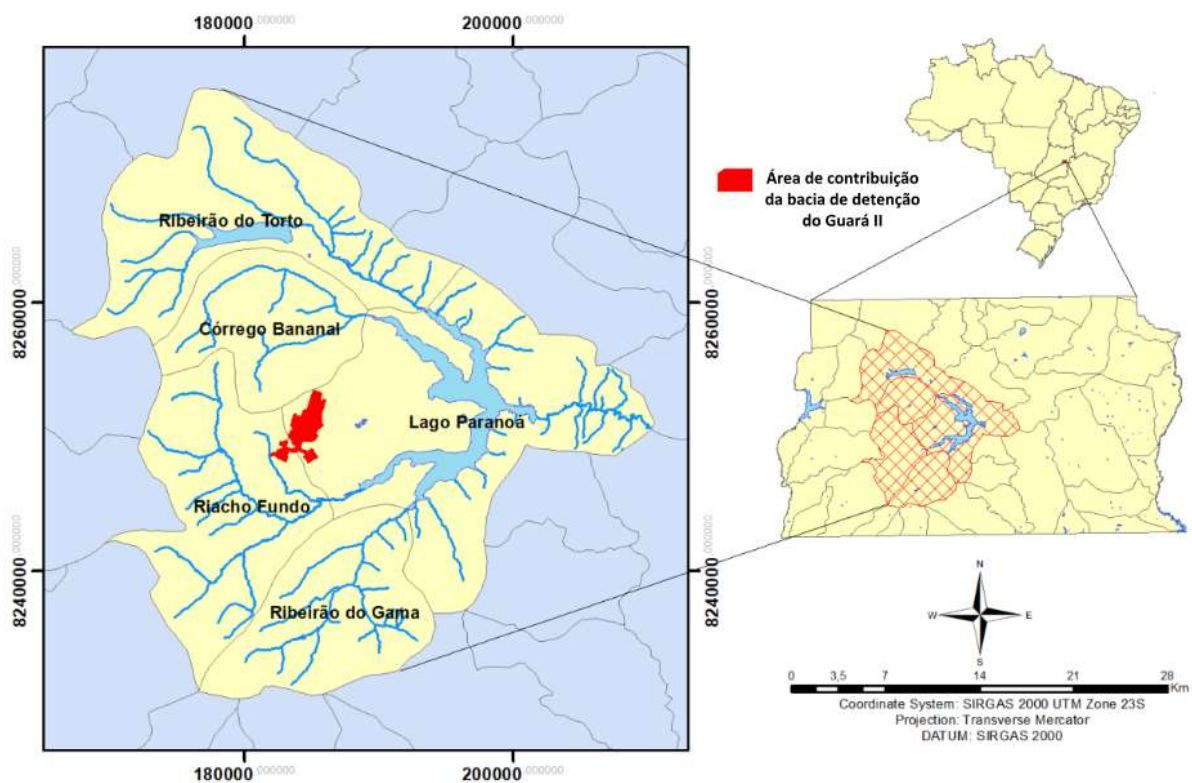


Figura 4.2 – Localização da área de estudo em relação às bacias hidrográficas do DF.

### 4.1.1 Bacia de contribuição para a rede de drenagem

O objeto de estudo deste trabalho é a bacia de detenção, que se situa dentro da área do Parque Ezechias Heringer, no Setor de Oficinas Sul – SOF Sul, na Região Administrativa do Guará – DF, juntamente com a sua área de drenagem que possui galerias compreendidas nas regiões do Cruzeiro Velho e Cruzeiro Novo, Área Octogonal, Setor de Indústria e Abastecimento, Subestação de Furnas, Instituto Nacional de Meteorologia, parte do Setor Sudoeste, Hospital

das Forças Armadas, no antigo Serviço Nacional de Informações e parte do Setor de Oficinas Sul (Figura 4.3). A área de drenagem se encontra totalmente urbanizada (ArKIS, 2005).

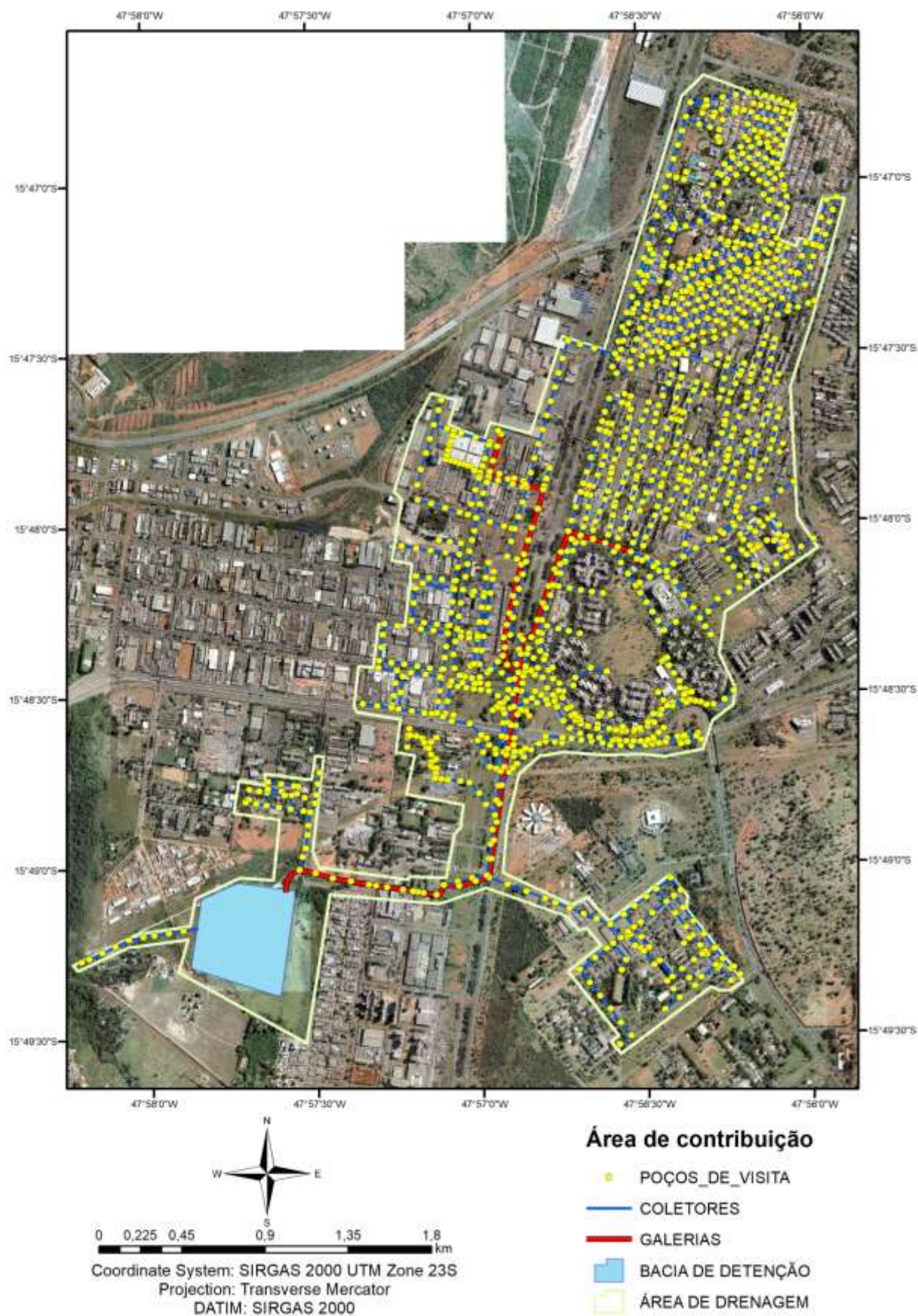


Figura 4.3 - Área de contribuição da drenagem para a bacia de detenção do Guará.

A rede de drenagem é composta pela área de drenagem, bocas de lobo, poços de visita (PV), coletores e galeria. Em relação aos PVs, os dados mais importantes para o estudo foram a cota da tampa, a cota de entrada da água e a cota de saída. Para os condutos e a galeria final os principais dados para a análise foram o diâmetro dos condutos e a seção das galerias. Os principais dados utilizados para a modelagem, que dizem respeito a rede de drenagem, foram disponibilizados pela NOVACAP, por meio de plantas baixas do Departamento de Águas Pluviais.

Entretanto, muitos PVs do Cruzeiro Velho, Cruzeiro Novo e SIA, não possuíam dados além de sua localização, ou não possuíam as três cotas de interesse (tampa, entrada e saída). Para solucionar o problema a metodologia utilizada para obtenção de dados faltantes e padronização da utilização dos dados foi dividida em duas etapas.

A primeira etapa consistiu na padronização da cota de entrada da água como sendo igual à cota da tampa para os PVs que não possuíam dados completos. Além disso, a cota da tampa foi adotada como sendo a cota do terreno, que por sua vez foi encontrado por meio de identificação do valor da cota em um Modelo Digital de Elevação (MDE), com curvas de nível de 5m, do ano de 2009, obtidos do Geoportal (SEGETH, 2018).

Na segunda parte estabeleceu-se que para todos os casos em que não existisse dado para o PV, a sua cota de saída foi padronizada como sendo de 2m abaixo da cota da tampa. Dessa maneira todos os PVs dentro da área de drenagem da bacia de retenção do Guará foram cotados.

#### **4.1.2 Tipo de Solo**

Para identificação do tipo de solo presente na área da rede de contribuição da bacia de retenção do Guará, utilizaram-se os dados disponibilizados pela Embrapa. Constatou-se que a bacia possui inteiramente o mesmo tipo de solo, o Latossolo Vermelho Escuro, que é predominante na região do Distrito Federal e na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, a qual a bacia de retenção está contida.

O Latossolo Vermelho-Escuro se origina de rochas metamórficas e é rico em quartzo, que lhe atribui característica arenosa, além de sílica, variando por volta dos 20%, e ainda presença de argila com variação entre 15 a 80% (Embrapa, 2007). Normalmente encontrados em áreas de relevo plano ou levemente ondulados (Adasa, 2018). Possui uma permeabilidade considerável, de modo que possuem baixa capacidade de armazenamento de água devida a

sua característica arenosa, e são comumente profundos, por volta de 20 m de espessura (Embrapa, 2007). A vegetação que é mais frequentemente encontrado nesses solos é o cerrado (Adasa, 2015).

A identificação do tipo de solo presente na região é fundamental para a escolha adequada dos valores a serem adotados para o parâmetro de Curva Número (CN) do método para identificação da capacidade de escoamento superficial de um terreno levando em consideração também sua cobertura, desenvolvido pelo *United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service* (SCS). O Latossolo Vermelho Escuro é considerado pertencente à classificação do Grupo A (Tabela 4.1), que apesar de elevada concentração de argila apresenta características de solo arenoso.

Tabela 4.1 - Tipo de solo segundo classificação (Tucci, 1995).

Grupo Hidrológico	Tipo de solo e condições de uso
A	Solos arenosos com baixo teor de argila, inferior a 8%, sem rocha nem camada argilosa, ou mesmo densificada, até a profundidade de 1,5m, o teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.

### 4.1.3 Uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo da bacia produzido por meio da identificação do tipo de cobertura que solo da região, por meio de cruzamento dados, após avaliação de ortofotos da área, o que resultou em sete tipos diferentes de uso e ocupação do solo (Figura 4.4), sendo elas apresentadas com maior detalhamento na Tabela 4.2.

O uso e ocupação é também um parâmetro que juntamente com o tipo de solo é usado para identificação do CN para caracterização do escoamento superficial de água que ocorrerá. A Tabela 4.2 apresenta além da divisão adotada, o CN utilizado para os diferentes tipos de uso e ocupação e que são sugeridos por Tucci (1995). Em relação aos lotes do tipo habitação, o que se realizou foi uma adaptação dos valores de CN de acordo com a área do lote, levando em consideração as faixas adotadas apresentadas por Tucci (1995), na Tabela 4.3.

Tabela 4.2 - Classificação do uso e ocupação da área de contribuição da rede de drenagem da bacia de retenção. Apresentando o valor de CN (Tucci,1995 modificado).

Nome	Descrição do uso do solo	CN
Vias	Arruamentos e estradas asfaltadas com rede de drenagem pluvial. Incluídos também os estacionamentos.	98
Área Comercial	Área comercial com 85% ou mais de área impermeável.	89
Área Industrial	Área industrial com 72% ou mais de área impermeável.	81
Campo	Espaços abertos: matos ou gramas cobrem 75% ou mais da área.	39
Solo Exposto	Solo exposto, com terra aparente.	72
Calçada	Calçadas e paralelepípedos.	76
Bacia de retenção	Admita-se que o fundo da bacia de retenção é de argila compactada, de modo a possuir alto nível de impermeabilização. Adotou-se o mesmo valor de CN para vias.	98

Tabela 4.3 - Faixa de CN para utilizada para lotes residenciais (Tucci, 1995).

Nome	Tamanho do Lote	Área impermeável (%)	CN
Lotes residenciais	< 500 m <sup>2</sup>	65	77
	500 - 1000 m <sup>2</sup>	38	61
	1000 - 1300 m <sup>2</sup>	30	57
	1300 - 2000 m <sup>2</sup>	25	54
	2000 - 4000 m <sup>2</sup>	20	51



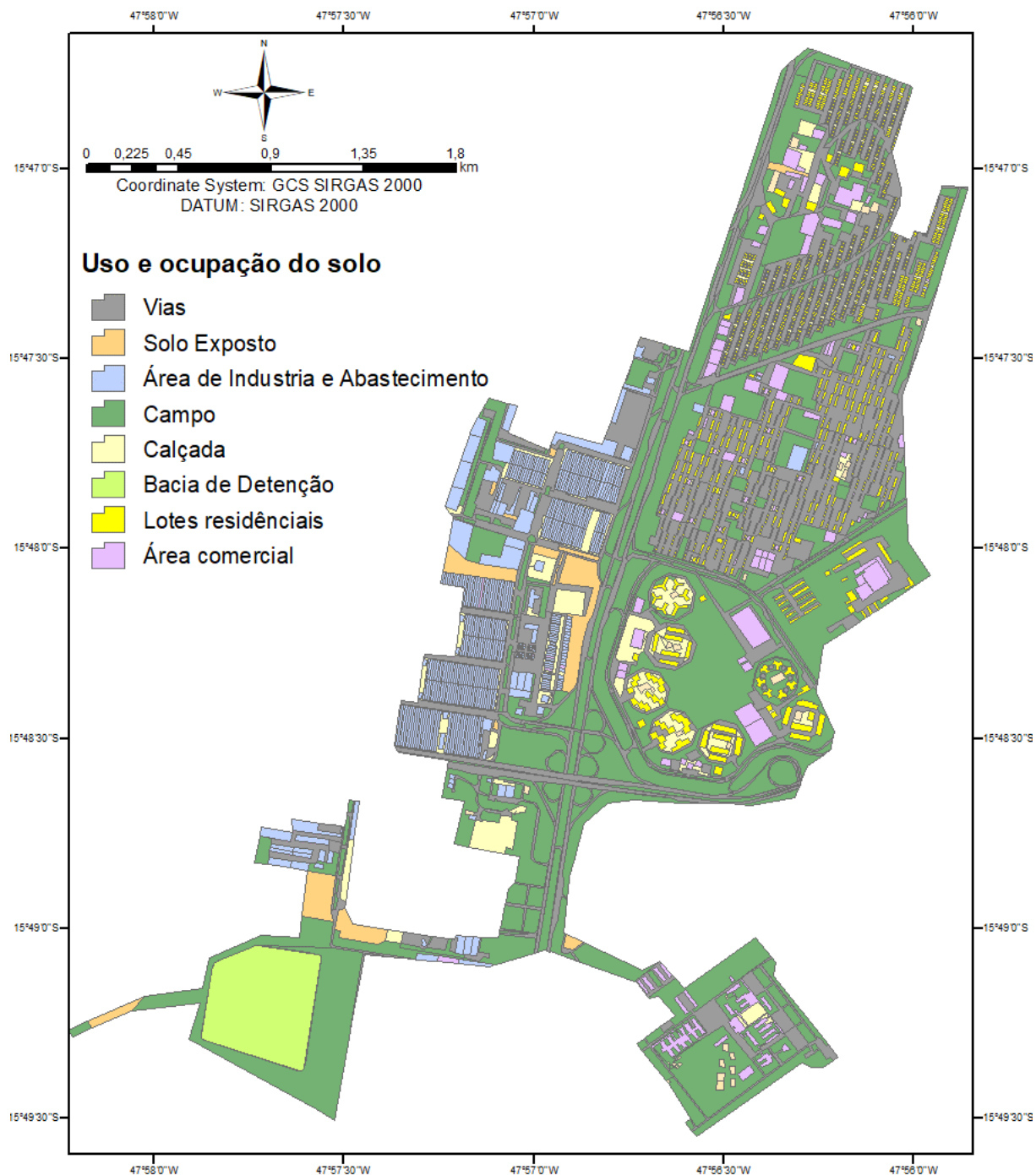


Figura 4.4 – Mapa de uso e ocupação do solo.

Os diferentes tipos de uso e ocupação do solo possuem áreas de ocupação bastante variados (Tabela 4.4) o que acaba influenciando no escoamento de base de cada uma das regiões que fazem parte da área de contribuição da rede de drenagem. A presença de campo, que engloba partes de cerrado e áreas de canteiros centrais, é a que apresenta maior área, enquanto que as áreas consideradas solo exposto são as que apresentam a menor área. A alta porcentagem de vias que se somadas aos lotes residenciais, áreas industriais, comércio e calçadas, chegam a

62,4% mostrando que a maior parte da área da rede de drenagem possui características de áreas urbanizadas. Por sua vez, vale ressaltar que as áreas com cobertura asfáltica também são bem expressivas, principalmente por sua característica de baixa permeabilidade.

Tabela 4.4 - Porcentagem dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo encontrado na área de contribuição da rede de drenagem.

Uso do solo	% de ocupação da área total
Campos	35,8%
Vias	33,2%
Lotes residenciais	12,1%
Área Industrial	7,9%
Área Comercial	4,7%
Calçada	4,6%
Solo Exposto	2,3%

Posteriormente o valor de CN identificados para cada tipo de uso e ocupação do solo da bacia de contribuição da bacia de detenção do Guará foi inserido no programa PCSWMM, que por sua vez realizou uma associação de suas áreas de contribuição, definidas dentro do programa e apresentadas a seguir, ao CN do uso e ocupação.

#### 4.1.4 Clima da Região

O clima da região é considerado Tropical, marcado por períodos bem definidos entre uma estação seca, entre os meses de maio a novembro, e uma chuvosa, compreendida entre outubro até meados de abril (Figura 4.5). Consequentemente a precipitação é bem variada indo de 247 mm a 11 mm dependendo da estação, tendo uma média pluviométrica de 1.540 mm ao ano (Adasa, 2015).



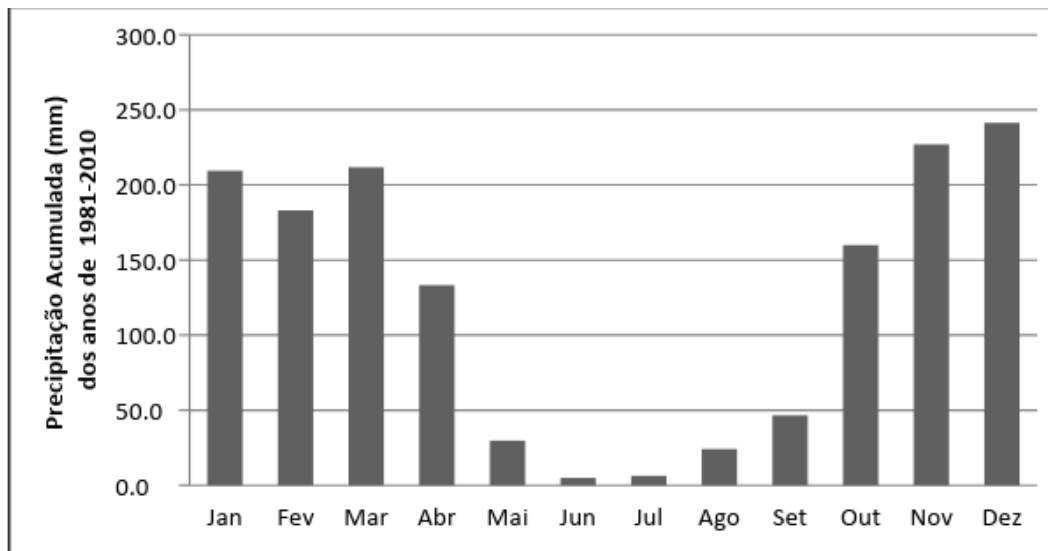


Figura 4.5 – Série histórica da precipitação acumulada (mm) registrada na Estação Meteorológica de Brasília (INMET, 2018).

#### 4.1.5 Bacia de detenção

O funcionamento da bacia de detenção começou por volta do ano 2007 (Figura 4.6). Anterior a esse período a área já abrigou uma lagoa de estabilização da CAESB que funcionava como medida de tratamento para o esgoto advindo das áreas próximas e que teve sua atividade encerrada em 1993 com a reforma da Estação de Tratamento de Esgoto Brasília Sul (ArKIS, 2005).

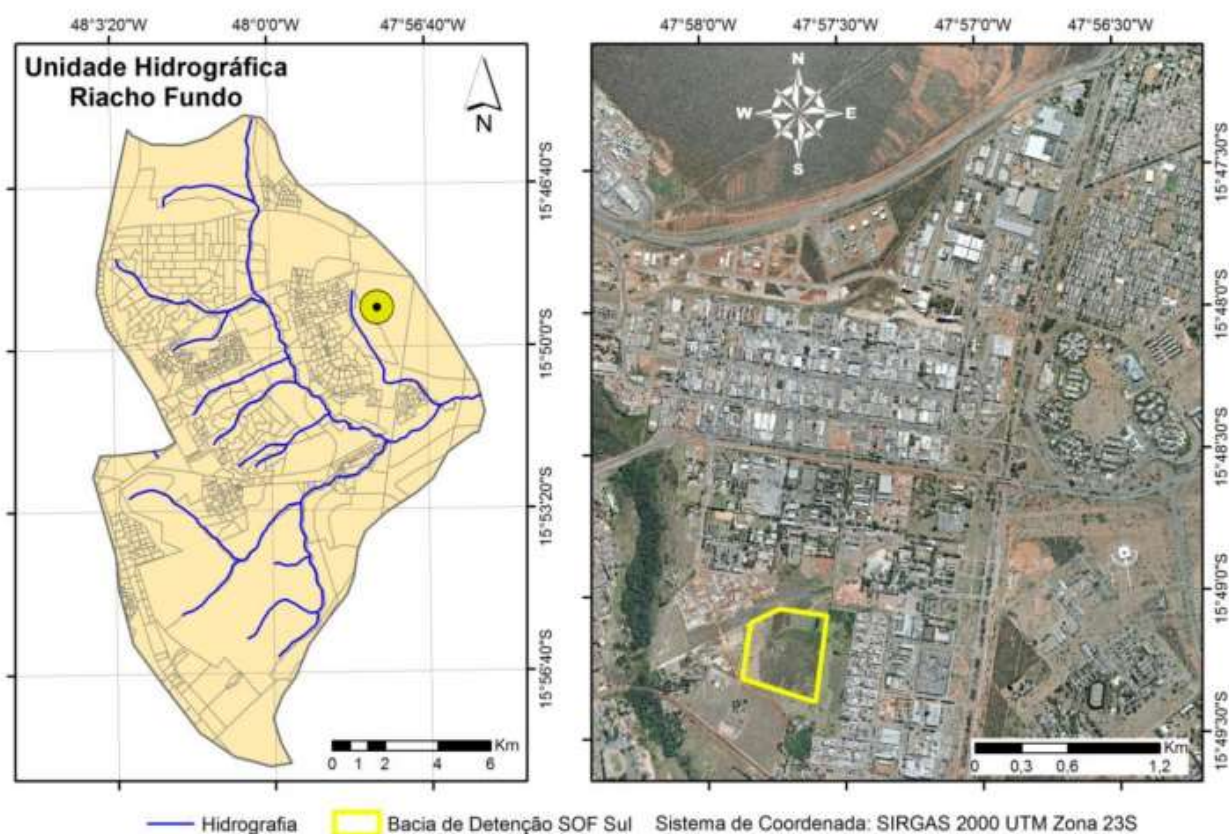


Figura 4.6 – Bacia hidrográfica do Riacho Fundo (esquerda) e enfoque na bacia de detenção do Guarará (direita) (Paula, 2018).

A bacia de detenção tem por volta de 25,5 ha de área e em seu projeto original comporta um volume de 353.280 m<sup>3</sup> de água, entretanto o que se observa é que a bacia atualmente comporta um volume de 459.000 m<sup>3</sup>. A galeria tem em seu trecho final uma seção de 2,7 x 2,5 m composta por três septos retangulares de mesma dimensão que a montante se juntam. A descarga da bacia de detenção é constituída por um tubo circular de fundo, com 1 m de diâmetro e por um vertedor de extravasamento com 20 m de comprimento. O conduto que leva a água até o córrego do Guarará é circular e tem 1,5 m de diâmetro. A cota de fundo da bacia é 1079 m enquanto que a crista do vertedor se encontra situada a 1081 m, resultando em uma profundidade de 1,8 m (ArKIS, 2005).



Figura 4.7 – Área da bacia de detenção, sendo: a) antiga lagoa de estabilização da CAESB em 1991; b) atual bacia de detenção em 2018; c) vista superior.

Na Figura 4.7, item b), é possível identificar o final da galeria de água pluvial, onde ocorre a entrada da água na bacia de detenção, círculo no lado direito superior, enquanto que a descarga de água ocorre na região marcada pelo círculo a esquerda da bacia de detenção. Em uma vista superior da bacia de detenção, apresentada na letra c), vê-se a entrada na seta do canto esquerdo superior e a saída na seta embaixo.





Figura 4.8 - Bacia de retenção durante época de seca: área da bacia; vertedor; orifício de saída.

Foi realizada uma visita à bacia de retenção durante o período de seca no Distrito Federal (Figura 4.8). Encontrou-se no local bastante lixo tanto dentro da área alagada como na vegetação no entorno. A bacia possui uma vegetação rasteira muito espessa e espalhada por toda a sua extensão.



Figura 4.9 – Fotos da bacia de retenção do Guará: galeria de entrada; área alagada após chuva; vertedor; orifício de saída.

Em outra visita de campo, durante a época de chuva, verificou-se que ainda havia presença de água detida na bacia de retenção e que seu orifício de saída estava drenando a água, conforme apresentado na Figura 4.9.

## **4.2 MODELAGEM NO PCSWMM**

A modelagem hidráulica e hidrológica da bacia de contribuição da rede de drenagem da bacia de retenção e da própria bacia de retenção foi realizada utilizando o programa SWMM, em sua versão PCSWMM 2017 Profissional, desenvolvida pela CHIWATER. A modelagem se desenvolveu em três partes, sendo a primeira voltada para a verificação do funcionamento da rede de drenagem que contribui para a bacia de retenção do Guará. A segunda parte consistiu na verificação do comportamento da bacia de retenção para um tempo de retorno ( $T_r$ ) de 10 anos, e duração de 24 horas, onde se buscou verificar se a bacia atende as recomendações estabelecidas na Resolução nº 9 da Adasa (2011), que trata do dimensionamento dos reservatórios de quantidade. A última parte consistiu na verificação do comportamento da bacia de retenção para chuvas que ocorrem de forma constante ao longo do tempo, adotando um  $T_r$  de 10 anos e duração igual o tempo de concentração da bacia de contribuição da rede de drenagem.

### **4.2.1 Modelagem da rede de drenagem**

A modelagem no programa PCSWMM da rede de drenagem pode ser dividida em quatro etapas que são sequenciais e que vão da importação dos dados da rede de drenagem e área da bacia de contribuição até a verificação da necessidade de uma bacia de retenção (Figura 4.10), segundo o preconizado pela Resolução nº 9 da Adasa que dispõe sobre procedimentos gerais para o lançamento de águas pluviais em corpos hídricos do Distrito Federal.

Primeiramente buscou-se realizar a modelagem da rede de drenagem dentro do *software* PCSWMM. Para isso, foi inserido no programa a área de contribuição, os poços de visita (PVs), os condutos e galerias que foram previamente arrumados com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas e um programa de geoprocessamento.

Posteriormente, realizou-se a subdivisão da área de drenagem em áreas de contribuição, que são os compartimentos de análise utilizados pelo PCSWMM e que possuem informações acerca da área impermeável e declividade do terreno (Righetto, 2009). Para avaliar direção do fluxo de água, para todas as áreas de contribuição foi indicada uma saída, ou seja, a direção de saída do fluxo de água, que poderia ser um PV próximo, ou outra área de contribuição que se

encontrasse próxima e preferencialmente com cota inferior, buscando melhor adequar o modelo da realidade do fluxo da água precipitada nos terrenos (Figura 4.11). Algumas áreas de contribuição foram desenhadas no próprio programa, enquanto outras foram adotadas como sendo os próprios lotes identificados no uso e ocupação da bacia (Figura 4.5).

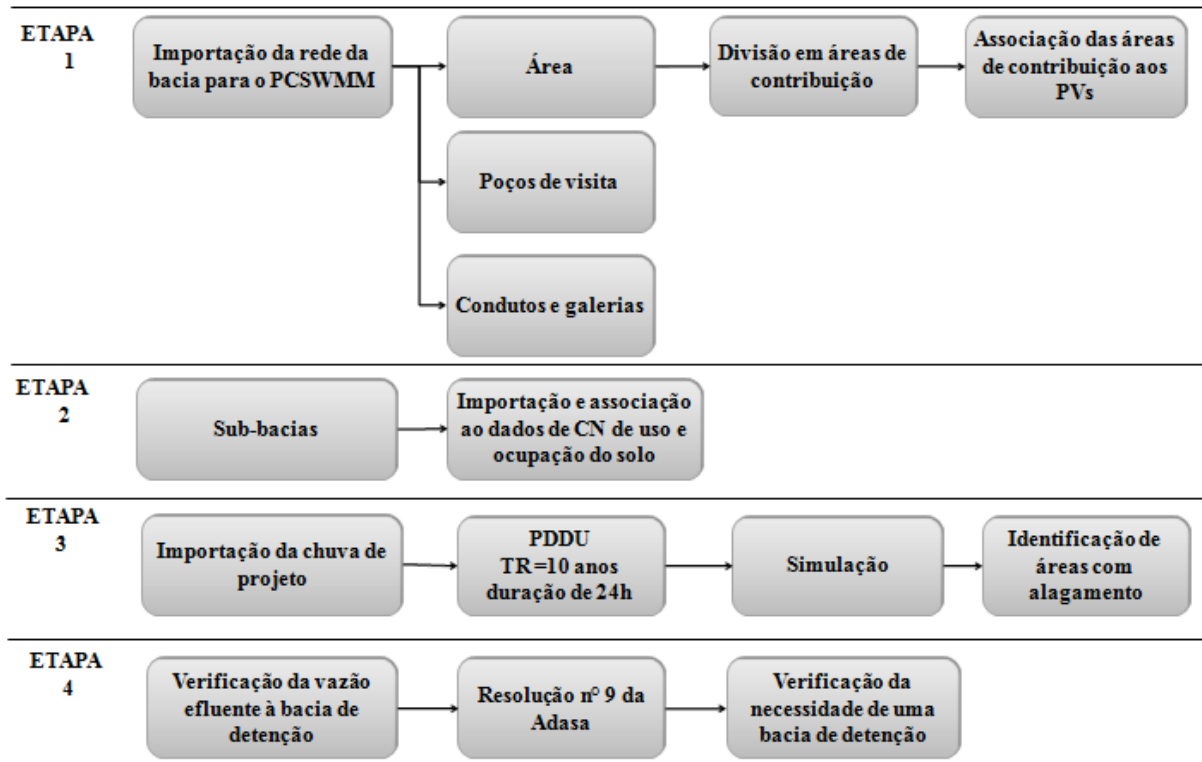


Figura 4.10 - Fluxograma da modelagem da rede de drenagem no programa PCSWMM.

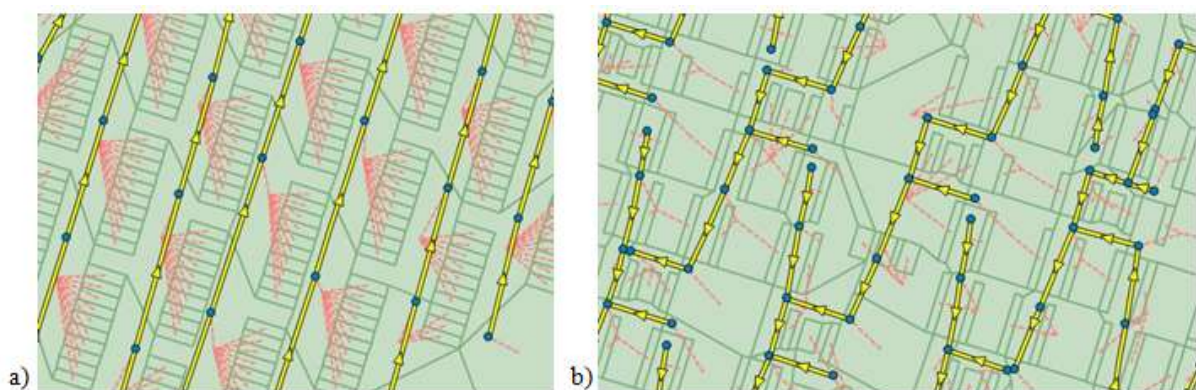


Figura 4.11 – Exemplo de áreas de contribuição e direções de fluxo para outras área de contribuição ou PV: a) Área do Cruzeiro Velho; b) Área do Cruzeiro Novo.

A segunda etapa consistiu na importação dos dados de CN identificados para os diferentes tipos de uso e ocupação do solo. Para isso, calcularam-se os valores dos CN para cada área de

contribuição de acordo com a proporção dos diferentes tipos de uso e ocupação, ou seja, diferentes valores de CN, que estavam presente na área de contribuição.

Para a verificação do funcionamento da modelagem da rede da bacia, associou-se todas as áreas de contribuição a chuva de projeto, que foi a calculada pelo método dos blocos alternados a partir da equação da curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) adotada pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal.

$$I = \frac{1574,7 * T^{0,207}}{(T + 11)^{0,884}}$$

Equação 4.1 – Curva IDF utilizada pelo PDDU (2009).

Sendo: I = intensidade (mm/h); Tr = tempo de retorno (ano); t = intervalo de tempo (min).

Para a modelagem hidráulico-hidrológica, adotaram-se os seguintes valores para os parâmetros da curva IDF: tempo de retorno de 10 anos, intervalo de 5 min e uma duração de 24 horas. Esses valores foram escolhidos segundo a recomendação da Resolução nº 9 da Adasa (2011) que dispõe sobre dimensionamento de bacias de retenção no Distrito Federal.

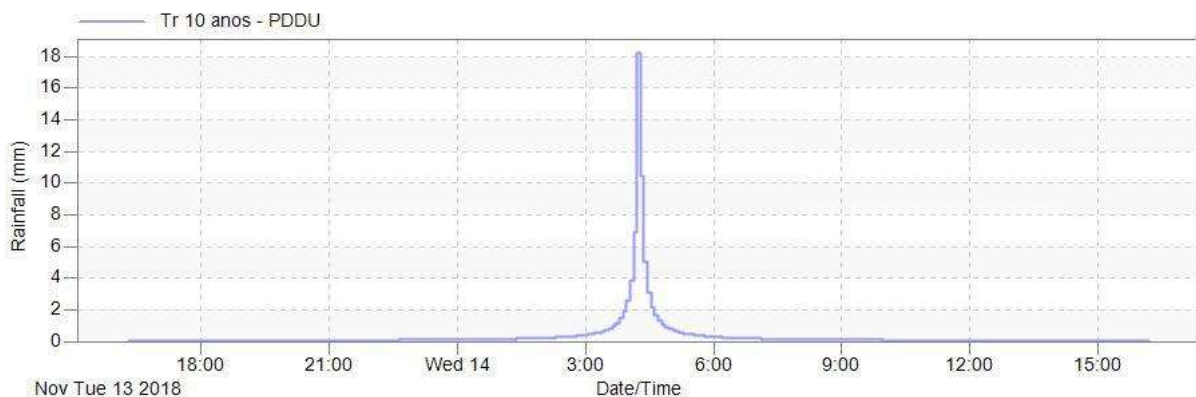


Figura 4.12 – Hietograma da chuva de projeto: PDDU com tempo de retorno (Tr) de 10 anos e duração de 24 horas.

Após o processamento dos dados pelo programa PCSWMM, identificaram-se os pontos de *flooding*, que são os pontos que ocorrem alagamentos ocasionados pela falta de capacidade de drenagem da rede em transportar adequadamente a água pluvial.

A etapa seguinte consistiu na verificação da vazão final da rede de drenagem, ou seja, aquela que caso não existisse a bacia de retenção do Guará, iria diretamente para o córrego do Guará. Com esse valor de vazão, buscou-se avaliar se o lançamento direto atenderia as

restrições de impostas pela Resolução nº 9 da Adasa (2011), que prevê uma vazão máxima de 24,4 L/(s.ha).

O tempo de concentração da área drenada, ou seja, o tempo que a água que entra na rede de drenagem mais distante leva até chegar na entrada da bacia de retenção, se mostrou um parâmetro importante para a caracterização da bacia de retenção. Seu valor pode ser obtido por diversas formulações. Para esse estudo adotou-se a equação de Kirpich (1940).

$$t_c = 0,0663 * L^{0,77} * I^{-0,385}$$

Equação 4.2 - Equação para cálculo do tempo de concentração.

Sendo:  $t_c$  = tempo de concentração (h); L = maior comprimento da rede (km); I = declividade da bacia de contribuição (m/m).

#### **4.2.2 Capacidade de amortecimento da bacia de retenção**

Assim como na metodologia adotada para a verificação do comportamento da rede de drenagem que direciona a água pluvial para a bacia de retenção, utilizou-se a curva IDF adotado no PDDU (Equação 4.1), com tempo de retorno de 10 anos e duração de 24 horas, uma vez que essas são condições estabelecidas pela Resolução nº 9 da Adasa (2011).

Nessa primeira etapa da metodologia, buscou-se melhor compreender como a bacia de retenção funciona, principalmente verificando seu comportamento hidráulico. Assim, ao final da modelagem os resultados apresentados em relação à vazão afluente, vazão efluente e o volume de água ocupado da bacia de retenção foram analisados.



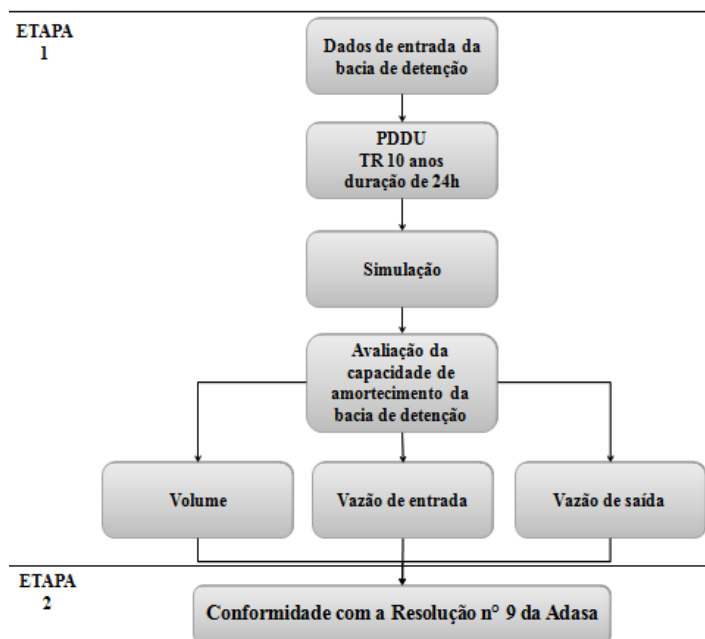


Figura 4.13 - Fluxograma para chuva de projeto do PDDU (2009) e Tr de 10 anos.

Primeiramente foi realizada a modelagem da bacia quando as suas características físicas, como cota de fundo, cota de crista do vertedor, área, volume e orifício de saída. Os dados de entrada utilizados na modelagem da bacia de detenção no PCSWMM são apresentados na Tabela 4.4 e foram obtidos do Relatório do Projeto de Avaliação Ambiental e Estudos de Dissipação do ponto de Lançamento da Galeria do Cruzeiro, realizado pela empresa ArKIS Infraestrutura Urbana Ltda., solicitada pela NOVACAP.

Tabela 4.5 – Parâmetros do projeto original da bacia de detenção do Guará (ArKIS, 2005).

Bacia de detenção	Cota de fundo	1079 m
	Cota do topo	1080,8 m
	Profundidade	1,8 m
	Área	255000 m <sup>2</sup>
	Volume total	459000 m <sup>3</sup>
Orifício de saída	Diâmetro	1 m
	Comprimento	2,25 m

Optou-se pela modelagem da bacia dentro do programa PCSWMM do tipo tabular e devido a não existência dos dados referentes à curva Cota-Área-Volume, estabeleceu-se uma relação linear em que as paredes da bacia são consideradas perpendiculares ao piso da bacia e que em todas as alturas a área ocupada pela água drenada e a mesma. O valor máximo que a lâmina d'água consegue atingir é de 1,8 m, valor referente crista do vertedor de extravasamento de emergência.

Para avaliação da capacidade de amortecimento do pico de vazão provocado pela área de drenagem e que chega até a bacia de retenção do Guará, analisou-se o hidrograma gerado na modelagem realizada no programa PCSWMM. Levou-se em consideração a vazão afluente a bacia de retenção, sua vazão efluente e o volume de água detido ao longo do tempo.

Verificou-se também para qual tempo de retorno de um evento de chuva seria necessário para que a bacia transbordasse, ou seja, quando a lâmina d'água atinge o volume máximo de retenção da bacia e passa pelo vertedor de emergência.

A etapa seguinte se deu pela verificação do atendimento da vazão de saída da bacia de retenção em relação a máxima vazão que um corpo hídrico no Distrito Federal pode receber diretamente da rede de drenagem pluvial, que é de 24,4 L/(s.ha), estabelecido pela Agência Reguladora de Águas do DF, na Resolução nº 9/2011.

### **4.2.3 Comportamento da bacia de retenção**

A bacia de retenção foi modelada no programa PCSWMM buscando compreender sua capacidade de amortecimento de picos de vazão em eventos de chuva constante, ou seja, que possuem mesma intensidade durante determinado período de tempo. O tempo de duração do evento de precipitação foi adotado como sendo o tempo de concentração da bacia de contribuição, que foi calculado anteriormente durante a caracterização da bacia de contribuição.

Com o tempo de concentração e o tempo de retorno de 10 anos, calculou-se a intensidade da chuva para esse evento por meio da utilização da curva IDF recomendada pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (2009), e que foi adotada ao longo de toda a modelagem (Equação 4.1).

Realizou-se em seguida a análise do comportamento da bacia de retenção do Guará para um evento de precipitação de chuva constante, adotando a lâmina d'água precipitada por minuto referente a lâmina d'água da intensidade da chuva calculada. Verificou-se a resposta da bacia de retenção em relação a vazão afluente, efluente e sua capacidade de armazenamento do volume de água detido.

Posteriormente, buscando verificar e comparar o desempenho da bacia de retenção, adotou-se a mesma altura de lâmina d'água precipitada por minuto que a utilizada anteriormente para

uma chuva constante, porém com duração igual ao dobro do tempo de concentração da bacia de contribuição.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o presente estudo buscou-se realizar a avaliação tanto da rede de drenagem da área de contribuição da bacia de retenção localizada na Região Administrativa do Guará II, como a verificação do comportamento da bacia de retenção levando em consideração sua modelagem para dois tipos de chuva, uma a partir da utilização do modelo de blocos alternado usando a curva chave adotada pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal, e a segunda utilizando uma chuva com lâmina d'água precipitada constante com um tempo de duração igual o tempo de concentração de área de contribuição da rede de drenagem. As análises foram realizadas com auxílio da ferramenta de modelagem hidráulico e hidrológica PCSWMM, que possibilitou a simulação desses cenários.

### 5.1 REDE DE DRENAGEM DA BACIA DE DETENÇÃO

A rede de drenagem da bacia de retenção do Guará foi modelada hidráulica e hidrologicamente com auxílio do programa PCSWMM. As características gerais da rede de drenagem são apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Características gerais da rede de drenagem da bacia de retenção.

Características gerais da rede de drenagem	
Área	657 ha
Áreas de contribuição	3.836
Poços de visita (PV)	1.285
Conduitos	1.218
Menor diâmetro	0,4 m
Maior diâmetro	1,8
Segmentos de galeria	64
Menor seção	2 x 2 m
Maior seção	2,7 x 2,4 m
Comprimento total da rede de drenagem	74.330,65 km
Declividade do terreno	1,04%
Elevação máxima	1147,06 m
Elevação mínima	1069,81 m

A área avaliada durante essa modelagem foi obtida por meio de cálculo utilizando a ferramenta *Calculate Geometry*, do programa de geoprocessamento ArcGIS, que foi aplicada ao polígono referente a área de drenagem. Essa área se mostrou menor do que a área informada no projeto original, de 1225 ha. Isso pode estar relacionado a dois fatores, sendo o primeiro a falta de dados referentes aos poços de visita e condutos, uma vez que o polígono da área de drenagem foi desenhado de acordo com a localização dos últimos PVs que se tinha conhecimento de que transportem água pluvial para a bacia de detenção, de modo que assim pode haver mais PVs e condutos pertencentes a essa rede, além disso, pode ser que redes que contribuíram para a bacia de detenção passaram a direcionar as águas pluviais coletadas para outras direções que não mais contribuem para a bacia do Guará.

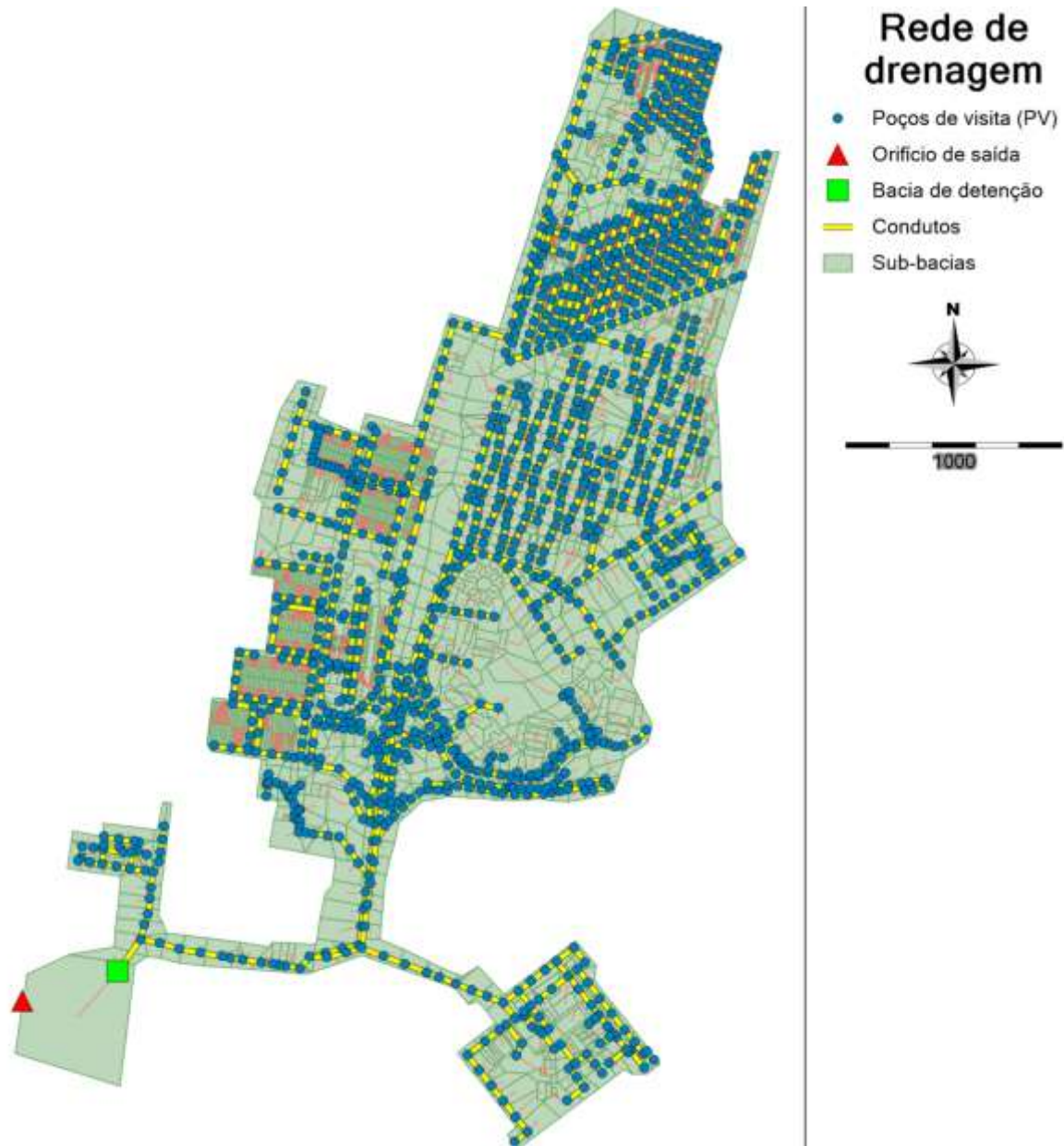
O segundo fator pode estar relacionado à não incorporação de áreas que se encontravam entre locais que possuíam rede de drenagem, mas que eram muito distantes entre si e possui área de campo, como no caso da área entre a Octogonal e o Setor Policial Sul. Apesar da diminuição significativa do tamanho da área, o valor de escoamento superficial apresentado na modelagem e comparado ao valor encontrado no projeto original não são tão diferentes, o que significa que apesar da menor área, as principais áreas urbanizadas, que geram maior escoamento superficial, estão incluídas na área da rede de drenagem do presente estudo. Para encontrar o tempo de concentração da área de drenagem, ou seja, o tempo que a água leva para percorrer o caminho da entrada do PV mais distante até o final da rede de drenagem utilizou-se a fórmula de Kirpich (1940) e foi necessário encontrar os valores para a declividade do terreno, obtido por meio de um Modelo Digital de Elevação, e do maior comprimento da rede de drenagem.

Tabela 5.2 – Tempo de concentração da bacia de contribuição da rede de drenagem.

Declividade	1,04%
Maior comprimento	6,84 km
Tempo de concentração	102 min

O tempo de concentração é de 1h 42 min, considerado um valor alto, mas que se justifica uma vez que a sua rede de drenagem é bastante grande. Esse valor foi adotado posteriormente como sendo o tempo de duração da precipitação com intensidade constante. Levando em consideração

A modelagem dentro do PCSWMM dos condutos, poços de visita, área de contribuição, orifício de saída da bacia de detenção e a saída para o córrego de Guará, são apresentados na Figura 5.1. Esses dados foram importados para o programa e possuíam dados distintos:



5.1- Rede de drenagem que direciona a água pluvial para a bacia de detenção em estudo, modelada no PCSWMM.

No caso das áreas de contribuição, cada uma foi associada a diferentes valores de Curva Número (CN) que foram previamente determinadas para cada uso e ocupação do solo. Assim, cada área de contribuição possui um valor de CN, que está associado ao seu grau de impermeabilização do solo. Na Figura 5.2 é apresentado o mapa da bacia de detenção com a classificação do CN para cada uma das áreas de contribuição.

Existem áreas muito impermeabilizadas, como as áreas do Cruzeiro Velho, Cruzeiro Novo e Setor de Indústrias e Abastecimento (SIA) e áreas que apresentam uma impermeabilização mais moderada, como no caso da Octogonal e Setor Policial Sul. Por sua vez essas regiões exibem áreas relativamente grandes de baixa impermeabilização, que quando comparadas ao mapa de uso e ocupação do solo (Figura 4.5) se constata de que fato então em áreas de campo. A bacia de detenção é considerada impermeável, uma vez que acreditasse que seu fundo seja composto de argila compactada, e por isso aparece bastante destacada na Figura 5.2.

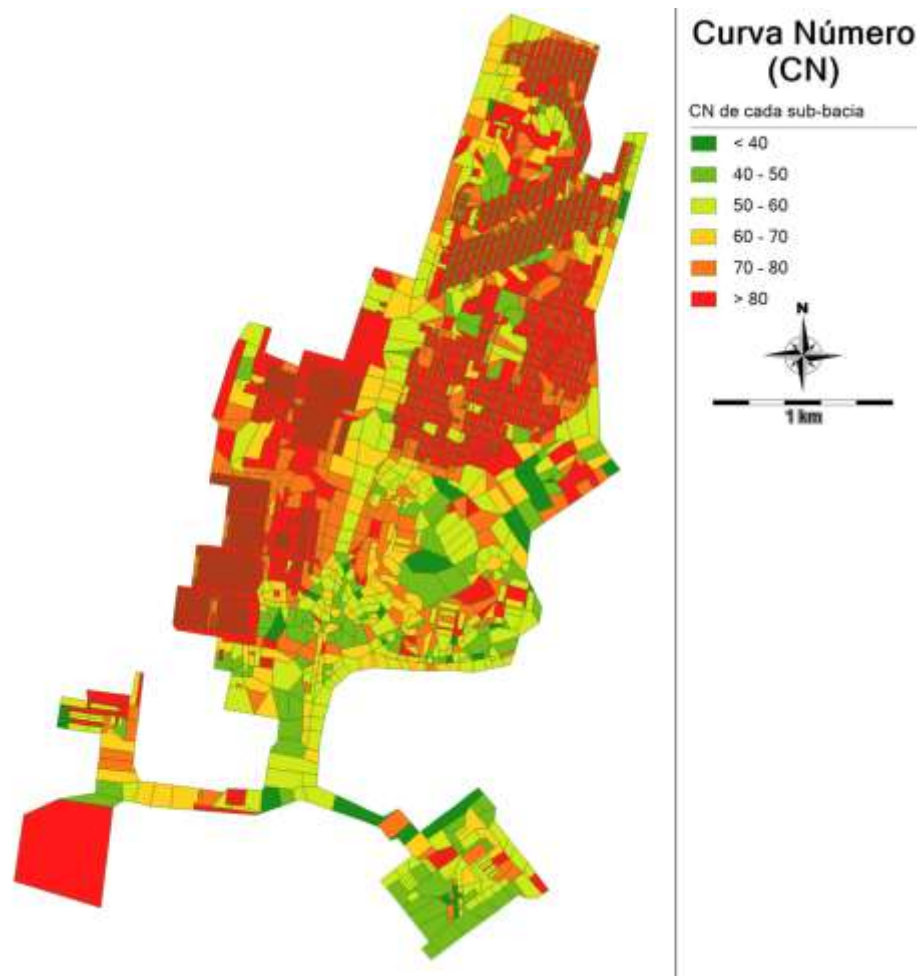


Figura 5.2 – Variação dos valores de CN para cada uma das áreas de contribuição.

Na Tabela 5.3 é apresentada a porcentagem de cada CN em relação a sua área ocupada. Os valores de CN acima de 80 totalizam 36,3% da área de contribuição e incluem área de pavimentação asfáltica, áreas industriais e de comércio, consideradas muito impermeabilizadas. As áreas com CN entre 50-80 representam 50,2% da área de contribuição da rede de drenagem e estão bastante associadas a áreas residenciais, solo exposto e calçadas, mas também são relacionadas como áreas de contribuição com áreas verdes e que possuam

ruas asfaltadas, gerando assim um aumento de seu CN. Já as áreas com maior capacidade de infiltração, como de campo de cerrado e gramados, são os que apresentam menos porcentagem, indicando assim uma alta urbanização da área de drenagem, o que contribui para o alto volume de água pluvial que acaba sendo drenada pela rede.

Tabela 5.3 - Porcentagem dos valores de CN para a área da rede de drenagem.

CN	% de área na bacia
> 80	36,3%
70-80	18,2%
60-70	13,8%
50-60	18,2%
40-50	11,1%
40<	2,4%

Outra questão a ser observada é a relação da impermeabilização do solo com a geração de alagamentos, ocasionados devido a não infiltração da água pluvial no terreno, ocasionando assim uma sobrecarga da rede de drenagem que pode vir a não suportar o volume de água a ser drenado.

### 5.1.1 Verificação do comportamento da rede de drenagem

A modelagem do comportamento da rede de drenagem que direciona a água para a bacia de detenção do Guará – DF, dentro do programa PCSWMM, foi realizada levando em consideração chuva de projeto calculada a partir da curva IDF adotada no Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) do Distrito Federal, com um tempo de retorno de 10 anos, duração de 24 horas e intervalos de 5 min. A Figura 5.3 apresenta o hidrograma de saída de rede de drenagem.

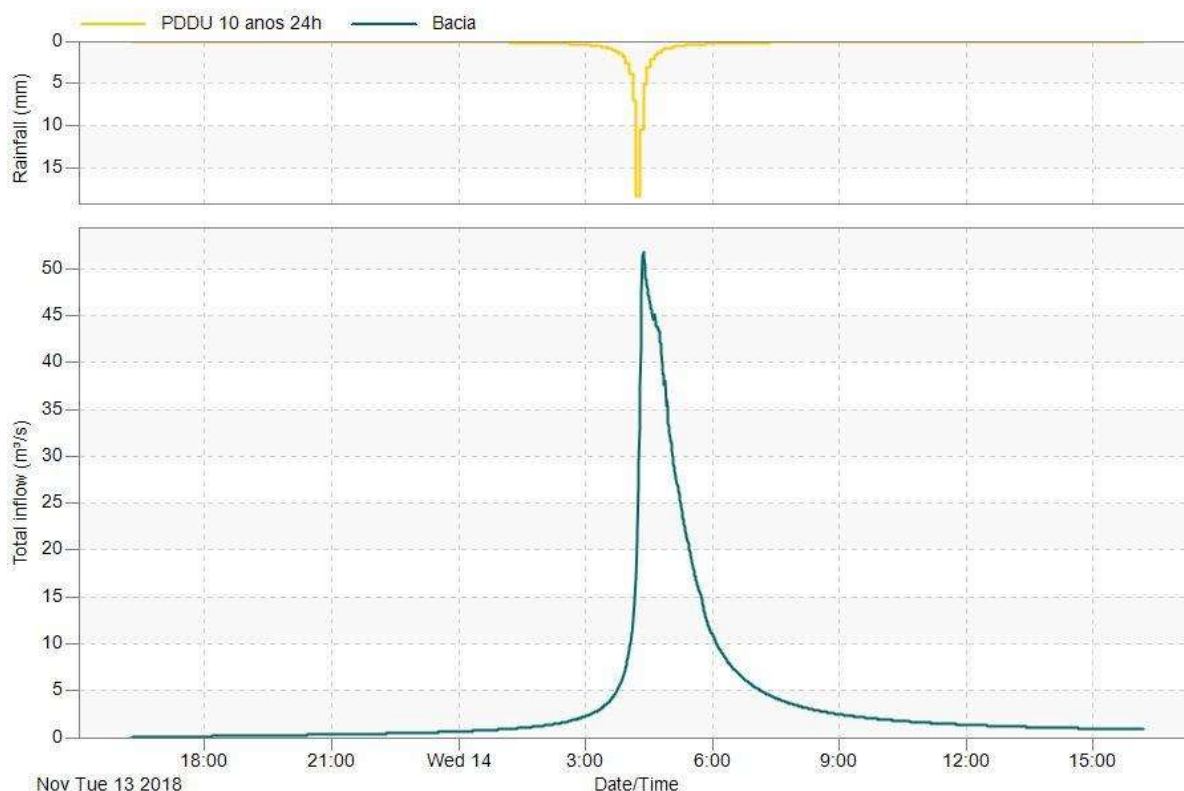


Figura 5.3 – Vazão final da rede de drenagem, modelada a partir da curva IDF do PDDU, tempo de retorno de 10 anos e duração de 24 horas.

De acordo com a Resolução nº 9, de 08 de abril de 2011, da Adasa, que dispõe sobre os procedimentos gerais de obtenção de outorga e lançamento de águas pluviais em corpos hídricos do Distrito Federal, em seu Capítulo IV que discorre sobre os reservatórios de quantidade, a qual diz respeito a bacia de retenção em estudo, especifica que o lançamento direto só da água drenada só é permitido para valores abaixo de 24,4 L/(s.ha).

Uma vez que a área da rede de drenagem possui valor de 657 ha, o valor permitido para lançamento da água drenada direto no córrego do Guará é de 16,03 m<sup>3</sup>/s, valor bem abaixo da vazão de pico da rede de drenagem de 51,86 m<sup>3</sup>/s, apresentada na Figura 5.3. Portanto, realmente se fez necessária a implementação de uma bacia de retenção ao final da rede de drenagem. É importante lembrar que a Resolução nº 9/2011 da Adasa é posterior à instalação da bacia de retenção, entretanto para conferência da capacidade de amortecimento do pico de vazão é válida a aplicação do valor estabelecido pela resolução.

O estudo sobre bacia de retenção já existentes na região do Setor Taquari no Distrito Federal desenvolvido por Silva (2017) mostra que a vazão afluente à primeira bacia de retenção analisada era de 16,8 m<sup>3</sup>/s e que após a bacia de retenção passava para o valor de 0,79 m<sup>3</sup>/s,



alcançando uma eficiência de 95%, e a segunda bacia de retenção avaliada possuía vazão afluente de 8 m<sup>3</sup>/s e efluente de 0,77 m<sup>3</sup>/s, com eficiência de 90%, de modo que ambas as bacias apresentam amortecimento de vazão atendendo a Resolução nº 9/2011 da Adasa. As bacias de retenção como forma de redução do pico de cheia se mostram uma boa alternativa, entretanto a disponibilidade de área, custo de instalação e manutenção, além da baixa aceitação social da população, são fatores que devem ser observados antes de sua escolha como medida alternativa de controle das águas pluviais. Além disso, no Distrito Federal, prevê-se que preferivelmente sejam implementadas medidas de controle na fonte, que buscam infiltrar a água e retê-la nos próprios lotes (GDF, 2017).

Outra análise realizada foi em relação a existência de pontos em que ocorrem extravasamento da rede e possível formação de alagamentos. A oscilação apresentada no hidrograma após o pico de vazão é reflexo da ocorrência de extravasamento dos poços de visita. Os PVs que exibiram esse problema são mostrados na Figura 5.4, em que é possível ver que se localizam principalmente em áreas com alto índice de impermeabilização do solo (Figura 5.2), em que existe elevada presença de lotes residenciais, áreas de comércio e indústrias, além de vias com pavimentação asfáltica, como é possível ver no mapa de uso e ocupação do solo (Figura 4.5).

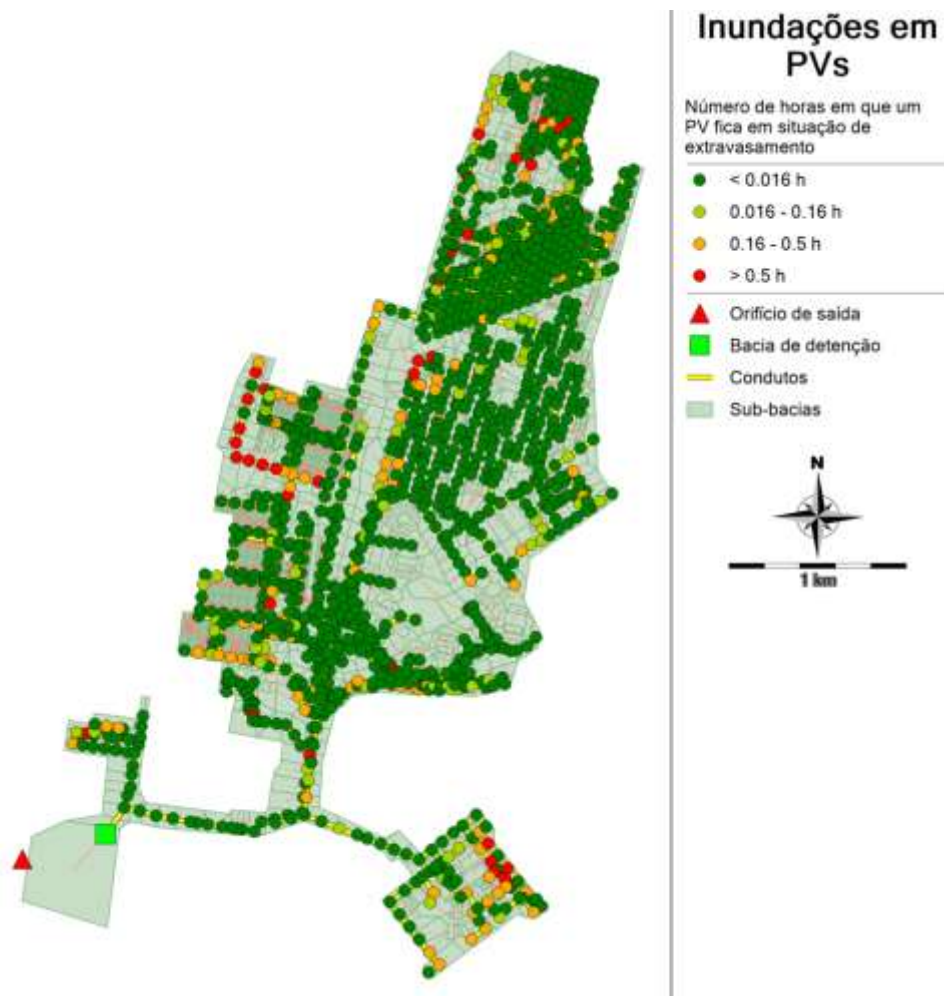


Figura 5.4 – Poços de visita em que acontece alagamentos, classificado pelo período de tempo pelo qual o fenômeno se mantém.

A impermeabilização do solo faz com que a água seja direcionada para as redes de drenagem em grande volume e uma vez que a rede não suporta tamanho volume de água, a água acaba por escoar superficialmente, e dependendo da declividade de terreno, ocasionando alagamentos. A Tabela 5.4 apresenta uma visão geral sobre os PVs e os alagamentos encontrados durante a modelagem.

Tabela 5.4 - Dados gerais da rede de drenagem com enfoque no acontecimento de alagamentos em PVs.

Parâmetros	Valor
Volume efluente	267.500 m <sup>3</sup>
Volume total inundado	83.560 m <sup>3</sup>
PVs inundados	651
% PVs inundados	50,70%
Tempo máximo de inundação em um PV	12h 36 min

O número de poços de visita em que ocorre o alagamento é superior a 50%, mostrando que a rede não suporta a chuva modelada, isso pode estar relacionado ao fato de a rede ter sido dimensionada para um Tr de 5 anos e utilizando 100% da altura de lâmina d'água precipitada. Se comparado o volume de água que é extravasado da rede de drenagem com o volume efluente a rede, o valor chega a 31,2%. O tempo máximo de inundação encontrado em um PV é muito alto, porém vale ressaltar que isso não reflete a situação dos demais poços de visita em que ocorre o extravasamento, sendo o tempo médio de 7 min. O dimensionamento adequado da rede de drenagem é fundamental para evitar transtornos para a sociedade, como destruição de patrimônios públicos e privados, e a interrupção do fluxo das vias.

Também deve ser levada em consideração o fato de que os locais que apresentaram um tempo maior de ocorrência de alagamento, Cruzeiro Velho, Cruzeiro Novo, SIA, são locais que não possuíam muitos dados de PV e condutos, logo o alagamento pode estar associado também a uma adequação insatisfatória dos valores para com a realidade, tanto em relação à profundidade dos PVs, quanto a sua cota de tampa que foi considerada como a cota do terreno. Isso somado a alta impermeabilização da área, podem ser citados como principais fatores causadores de inundações nas regiões.

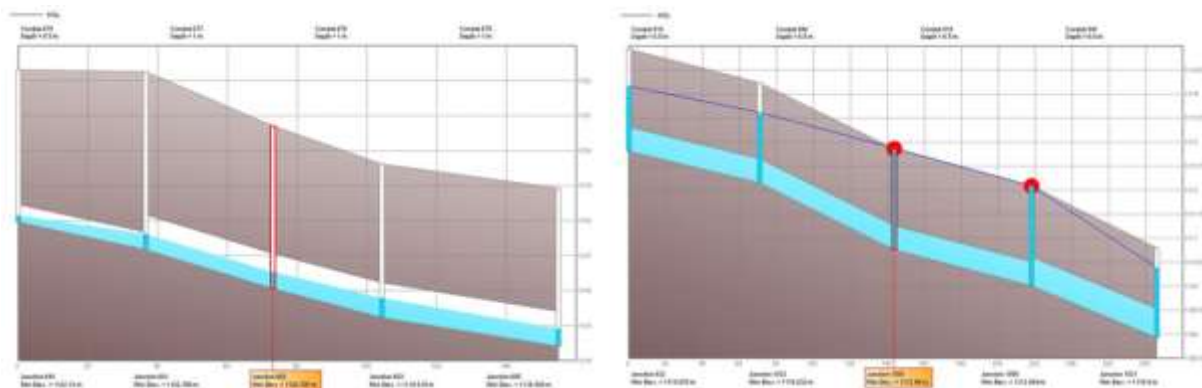


Figura 5.5 - Condutos da rede de drenagem. A esquerda um conduto da região da Octogonal e a direita um conduto localizado no SIA.

Na Figura 5.5, ao observar o perfil dos condutos que se encontra na região da Octogonal (esquerda) é possível verificar que o escoamento acontecendo durante o evento de pico de cheia em um conduto que está bem dimensionado e em momento algum acontece o extravasamento da rede de drenagem. Entretanto, para o conduto localizado no SIA (direita), nota-se que o conduto não consegue suportar a vazão que está sendo drenada e acaba por ocorrer a situação de alagamento e consequentemente a ocorrência de inundação na superfície do terreno. Para o bom funcionamento da drenagem urbana, a situação verificada no perfil dos

condutos do SIA, deve ser evitada, de modo que o dimensionamento da rede deve levar em consideração fatores já antes citados, como impermeabilização do solo, capacidade do solo de infiltração e área a ser drenada.

Outras medidas que podem ser adotadas para se evitar a ocorrência de alagamentos na rede de drenagem poderiam ser a instalação de dispositivos alternativos de controle de escoamento. O estudo realizado por Fileni (2017) na Região Administrativa da Ceilândia no Distrito Federal, fez a análise de três cenários hipotéticos utilizando medidas alternativas de controle de escoamento, sendo eles a utilização de reservatórios de quantidade ao longo e ao final da rede de drenagem e pavimentos permeáveis que foram responsáveis pela redução expressiva das áreas inundadas da região, chegando a 40%, enquanto que as bacias de retenção apresentaram baixa ou nenhuma ou redução, o que é próprio de sua característica, não sendo essa uma de suas funções principais.

## **5.2 FUNCIONAMENTO DA BACIA DE DETENÇÃO**

Para o dimensionamento da bacia de retenção e avaliação de seu comportamento, levou-se em consideração que possuía uma declividade nula e que suas paredes eram perpendiculares ao solo. A presença de sedimentos no fundo da bacia e de vegetação foi considerada como não possuindo influência sobre o comportamento hidráulico. Logo, esses valores são válidos para a bacia de retenção do Guará tendo em vista o começo de seu funcionamento.

### **5.2.1 Amortecimento da bacia de retenção**

A capacidade de amortecimento da bacia de retenção foi analisada segundo o recomendado pela Resolução nº 9/2011 da Adasa, que pede a utilização para a chuva de projeto um tempo de retorno de 10 anos e duração de 24 horas. A curva de IDF utilizada durante a modelagem hidráulico-hidrológica da rede de drenagem foi a adotada pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal, apresentada na Equação 4.1.

A vazão máxima afluente à bacia de retenção, que corresponde a vazão de saída da rede de drenagem, juntamente com a vazão efluente à bacia de retenção, ou seja, aquela que é liberada pelo orifício de saída localizado ao fundo da bacia, são apresentadas na Figura 5.6.

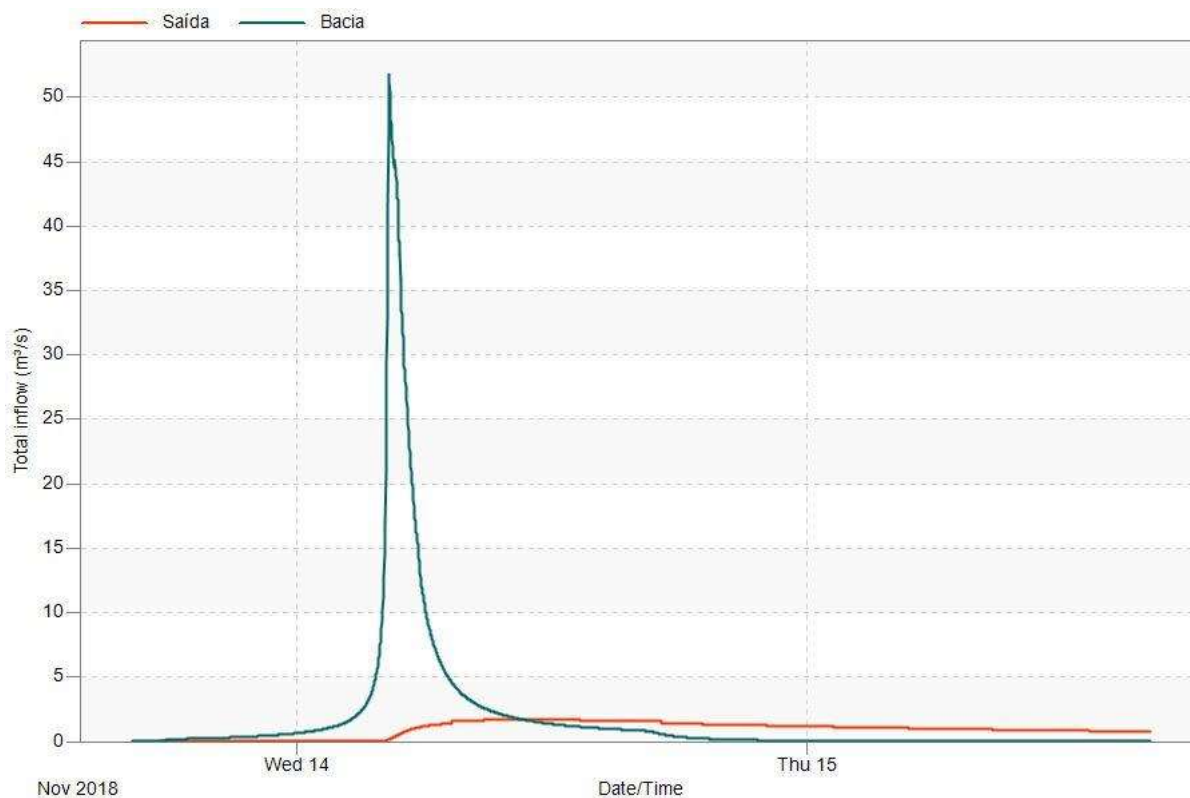


Figura 5.6 - Vazão afluente e efluente à bacia de retenção do Guará.

Na Figura 5.6 é possível ver que a bacia de retenção de fato possui a característica de amortecimento dos picos de cheia, uma vez que a vazão afluente a bacia é muito elevada em comparação a sua vazão efluente (Tabela 5.5), chegando a 96,7% de abatimento da vazão, logo, o impacto gerado no córrego do Guará que recebe essa água é muito menor. Outra questão interessante é que apenas um período aproximado de 19 horas, a vazão que sai da bacia passa a ser maior do que a vazão de entrada.

Tabela 5.5 - Valores da vazão afluente e efluente a bacia de retenção do Guará.

	Bacia	Saída
Máxima vazão (m³/s)	51,86	1,68

Enquanto a vazão de entrada durante o pico de cheia chega a 51,86 m³/s, a vazão que passa pelo orifício de saída é de 1,68 m³/s, que em comparação ao valor que é permitido pela Adasa (2011) para o lançamento da água pluvial no córrego do Guará, igual a 16,03 m³/s, se encontra muito abaixo, logo a bacia desempenha um papel de amortecimento da vazão muito além da desejada. Portanto, em termos quantitativos, a vazão que alcança o curso d'água receptor causa impactos de baixa magnitude.

A Figura 5.7 apresenta o perfil dos condutos, PVs, orifício de saída e da bacia de detenção (em vermelho), durante o período em que recebe o pico de vazão. Nota-se que a vazão de água afluyente à bacia de detenção é superior à vazão efluente, mostrando assim o amortecimento da onda de pico, de modo que essa diferença de volume fica armazenada temporariamente na bacia de detenção.

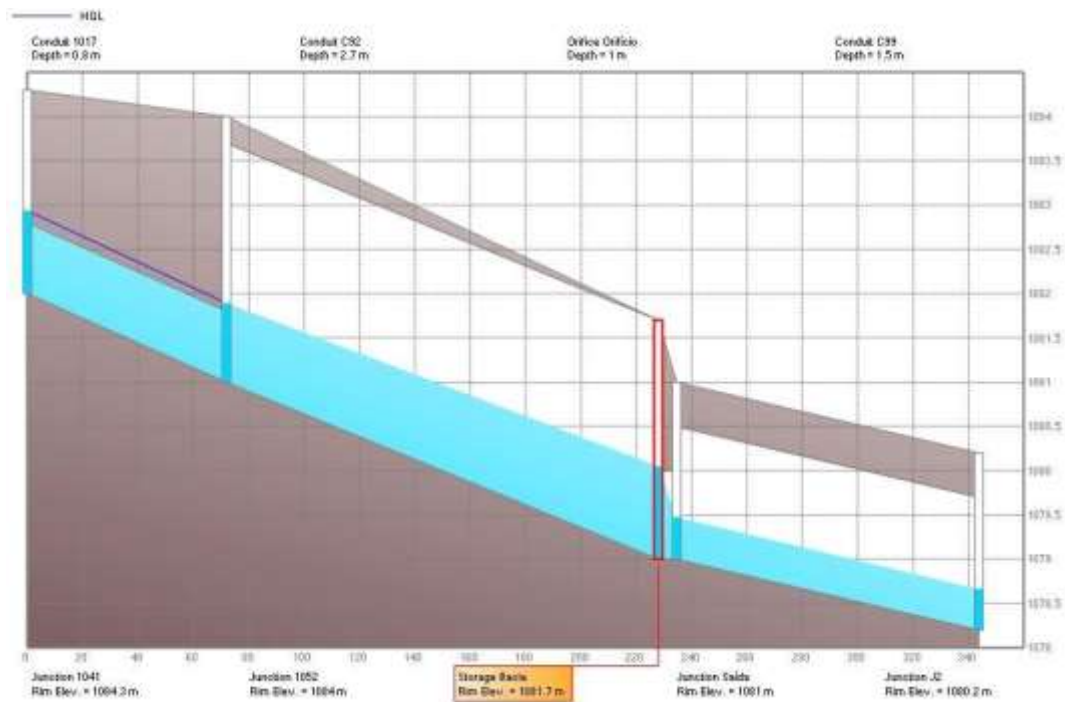


Figura 5.7 - Perfil da rede de drenagem afluente e efluente a bacia de detenção, circulada em vermelho.

Outro parâmetro a ser avaliado é a capacidade de acumulação de água na bacia de detenção, ou seja, o volume de água que é armazenado durante um evento de chuva, no caso dessa simulação, para tempo de retorno de 10 anos e duração de 24 horas. A curva de armazenamento de volume na bacia é exposta na Figura 5.8. O volume armazenado possui um crescimento relativamente rápido quando comparado a sua taxa de decaimento que é consideravelmente mais lenta, estando relacionada ao orifício de saída e a forma da bacia.



Figura 5.8 – Volume armazenado na bacia de retenção para  $T_r$  de 10 anos e duração de 24h. Como apresentado na Figura 5.8, o volume de água armazenada na bacia de retenção para o evento de precipitação estudado, gera um volume máximo de 267.500 m<sup>3</sup>, e uma vez que o volume de armazenamento da bacia é de 459.000 m<sup>3</sup>, o volume realmente aproveitado é de 58,3%.

A altura alcançada pela lâmina d'água durante esse evento de precipitação é de 1,05 m, o que significa que não foi necessária a utilização do vertedor de emergência. Esses valores não levam em consideração a presença de vegetação e sedimento na bacia de retenção e que podem vir a apresentar influência sobre o comportamento hidráulico da bacia de retenção.

A Figura 5.9 apresenta no gráfico superior a vazão de saída pelo orifício e no gráfico inferior a altura de água dentro do orifício, sendo que seu diâmetro é de 1 m. Percebe-se que o orifício trabalha cerca de 10 horas afogado, de modo que seu escoamento é forçado, gerando assim um aumento na vazão de escoamento da água e um esvaziamento da bacia de retenção mais acelerado. Entretanto, a maior parte do tempo o orifício de saída se encontra não afogado, ocasionando uma demora no esvaziamento da bacia.

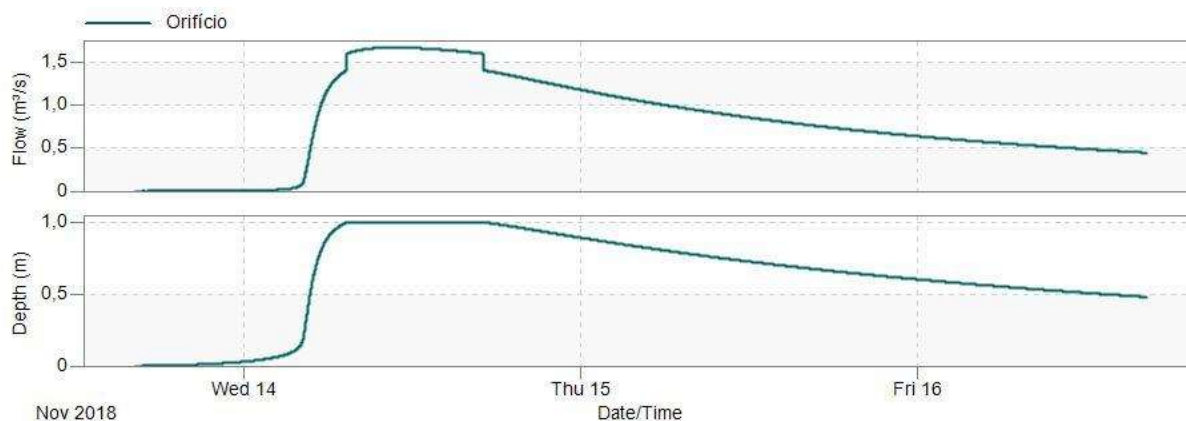


Figura 5.9 - Vazão de saída e altura que a água atinge dentro do orifício de saída.

Frente a esse resultado, verificou-se qual seria o valor do tempo de retorno para o qual a bacia de detenção consegue suportar a uma máxima vazão afluente sem que ocorra a necessidade do extravasamento de água por seu vertedor de emergência. Para isso manteve-se a duração de 24 horas e a curva IDF do PDDU do Distrito Federal. A Figura 5.10, exibe o comportamento da bacia de detenção para os tempos de retorno de 10, 50, 100, 290 anos.

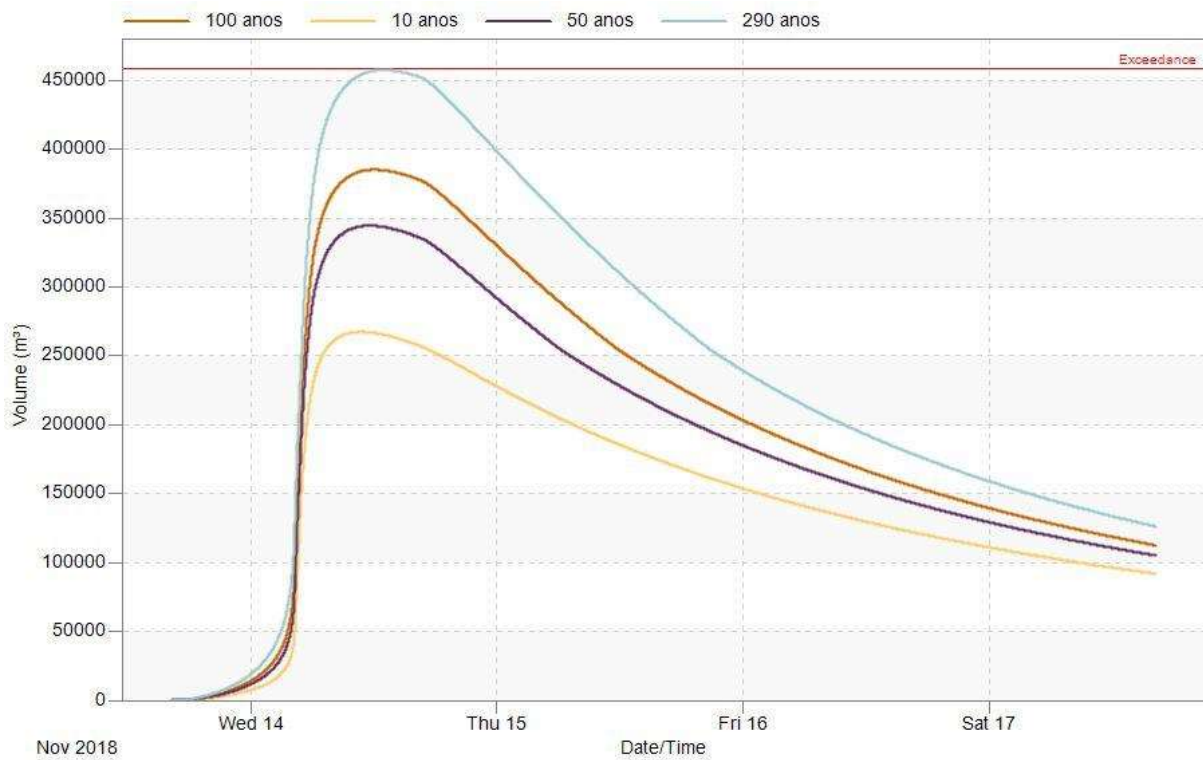


Figura 5.10 - Tempo de retorno associado ao máximo volume da bacia de detenção.

Para que a bacia de detenção do Guará não utilize seu vertedor de emergência, durante um único evento de precipitação, levando em consideração que a bacia se encontra completamente vazia ao começo da chuva, que o tempo de duração seja de 24 h, esse evento precisará ter um tempo de retorno deverá de 290 anos, com uma intensidade máxima de 8,16 mm/h.

A Tabela 5.6 apresenta uma comparação entre os valores dos volumes na bacia de detenção para diversos anos, e sua porcentagem em relação ao volume total da bacia de detenção de Guará.



Tabela 5.6 - Volumes para diferentes tempo de retorno em comparação ao volume da bacia de retenção e altura de lâmina d'água alcançada.

Tempo de retorno (anos)	Volume (m <sup>3</sup> )	% de volume ocupado	Lâmina d'água (m)
10	267.500	58,3	1,05
50	344.600	75,1	1,35
100	385.200	83,9	1,51
290	457.600	99,7	1,79

Eventos dessa magnitude são extremamente raros, logo, para um evento de chuva único dificilmente a bacia irá verter água. Entretanto é mais comum que aconteçam vários eventos de chuva em determinado período do ano, como é o caso de Brasília, portanto em condições que a bacia já se encontre com certo volume de água, pode acontecer que o vertedor venha a ser utilizado, mesmo para precipitações com tempo de retorno consideravelmente menor.

Percebeu-se que a bacia de retenção nessa modelagem leva um tempo extremamente longo para esvaziar e que mesmo a modelagem utilizando um tempo de sete dias ainda havia volume de água detido na bacia, sendo esse valor muito superior ao tempo recomendado de 24 horas para bacias de retenção. Esse tempo excessivamente longo pode trazer problemas como cheiro desagradável, além de atrair a presença de animais e proliferação de insetos que podem vir a ser fonte ou propagadores de doenças, como a dengue. Esses problemas, associados à falta de manutenção desses locais são motivos que levam a população a não querer a presença dessas estruturas próximas a áreas residenciais.

O tempo excessivo de retenção de volume de água na bacia foi relacionado a três principais fatores sendo o primeiro a forma da bacia, o segundo o comportamento do orifício de saída e o terceiro é a utilização de apenas um orifício de saída, uma vez que se utilizassem no local mais de um dreno, seria possível o esvaziamento com maior vazão, desde que respeitando a máxima vazão estipulada pela Resolução n° 9 da Adasa, o que ocasionaria em um tempo de esvaziamento menor.

Em relação à forma da bacia, foi dimensionada dentro do programa PCSWMM, por meio da inserção da relação entre profundidade e área ocupada, em que se considerou que a uma altura nula, a área seria 25,5 ha, e que essa área permanece a mesma ao longo da altura da bacia de retenção, assim, suas paredes são perpendiculares ao piso. Portanto, como a área da bacia de retenção é grande mesmo uma lâmina de água pequena, provoca um volume alto restante dentro da bacia. Caso a bacia possuísse uma forma trapezoidal invertida, esse volume de água

armazenado seria muito inferior, uma vez que a área da base seria menor e consequentemente o mesmo valor de altura de água restante ao final de um período de, por exemplo, 24 horas, ocasionaria um volume de água bastante inferior ao detido em uma bacia com paredes perpendiculares, como é o caso da bacia de retenção do Guará II. Outra questão é a não existência de declividade do fundo da bacia, o que proporciona uma estabilização na vazão de saída ao longo do tempo.

A Figura 5.11 apresenta a bacia de retenção de uma vista superior após ocorrência de chuva. A estrada de água ocorre onde indica a seta no canto inferior e o vertedor e o orifício de saída se encontram sinalizados pela seta no canto superior. É possível ver a presença de água acumulada principalmente localizada perto do vertedor e isso pode significar que a água possui um caminho preferencial dentro da bacia e que não está ocupando toda a área disponível da mesma forma, o que pode contribuir consideravelmente para o extravasamento da bacia em situação real.



Figura 5.11 - Vista superior da bacia de retenção com grande presença de água próxima ao vertedor.

### 5.2.2 Comportamento da bacia de retenção com chuva constante

A ideia de verificar o comportamento hidráulico-hidrológico utilizando uma chuva que possua uma lâmina d'água precipitada por minuto de modo constante ao longo de um determinado período de tempo é de buscar compreender como a bacia de retenção se comporta para eventos de chuva mais curtos, entretanto com uma precipitação constante.

Adotou-se como o tempo de duração da precipitação o tempo de concentração da bacia de contribuição, que é de 102 min. Com um período de retorno de 10 anos, calculou-se a intensidade da chuva utilizando a curva IDF adotada pelo PDDU (2009), que apresentou um resultado de 38,8 mm/h, logo a lâmina d'água precipitada foi de 0,65 mm/min. A Figura 5.12 apresenta a vazão afluyente e efluente à bacia de detenção nas condições de modelagem citadas.

Percebe-se que provavelmente a influência de extravasamento nos poços de visita da rede possui maior relevância na análise de eventos de chuva constante, principalmente relacionada ao fato de a intensidade ser elevada, o que faz com que os PVs não possuam condições físicas de drenar toda a água escoada superficialmente. Na Figura 5.12 isso é possível de ser verificado durante o crescimento da curva de vazão afluyente à bacia de detenção que apresenta grande oscilação. Os dois picos na curva de crescimento são os picos de vazão referentes às duas áreas de contribuição menores, a primeira localizada logo acima da bacia de detenção e a segunda localizada no Setor Policial Sul.

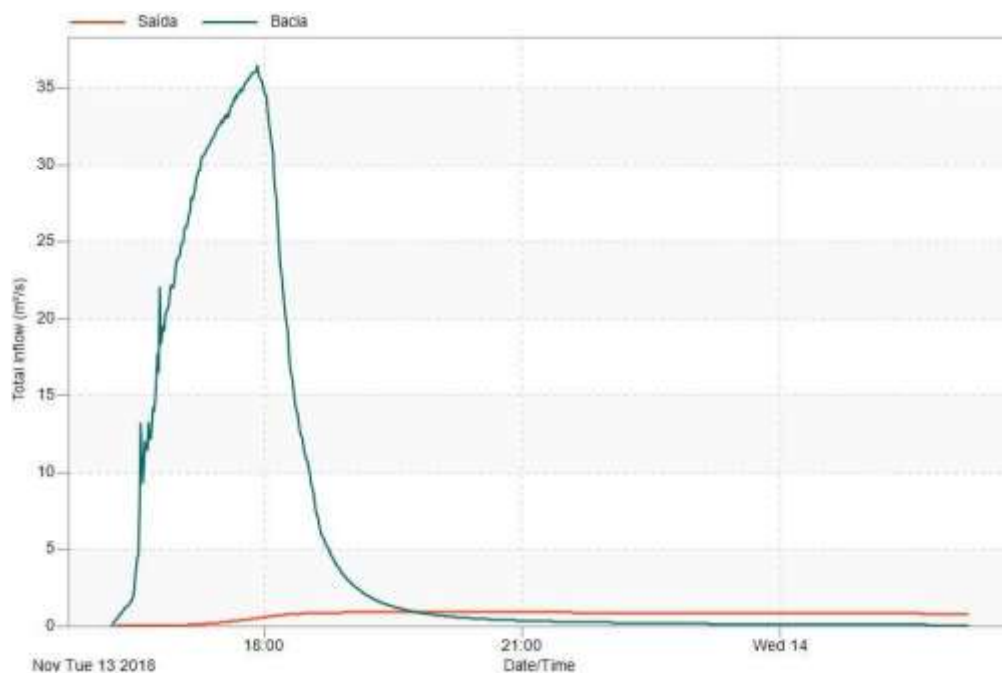


Figura 5.12 – Vazão de afluyente e efluente a bacia de detenção para chuva de 102 mm.

A vazão de pico que chega até a bacia de detenção para essa chuva constante é de 36,51 m³/s enquanto que a vazão máxima de saída é de 0,89 m³/s, amortecendo em 97,6% a vazão afluyente, valor considerado muito elevado e que mostra a alta capacidade da bacia de detenção que diminui consideravelmente o impacto no córrego do Guará (Figura 5.12). O orifício de

saída não chega a utilizar em momento algum seu limite, ou seja, durante a drenagem da bacia de detenção, o fluxo acontece em regime de escoamento livre todo o tempo.

O volume de água armazenado na bacia de detenção durante esse evento de chuva é de 190700 m<sup>3</sup>, o que significa um volume ocupado de 41,5%, sendo valor considerável, levando em consideração que a chuva possui uma duração de apenas 1 h e 42 min. Enquanto que a lâmina de água acumulada no reservatório chega no máximo 0,75 m, explicando assim o porquê de o orifício de saída trabalhar o tempo todo em escoamento livre.

Diante dessa questão, modelou-se uma segunda chuva com mesma lâmina d'água precipitada por minuto de 0,65 mm, porém com o dobro do tempo de concentração, ou seja, 204 minutos, de modo que se tempo de retorno passa a ser de 156 anos.

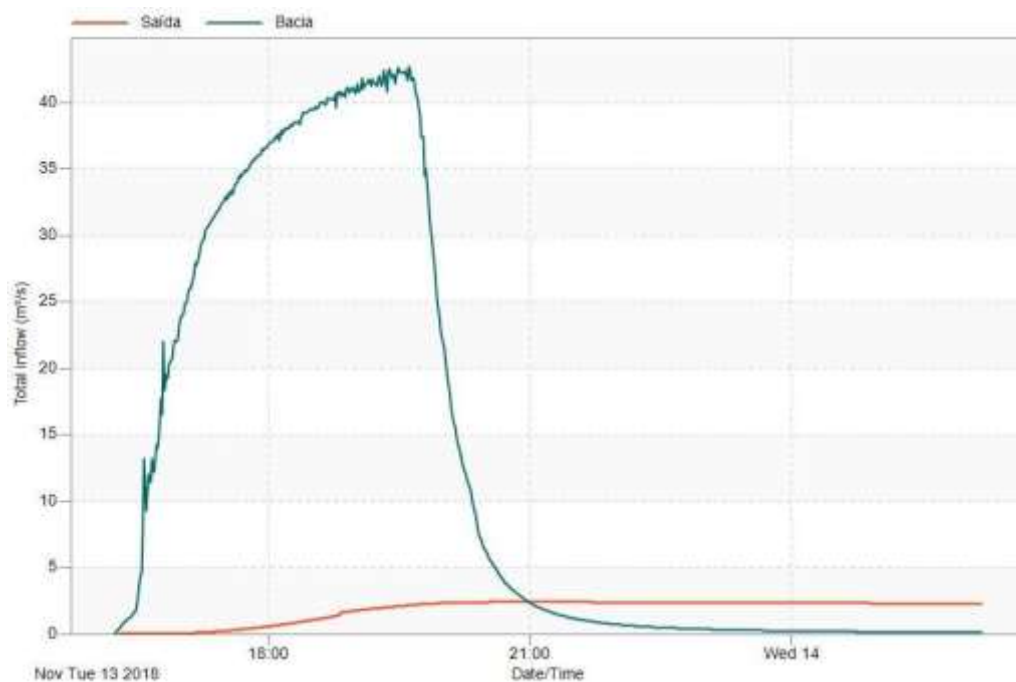


Figura 5.13 – Vazão afluente e efluente à bacia de detenção para duração de 204 min.

A vazão afluente de pico que chega à bacia de detenção passa a ser de 42,74 m<sup>3</sup>/s, enquanto que a vazão efluente sobe para 2,4 m<sup>3</sup>/s, o que significa um amortecimento de 94,4% considerado muito bom, e que atende a vazão que o córrego do Guará pode receber segundo a Resolução n° 9 da Adasa. Levam cerca de 5 h para que a vazão de água que está chegando a bacia seja menor do que a sua saída.

Realizou-se uma comparação entre ambas as chuvas em relação a desempenho do orifício de saída. Na Figura 5.14 vê-se que para a chuva com o dobro de tempo o orifício funciona

durante mais de um dia sob a condição de conduto forçado, ou seja, a altura de água armazenada no reservatório é superior ao diâmetro do orifício de saída. Em comparação com a chuva de menor duração, essa condição nunca chega a acontecer. Isso pode explicar o fato da diminuição da capacidade de amortecimento da vazão para a chuva com 204 mim quando comparada a de 102 mim, pois sob regime de escoamento forçado a velocidade que a água sai da bacia tende a ser superior, ocasionando uma vazão superior, o que consequentemente diminui a capacidade de amortecimento. Percebe-se ainda que com o passar do tempo, ambas as curvas tendem a estabilizar, diminuindo assim o fluxo de saída da água da bacia de detenção.

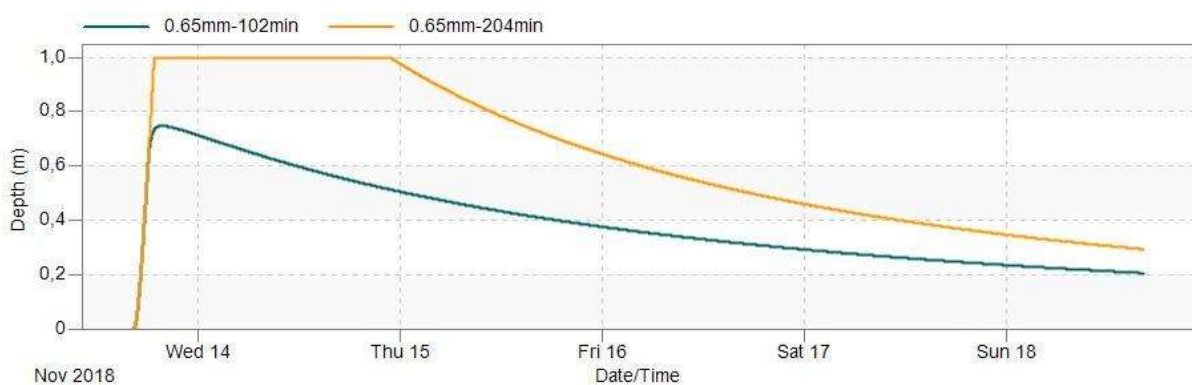


Figura 5.14 – Comparação entre funcionamento do orifício de saída.

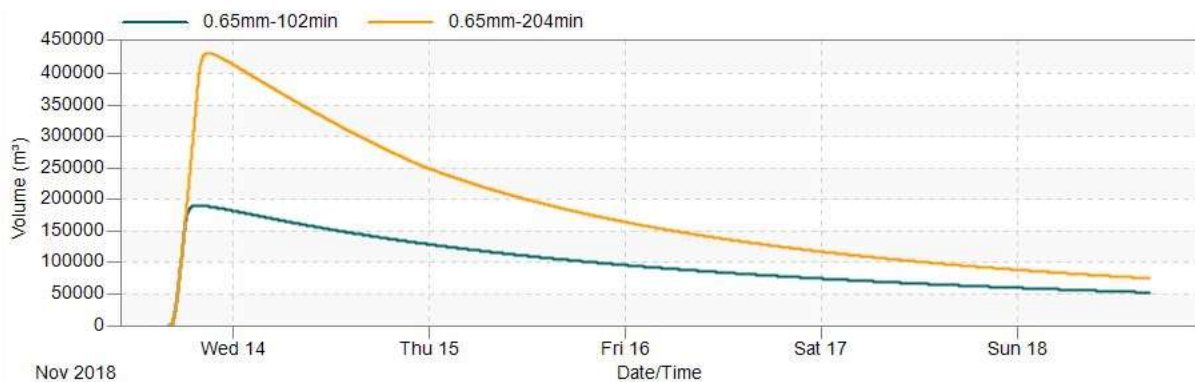


Figura 5.15 - Comparação entre os volumes armazenados.

Em relação ao volume armazenado (Figura 5.15) o volume de água detido na bacia para a chuva com o dobro de tempo chega a 432.500 m<sup>3</sup>, resultando em uma ocupação do volume útil pela bacia de 94,2%, o que significa uma altura de água de 1,7 m em que quase ocorre o transbordamento da bacia de detenção por seu vertedor de emergência. Dessa maneira, nota-se que para chuvas com lâmina d'água constante é provável que seja necessário a utilização do vertedor de emergência com um tempo de retorno menor do que o encontrado na

modelagem com precipitação variável ao longo do tempo. Além disso, a presença de sedimentos no fundo da bacia de detenção, assim como a presença de vegetação, faz com que o volume útil da bacia seja menor, ocasionando um volume de armazenamento menor, o que pode fazer com que o vertedor de emergência seja utilizado para chuvas com menor tempo de duração e menor intensidade do que as modeladas neste estudo.

## 6 CONCLUSÃO

A utilização do programa de modelagem hidráulico e hidrológico PCSWMM foi fundamental para o desenvolvimento das análises, apresentando resultados que condicionaram a verificação do comportamento da rede de drenagem e do desempenho da bacia de detenção, levando em consideração fatores como uso do solo, tipo de solo, características da rede de drenagem, e apresentando resultados em forma de tabelas, gráficos e perfis, facilitando a compreensão do sistema. Entretanto o modelo apresentou inconsistências numéricas durante uma das modelagens, o que pode vir a ser melhorado diante de uma análise das características adotadas pelo PCSWMM para essa simulação.

O uso e ocupação do solo apresentou uma forte influência sobre o deflúvio gerado na área de drenagem estudada, ocasionando um volume de água escoada considerado muito elevado que não poderia ser diretamente lançado no córrego do Guará, uma vez que não atenderia a Resolução nº 9/2011 da Adasa. A rede apresentou pontos de alagamento significando que não suporta o volume de água gerado para a chuva modelada.

A modelagem da bacia de detenção tanto para a chuva de projeto em que se utilizou a curva IDF adotada pelo PDDU do Distrito Federal com tempo de retorno de 10 anos e duração de 24 horas, quanto a chuva constante com duração igual ao tempo de concentração da bacia de detenção, apresentaram uma capacidade elevada de amortecimento das vazões de pico, chegando a valores acima de 94% e atendendo a legislação vigente, mostrando um comportamento hidráulico satisfatório.

A elevada capacidade volumétrica da bacia faz com que nas situações simuladas para chuva variável, apenas para valores de tempo de retorno superior a 290 anos ocorra a necessidade da utilização do seu vertedor, enquanto que na modelagem de chuva constante o valor de  $T_r$  para verter água da bacia de detenção é menor. Os demais casos toda a drenagem da bacia é realizada pelo orifício de saída. Para uma melhor compreensão do comportamento real da bacia deve-se levar em consideração em ambos os casos de modelagem a presença de sedimentos, vegetação e a provável formação de um caminho preferencial do fluxo de água dentro da bacia.

Uma modelagem que leve em consideração um volume de água já presente na bacia no início da simulação, poderia representar uma situação mais próxima da realidade para períodos de

chuva no Distrito Federal, e provavelmente diminuiria o tempo de retorno da chuva de projeto para que ocorresse o extravasamento pelo vertedor de emergência.

Apesar de ter sido utilizado um orifício de saída como dispositivo de descarga de fundo, na bacia em estudo o que existe é um tubo curto realizando a descarga. Simulações realizadas mostraram que os resultados, em termos de vazão, são muito próximos, com o esperado, mas ocorreram instabilidades numéricas que ainda não foram resolvidas e por isso manteve-se, neste estudo, a descarga por orifício.

As bacias de retenção vêm se apresentando como uma boa alternativa estrutural para controle dos picos de vazão causados pela impermeabilização do solo, diminuindo os impactos causados nos corpos receptores. Assim também, a bacia de retenção do Guará apresenta sua importância ambiental frente à urbanização do Distrito Federal. No entanto, esse caso é quase uma exceção em áreas urbanas, pois aproveita uma área que estava sendo utilizada para outra finalidade.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. (2011). Resolução n.º 9 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. **Diário Oficial do Distrito Federal**. Brasília, 11 de abril de 2011.
- ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. (2018). **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal**. Brasília: ADASA.
- ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. (2015). **Relatório de consulta técnica: Diretrizes para o desenvolvimento de recarga artificial de aquíferos no Distrito Federal**. Brasília.
- ANA – Agência Nacional de Águas. (2017). **Atlas Esgotos: Despolição das Bacias Hidrográficas**. Disponível: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10 de junho de 2018.
- ArKIS Infraestrutura Urbana Ltda. (2005). **Projeto de avaliação ambiental e estudo de dissipação dos pontos de lançamentos da galeria do Cruzeiro – Guará – Distrito Federal**. Brasília, DF, 56p.
- ASSUNÇÃO, V. R. D. A. (2012). **Proposta de Metodologia de Cálculo para Reservatórios de Detenção em Bacias Hidrográficas Urbanizadas**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos.
- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S; CRÊS, F. N.; ALFAKIH, E. (1994). **Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial: Choix, Conception, Réalisation et Entretien**. Technique et Documentation. Lavouisier. Paris, França. 372 p.
- BAPTISTA, M. B; NASCIMENTO; N; BARRAUD, S. (2005) **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre.
- BELING, F. A. (2013). **Análise do desempenho do modelo SWWM5 acoplado ao**

**calibrador PEST na bacia do Arroio Canela – RS.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, RS.

- BERQUE, J.M.; RUPERD, Y. (coordenadores). (2000). **Stormater retention basins.** Rotterdam: A. A. Balkema.
- BRASIL. (2007). Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União.** Brasília, 08 de janeiro de 2007.
- BRASIL. (2018). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo das Águas Pluviais Urbanas – 2015.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Brasília: MCIDADES. SNSA. 190 p.
- CANHOLI, A. P. (2005). **Drenagem urbana e controle de enchentes.** 1ª ed. Oficina de Textos, São Paulo, 302 p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2007). **Bioma Cerrado: Latossolo.** Agência de Informação Embrapa. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_96\\_10112005101956.htm](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.htm)>. Acesso em: 30 de outubro de 2018.
- FILENI, F. (2017). **Modelagem Quantitativa da drenagem Urbana e Proposição de drenagem sustentável para a região de Ceilândia – DF.** Monografia de projeto final. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- GARCIA, J. I. B. (2005). **Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Canela.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 168 p.
- GDF – Governo do Distrito Federal. (2008). Lei n.º 4.285, de 26 de dezembro de 2008. Reestrutura a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – ADASA/ DF, dispõe sobre recursos hídricos e serviços públicos no Distrito Federal e dá outras providências. **Diário Oficial do Distrito Federal.** Brasília, 29 de dezembro de 2008.

- GDF – Governo do Distrito Federal. (2009a). **Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal: documento técnico**. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. 342 p.
- GDF – Governo do Distrito Federal. (2009b). **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal**. Secretaria de Estado de Obras. Volume 5. Brasília.
- GDF – Governo do Distrito Federal. (2017). Lei Complementar nº 929, de 28 de julho de 2017. Dispõe sobre dispositivos de captação de água pluviais para fins de retenção, aproveitamento e recarga artificial de aquíferos em unidades imobiliárias e empreendimentos localizados no Distrito Federal e dá outras providências. **Diário Oficial do Distrito Federal**. Brasília, 01 de agosto de 2017.
- GENZ, F e TUCCI, C. E. M. (1995). **Controle do escoamento em um lote urbano**. RBE – Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos. ABRH. V. 13, nº 1. Porto Alegre. 129-152.
- GUPTA, V.K. & SOROOSHIAN, S. (1985). “**The automatic calibration of conceptual catchment models using derivativebased optimization algorithms**”. Water Resources Research, v. 21, p. 473-485.
- HARTINGAN, J. P. (1986). “**Urban runoff quality - impact and quality enhancement technology**”. Regional BPM master plans. New York: American Society of Civil Engineers.
- HUBER, W. C; ROSSMAN, L. A.; DICKINSON, R. E. (2005). **EPA Sotrm Water Management Model, SWMM5**. In: Singh, V. P.; Fevert, D. K. (Org.) Watershed Models. CRC Press, Boca Raton, EUA, 339-359.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2018). **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em:  
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 26 de junho de 2018.
- KIRPICH, Z. P. (1940). **Time of concentration of small agricultura watersheds**. Civil Engeneering, 10 (6), pp.362.
- MATIAS, M. G. B. (2006). **Bacias de retenção: estudo de métodos de dimensionamento**.

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade do Porto.

- NAKAZONE, L. M. (2005). **Implantação de reservatórios de detenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU**. Dissertação de Mestrados. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. 305p.
- PAULA; A. C. V de. (2018). **Comportamento e evolução temporal de bacias de detenção e retenção no amortecimento de cheias e na qualidade da água – estudo de caso da bacia de detenção do Guará – DF**. Primeiro Seminário de Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
- PEDROSA, V. A. (1996). **O controle da urbanização na macrodrenagem de Maceió: Tabuleiro dos Martins**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS. Porto Alegre. 139 p.
- PEHOVAZ, R. (2010). **Estudo experimental e teórico da qualidade de água da drenagem urbana com base ecoidrológica**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PONCIANO, J. L. do C. (2016). **Águas pluviais: análise de problemas de novos loteamentos. Estudo de caso do Setor Habitacional Arniqueira – DF**. Monografia de projeto final. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- PORTO, R. M. (2002). **Metodologia de cálculo para procedimentos preliminares em bacias de detenção**. Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- RIGHETTO, A. M. (2009). **Manejo De Águas Pluviais Urbanas**. Projeto PROSAB, Editora ABES, Rio de Janeiro, 396p.
- ROSSMAN, L. A., (2016). **Storm Water Management Model Reference Manual**. Volume I – Hydrology (Revised). Office of Research and Development Water Supply and Water Resources Division. New York. US EPA. 233 p.
- SCHUELER, T. R., (1987). **Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs**. Department of Environmental Programs, Metropolitan

Washington Council of Governments.

SEGETH. (2018). **Geoportal: Infraestrutura de dados espaciais - IDE/DF**. Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação.

SILVA, F. T. A. da; LIMA, L. D. de. (2016). **O Impacto de Novos Loteamentos Urbanos no escoamento Superficial – Setor Habitacional Noroeste - Distrito Federal**. Monografia de Projeto Final em Engenharia Ambiental - Universidade de Brasília.

SILVA JUNIOR, G. P. da, DALL’AGNOL, G., BARROSO, M. G. V. (2015). **Bacia de detenção como medida mitigadora para redução do escoamento pluvial em um loteamento urbano**. Monografia de conclusão de curso em Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás.

SILVA, T. J. B. da. (2017). **Avaliação da rede de drenagem urbana do Setor Habitacional Taquari – DF**. Monografia de Projeto Final em Engenharia Ambiental – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

SOUZA, F. P. (2014). **Monitoramento e modelagem hidrológica da sub-bacia do lago Paranoá – Brasília/DF – e avaliação de bacia de detenção**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139p.

TUCCI, C. E. M. (1995). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS/ABRH. 428 p.

TUCCI, C. E. M. (1998). **Modelos Hidrológicos**. Primeira Edição. Ed. Universidade, UFRGS, ABRH. Porto Alegre, 669 p.

TUCCI, C. E. M. (2005). **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades. Programa de Modernização do Setor de Saneamento.

TUCCI, C. E. M. (2008). **Águas Urbanas**. Estudos Avançados, São Paulo.