

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

**O IMPACTO DE NOVOS LOTEAMENTOS URBANOS NO**  
**ESCOAMENTO SUPERFICIAL – SETOR HABITACIONAL**  
**NOROESTE**

**FRANCK TEIXEIRA ALVES DA SILVA**

**LUCAS DIAS DE LIMA**

**ORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA**

**ALBUQUERQUE ALVES**

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

**BRASÍLIA / DF DEZEMBRO / 2016**

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

**O IMPACTO DE NOVOS LOTEAMENTOS URBANOS NO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL – SETOR HABITACIONAL  
NOROESTE**

**FRANCK TEIXEIRA ALVES DA SILVA  
LUCAS DIAS DE LIMA**

**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:**

---

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES  
(ORIENTADORA)**

---

**SÉRGIO KOIDE  
(EXAMINADOR INTERNA)**

---

**MARIA ELISA LEITE COSTA  
(EXAMINADORA EXTERNO)**

**BRASÍLIA/DF, 08 DE DEZEMBRO de 2016.**

“The world ain’t all sunshine and rainbows. It’s a very mean and nasty place, and I don’t care how tough you are, it will beat you to your knees and keep you there permanently if you let it. You, me, or nobody is gonna hit as hard as life. But it ain’t about how hard you hit. It’s about how hard you can get hit and keep moving forward; how much you can take and keep moving forward. That’s how winning is done! Now, if you know what you’re worth, then go out and get what you’re worth. But you gotta be willing to take the hits, and not pointing fingers saying you ain’t where you wanna be because of him, or her, or anybody.”

Rocky Balboa (Personagem criado por Sylvester Stallone)

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

SILVA, FRANCK TEIXEIRA ALVES DA; LIMA, LUCAS DIAS DE  
O Impacto de Novos Loteamentos Urbanos no escoamento Superficial – Setor Habitacional Noroeste [Distrito Federal] 2016.  
xiii, 111 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2016)  
Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Drenagem Urbana	2. Desenvolvimento de Baixo Impacto
3. Modelagem Hidrológica	4. PCSWMM
I. ENC/FT/UnB	

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

SILVA, F.T.A., LIMA, L.D (2016). O Impacto de Novos Loteamentos Urbanos no escoamento Superficial – Setor Habitacional Noroeste. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 99 p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DOS AUTORES: Franck Teixeira Alves da Silva e Lucas Dias de Lima

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: O Impacto de Novos Loteamentos Urbanos no escoamento Superficial – Setor Habitacional Noroeste.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2016

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.

---

Franck Teixeira Alves da Silva  
SQN 303, Bloco I, Apartamento 509  
70.735-090 – Brasília/DF – Brasil

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

SILVA, FRANCK TEIXEIRA ALVES DA; LIMA, LUCAS DIAS DE  
O Impacto de Novos Loteamentos Urbanos no Escoamento Superficial – Setor Habitacional Noroeste [Distrito Federal] 2016.  
xiii, 111 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2016)  
Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Drenagem Urbana	2. Desenvolvimento de Baixo Impacto
3. Modelagem Hidrológica	4. PCSWMM
I. ENC/FT/UnB	

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

SILVA, F.T.A., LIMA, L.D (2016). O Impacto de Novos Loteamentos Urbanos no Escoamento Superficial – Setor Habitacional Noroeste. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 99 p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DOS AUTORES: Franck Teixeira Alves da Silva e Lucas Dias de Lima

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: O Impacto de Novos Loteamentos Urbanos no Escoamento Superficial – Setor Habitacional Noroeste.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2016

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.

---

Lucas Dias de Lima

SQS 202, Bloco L, Apartamento 304

70.232-120 – Brasília/DF - Brasil

## **AGRADECIMENTOS LUCAS**

Agradeço a Deus, a Iemanjá e aos amigos do plano espiritual por toda a luz e proteção que sempre tive em toda a minha caminhada nessa vida.

Aos meus pais e exemplos, Amarílis e Carlos Eduardo, às minhas irmãs, Victória e Luci, aos meus pais de coração e irmão de coração, Fabiana, Nelson e Victor, por todo o apoio e amor incondicionais, por me ensinarem a ser uma pessoa de bem e por me darem tudo o que sempre precisei para alcançar meus objetivos. À minha família que sempre apoiou e demonstrou orgulho pelas minhas escolhas na vida, em especial aos meus avós Ronaldo, Geraldo, Mara e Lêda e aos meus tios Angélica, Maria das Graças, Sônia, Leonardo, Júlio César, Geraldo Henrique, Florence e Vicente por sempre acreditarem em mim.

À minha namorada linda, Letícia, pela amizade, amor, carinho, paciência e apoio em tudo que eu invento de fazer. À família da Lelê por todo o apoio e pelo acolhimento sem igual.

Ao irmão que ganhei em 2005 e com quem alcancei todas as grandes conquistas na minha vida até então, coautor deste trabalho e amigo para a vida inteira, Franck. Agradeço por todos esses anos de parceria, risadas, brincadeiras e loucuras. Agradeço pelo comprometimento, a dedicação, a privação de sono, as telas compartilhadas no Skype e tudo que fez desse trabalho único, sério e divertido, ao mesmo tempo, como sempre encaramos a vida.

À nossa orientadora, Professora Conceição, pela confiança, por todos os ensinamentos, por acreditar na nossa capacidade e por nos ter guiado brilhantemente ao longo do trabalho e para que possamos trilhar nossos caminhos profissionais. Ao Professor Sérgio Koide e à Maria Elisa, pela confiança, pelos ensinamentos e pelas orientações para a vida profissional. Ao amigo João Ponciano, por toda a ajuda fundamental e os ensinamentos compartilhados.

Aos amigos de graduação, do Ambigos, do Fut Ambiental e a todos que fizeram parte dessa caminhada. Em especial ao Gabs, Tio, Bem, Ju, Lu, Ceci, Goi, Tommy, Aninha e Iara.

Aos amigos de EPSA, de Sigma, do Condomínio, da Geo Lógica e da vida por todo o apoio, a compreensão e as risadas. Em especial a Marina, Marcella, Coxa, Zaka, John, Roça, Richter, Renan, Ian, Pedro, Camila, Murilo, Tiago, Túlio, André, Matheus, Amanda e Levi.

À CHIWATER pela concessão da licença do PCSWMM para fins acadêmicos.

Ao Engenheiro Franks Alves por toda a ajuda desprendida.

A todos os professores do ensino básico, do médio e da graduação pela formação.

## **AGRADECIMENTOS FRANCK**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por todas as graças e oportunidades.

Agradeço ao irmão que a vida me deu, amigo, colega e coautor do trabalho, Lucas Dias, por todos os anos de amizade, diversão e risadas. Agradeço a ele, de forma especial, pela dedicação empregada para que o nosso estudo fosse realizado da melhor maneira possível, e, principalmente, por ter tornado esse ano de trabalho no projeto em momentos de muita risada e amizade. Muito obrigado!

Agradeço à nossa orientadora, Professora Conceição, pelas horas dedicadas em nos ensinar e guiar de maneira exemplar ao longo do desenvolvimento do nosso projeto, além da serenidade e confiança transmitida a nós.

Ao Professor Koide e à Professora Maria Elisa, por todos os ensinamentos, todas as dicas, pela consideração e pelo carinho na correção do nosso projeto.

Agradeço ao meu pai e as minhas mães, por todos os ensinamentos, educação, paciência e investimento, sem os quais eu não seria ninguém. Obrigado também a minha família, por todo apoio e incentivo.

A minha namorada, Andressa, pela compreensão e paciência durante o andamento do projeto e por toda a cumplicidade, amor e amizade.

Aos meus amigos de graduação, que tornaram esses momentos dentro da faculdade os melhores possíveis. Em especial ao Gabs, Tio, Lukeka, Andressa, Ju, Lu, Ceci, Goi, Tommy, Aninha e Iara.

Aos meus grandes amigos e irmãos, Flafla, John, Mat, Vitor e Zaka, por me ensinarem o verdadeiro significado da amizade e por todo o suporte dado.

Ao João Lucas Ponciano, por dedicar seu tempo a nos ensinar como utilizar o PCSWMM e nos dar todas as dicas necessárias.

Ao engenheiro Franks Alves, pelas informações e pelos dados fornecidos.

Aos meus colegas da ANA, pelas consultas e pelo incentivo.

A CHIWATER por nos ceder, humildemente, uma licença do PCSWMM.

A todos os professores que passaram por minha vida e tanto me ensinaram.

## RESUMO

As bacias hidrográficas são sensíveis às alterações decorrentes da ação antrópica. O processo de urbanização pode acarretar, por exemplo, em mudanças como a impermeabilização do solo, alteração no relevo, mudanças nos cursos d'água e outras que alteram as características hidrológicas da bacia. Essas alterações causam impactos como o aumento na vazão de pico decorrente de uma precipitação, a diminuição no tempo até que essa vazão de pico seja atingida, inundações e poluição. A drenagem urbana existe para minimizar esses impactos associados. Seguem-se dois preceitos ao tratar-se de drenagem, a drenagem clássica e a drenagem sustentável. A drenagem clássica prioriza o rápido afastamento das águas pluviais, enquanto a drenagem sustentável (conceito mais recente) preconiza a infiltração e retenção desses escoamentos. Dispositivos como bocas de lobo, galerias e canais compõem o sistema clássico de drenagem. Bacias de retenção e infiltração, trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis são alguns dispositivos utilizados nos sistemas de drenagem sustentável, além de alguns dispositivos tradicionais utilizados na drenagem clássica. As cidades que se desenvolvem por meio de processos de urbanização espontânea, geralmente, contam com apenas os sistemas clássicos de drenagem. A área utilizada como objeto de estudo nesse projeto foi desenvolvida por um processo de urbanização planejada e, além dos sistemas clássicos de macrodrenagem e microdrenagem, conta também com um complemento de sistemas alternativos componentes do chamado Desenvolvimento de Baixo Impacto. Desta forma, o presente documento apresenta uma análise dos impactos causados na drenagem (como o escoamento superficial) de um local que conta o desenvolvimento planejado, o Setor Noroeste em Brasília/DF. Para tal, foi utilizado o software PCSWMM na análise de diferentes cenários durante o processo de urbanização do setor. Os resultados confirmaram a alteração no escoamento produzido, mas também validaram a eficiência das medidas alternativas que podem ser utilizadas como uma solução para diminuir os impactos associados a expansão urbana no âmbito da drenagem.

**Palavras-chave:** Hidrologia Urbana, Drenagem, PCSWMM, Modelagem Hidrológica, Desenvolvimento de Baixo Impacto,.



## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS LUCAS .....	vi
AGRADECIMENTOS FRANCK.....	vii
RESUMO .....	i
LISTAGEM DE FIGURAS .....	iv
LISTAGEM DE TABELAS.....	vi
LISTAGEM DE EQUAÇÕES .....	viii
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - OBJETIVOS .....	4
2.1 - OBJETIVO GERAL .....	4
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 - CICLO HIDROLÓGICO.....	5
3.1.1 - Aspectos Gerais .....	5
3.1.2 - Principais fenômenos para estudos de drenagem.....	5
3.2 - PANORAMA DA DRENAGEM URBANA.....	7
3.2.1 - Histórico .....	7
3.2.2 - Medidas de controle de enchentes e gestão de águas pluviais.....	9
3.3 - SISTEMAS DE DRENAGEM .....	11
3.3.1 - Sistemas clássicos de drenagem .....	11
3.3.2 - Sistemas alternativos de drenagem .....	12
3.4 - OS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA DRENAGEM URBANA.....	18
3.4.1 - Impactos associados.....	18
3.4.2 - Sedimentos e resíduos sólidos .....	21
3.4.3 - Obstrução dos sistemas de drenagem urbana.....	23
3.4.4 - Uso e cobertura do solo .....	23
3.4.5 - Geoprocessamento .....	26
3.4.6 - Gestão sustentável da drenagem e Desenvolvimento de Baixo Impacto – LID.....	26
3.5 - SIMULAÇÃO MATEMÁTICA .....	29
3.5.1 - Modelagem de fenômenos hidrológicos .....	29
3.5.2 - Classificação dos modelos.....	30
3.5.3 - Modelos hidrológicos.....	31
3.5.4 - Modelagem SWMM .....	31
4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	35
4.1 - CONTEXTO HISTÓRICO .....	35

4.2 -	ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS.....	36
4.3 -	DRENAGEM URBANA .....	37
4.3.1 -	Sistema de Drenagem de Águas Pluviais.....	38
4.3.2 -	Parâmetros de Projeto do Sistema de Drenagem.....	40
5 -	METODOLOGIA.....	43
5.1 -	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE E OBTENÇÃO DE DADOS.....	43
5.2 -	MODELAGEM SWMM .....	45
5.3 -	PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS PARA DIMINUIR OS IMPACTOS .....	46
6 -	RESULTADOS .....	47
6.1 -	CARACTERIZAÇÃO DO SETOR HABITACIONAL NOROESTE.....	47
6.1.1 -	Pedologia.....	47
6.1.2 -	Relevo.....	48
6.1.3 -	Uso do Solo.....	50
6.1.4 -	Curva Número .....	55
6.2 -	REDE DE DRENAGEM.....	56
6.3 -	DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS .....	60
6.3.1 -	Cenários Simulados .....	60
6.3.2 -	Chuva de Projeto.....	72
6.4 -	SIMULAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	73
6.4.1 -	Cenário de comparação da vazão de pico no período de pré-urbanização e ao longo do processo de ocupação até a atualidade.....	78
6.4.2 -	Cenário de comparação da vazão de pico de pré-urbanização, do período atual e de uma estimativa futura da ocupação .....	80
6.4.3 -	Cenário com a implementação de dispositivos LID para a Sub-bacia 1 sem a contribuição das demais sub-bacias .....	81
6.4.4 -	Contribuição da Sub-bacia 1 para a vazão total no exutório da Rede de Drenagem	83
6.4.5 -	Cenário com a implantação de uma bacia de retenção para amortecer as vazões coletadas na Sub-bacia 1.....	88
6.4.6 -	Problemas encontrados .....	91
	Observou-se, durante as simulações realizadas, a ocorrência de sobrecargas em alguns pontos no que diz respeito ao cenário representativo do ano de 2016, 2016 com bacia de retenção na Sub-bacia 1 e alguns pontos de inundação no cenário futuro estimado.....	91
7 -	CONCLUSÕES.....	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97

## LISTAGEM DE FIGURAS

Figura 3.1 Ilustração simplificada do ciclo hidrológico (Fonte: Collischonn e Dornelles, 2013).....	5
Figura 3.2 Hidrograma de um rio como resposta a um evento de chuva (Fonte: Collischonn e Dornelles, 2013). .....	7
Figura 3.3 Elementos da gestão de águas pluviais (Fonte: Tucci e Bertoni, 2003).....	10
Figura 3.4 Boca de lobo dupla com grelha (Fonte: Photo Book of Storm Water Features, 2006).....	12
Figura 3.5 Comparativo entre canalização e reservação (Fonte: Canholi, 2014).....	15
Figura 3.6 Esquema de obras de retenção (Fonte: Adaptado de Canholi, 2014).....	17
Figura 3.7 Relação entre o uso do solo e o escoamento superficial (Fonte: adaptado de FISWRG, 1998).....	19
Figura 3.8 Hidrograma antes e depois da urbanização (Fonte: Suderhsa, 2002). .....	20
Figura 3.9 Variação da geração de sedimentos decorrentes da urbanização (Fonte: Dawdy, 1967 apud Suderhsa, 2002). .....	22
Figura 3.10 Detritos obstruindo uma boca de lobo com grelha (Fonte: Photo Book of Storm Water Features, 2006).....	23
Figura 3.11 Diagrama de elementos chave do LID (Fonte: Bahiense, 2013). .....	28
Figura 3.12 Estrutura SWMM (Fonte: adaptado de Huber e Dickinson, 1992).....	32
Figura 4.1 Poligonal do Setor Noroeste no princípio da implantação dos loteamentos (Fonte: Terracap, 2012).....	35
Figura 4.2 Loteamento proposto pela Terracap e que é seguido atualmente (Fonte: Terracap, 2000).....	36
Figura 4.3 Bacia de Contribuição (Fonte: Adaptado de Topocart, 2012). .....	39
Figura 4.4 Área de Estudo inserida na Bacia do Lago Paranoá. ....	41
Figura 4.5 Localização do Bairro em relação ao Ribeirão Bananal. ....	42
Figura 5.1 Diagrama de Metodologia.....	44
Figura 5.2 Mapa de localização da área de estudo. ....	45
Figura 6.1 Mapa de Grupos Hidrológicos do Setor Noroeste. ....	48
Figura 6.2 Mapa de Elevação do Setor Noroeste. ....	49
Figura 6.3 Mapa de Declividade do Setor Noroeste.....	50
Figura 6.4 Uso e Cobertura do Solo - Setor Noroeste em 2013. ....	51
Figura 6.5 Uso e Cobertura do Solo - Setor Noroeste em 2015. ....	52

Figura 6.6 Uso e Cobertura do Solo - Setor Noroeste em 2016. ....	53
Figura 6.7 Uso e Cobertura do Solo - Setor Noroeste em 1964. ....	54
Figura 6.8 Uso e Ocupação do Solo - Setor Noroeste em um cenário futuro estimado. ....	55
Figura 6.9 Mapa de Curva Número - Setor Noroeste 2016. ....	56
Figura 6.10 Reservatório Predial vazio. ....	57
Figura 6.11 Reservatório predial cheio. ....	58
Figura 6.12 Escoamento sobre pavimento permeável no Setor Noroeste. ....	58
Figura 6.13 Rede de drenagem projetada para o Setor Noroeste. ....	59
Figura 6.14 Sub-bacias do Setor Noroeste. ....	60
Figura 6.15 Sedimentos sendo carreados para fora de canteiro de obras no Setor Noroeste. ....	62
Figura 6.16 Sedimentos carreados pelas vias do Setor Noroeste. ....	62
Figura 6.17 Boca de lobo obstruída no Setor Noroeste. ....	62
Figura 6.18 Boca de lobo recebendo sedimentos após evento de chuva no Setor Noroeste. ....	63
Figura 6.19 Mapa da Rede de Drenagem com as Sub-bacias do Setor Noroeste. ....	64
Figura 6.20 Bacias de Detenção do Setor Noroeste, localização e nomenclatura. ....	64
Figura 6.21 Vista aérea das bacias de detenção do Setor Noroeste (Adaptado de Topocart, 2011). ....	66
Figura 6.22 Cenário de Pré-Urbanização. ....	68
Figura 6.23 Cenário com a Rede implementada. ....	69
Figura 6.24 Cenário Futuro com Bacia de detenção adicional. ....	70
Figura 6.25 Cenário com dispositivos de drenagem sustentável na Sub-bacia 1. ....	71
Figura 6.26 Áreas de contribuição com parâmetros de permeabilidade alterados. ....	72
Figura 6.27 Hietograma de Projeto, Tempo de Retorno de 10 anos. ....	73
Figura 6.28 Janela de importação de dados GIS e CAD do PCSWMM. ....	74
Figura 6.29 Janela de ferramentas do PCSWMM com destaque para a opção de cálculo de atributos. ....	75
Figura 6.30 Informações do Projeto de Drenagem do Setor Noroeste. ....	76
Figura 6.31 Editor dos parâmetros da chuva de projeto. ....	77
Figura 6.32 As opções de simulação do PCSWMM que permitem fixar o modelo de infiltração e a data da simulação, além de outros fatores. ....	78
Figura 6.33 Gráfico comparativo de vazões no Exutório da Rede de Drenagem. ....	79
Figura 6.34 Gráfico comparativo da vazão em 2016 e do cenário futuro estimado. ....	81

Figura 6.35 Comparação da saída da Sub-bacia 1 com e sem os dispositivos de LID.....	83
Figura 6.36 Vazões de Afluência e Defluência na Bacia de Detenção 4. ....	84
Figura 6.37 Vazões de Afluência e Defluência na Bacia de Detenção 3. ....	84
Figura 6.38 Vazões de Afluência e Defluência na Bacia de Detenção 2. ....	85
Figura 6.39 Vazões de Afluência e Defluência na Bacia de Detenção 1. ....	85
Figura 6.40 Exutório da Sub-bacia 1 imediatamente antes da junção com a saída da Bacia de Detenção 4. ....	86
Figura 6.41 Vazão no exutório da rede do Setor Noroeste, resultado para todas as sub-bacias. ....	87
Figura 6.42 Saída da Sub-bacia 1 com e sem lagoa de amortecimento para suas vazões coletadas. ....	89
Figura 6.43 Comparativo da saída da lagoa de amortecimento 4 com e sem controle de saída. ....	90
Figura 6.44 Sobrecarga do poço de visita J551. ....	92
Figura 6.45 Parâmetros geométricos do Poço de Visita J551. ....	92
Figura 6.46 Ponto de inundação do poço de visita J9 no cenário futuro estimado. ....	93
Figura 6.47 Parâmetros geométricos do Poço de Visita J9. ....	93

## **LISTAGEM DE TABELAS**

Tabela 3.1 Quadro comparativo entre canalização e reservação (Fonte: Canholi, 2014). ..	14
Tabela 3.2 Causas e efeitos da urbanização do ponto de vista da drenagem urbana (Fonte: Tucci, 2013).....	21
Tabela 3.3 Classificação e descrição de solos (Fonte: Tucci, 2013). ....	24
Tabela 3.4 Parâmetros CN (Adaptado de Tucci, 2013).....	25
Tabela 6.1 - Comparação entre cenários de uso e cobertura do solo.....	53
Tabela 6.2 Características das Bacias de Detenção instaladas no Setor Noroeste. ....	65
Tabela 6.3 Evolução da vazão ao longo da ocupação em comparação ao cenário pré-urbanizado. ....	79
Tabela 6.4 Variação da vazão entre o período de pré-urbanização, o ano de 2016 e uma estimativa de ocupação futura. ....	80
Tabela 6.5 Saída da Sub-bacia 1 com e sem equipamentos de drenagem sustentável com base no cenário de 2016.....	82

Tabela 6.6 Vazões de pico em cada Bacia de Detenção e na Sub-bacia 1. ....	87
Tabela 6.7 Amortecimento da vazão de pico na saída da rede de todo o Setor com a instalação de uma lagoa de amortecimento para a vazão coletada na Sub-bacia 1. ....	88
Tabela 6.8 Análise do amortecimento na vazão efluente devido ao controle de saída bacia. ....	90

## **LISTAGEM DE EQUAÇÕES**

Equação 4.1 Chuva de Projeto do PDDU.....	37
Equação 6.1 Cálculo de Volume do Reservatório.....	60

## 1 - INTRODUÇÃO

O processo de urbanização representou um passo importante na evolução humana em sociedade e nas relações sociais. De acordo com Canholi (2014), as áreas urbanizadas se expandiram a partir das zonas mais baixas, próximas a rios, córregos ou mares, em direção a zonas mais elevadas. A crescente concentração populacional nos aglomerados urbanos, entretanto, trouxe consigo os diversos problemas ocupacionais que as cidades modernas enfrentam, tendo em vista a desorganização da ocupação urbana nas grandes metrópoles, especialmente em países como o Brasil. Se no passado o êxodo era do âmbito rural para o urbano, hoje os habitantes de cidades do interior migram para as cidades mais estruturadas em busca de empregos e melhores condições de vida.

A infraestrutura urbana é diretamente afetada pelo crescimento desenfreado do perímetro urbano, não conseguindo, na maioria das vezes, acompanhar a sua celeridade. Um dos aspectos amplamente prejudicados é a drenagem de águas pluviais, tendo em vista que o crescimento da área ocupada acarreta o aumento da área impermeabilizada, na qual a água precipitada escoar superficialmente em maior volume e velocidade. Desta forma, o volume de água de chuva que naturalmente infiltraria no solo é reduzido drasticamente, assim como o tempo de concentração nas cidades em constante expansão, causando uma antecipação e um aumento no pico de vazão a jusante e, conseqüentemente, trazendo problemas nas cotas mais baixas da bacia urbana e prejudicando os corpos hídricos receptores.

No Brasil, com o intuito de remover rapidamente as águas acumuladas em ambientes urbanos, as entidades responsáveis pela formulação dos planos diretores de drenagem das cidades têm adotado soluções que priorizam a construção de galerias e canais que sobrecarregam o exutório natural (Canholi, 2014; Sheaffer e Wright, 1982 *apud* Canholi, 2014). O volume escoado é de grande relevância ambiental e de saúde pública, já que é responsável pelo carregamento de resíduos, agregados, lixiviado e demais poluentes ditos difusos, ocasionando a obstrução da rede de coleta de águas de chuva e transporte desses materiais aos corpos hídricos, desequilibrando o ciclo hidrológico natural da região e prejudicando a qualidade ambiental dos cursos d'água.

Desde a década de 70, predomina uma tendência mundial na complementação e substituição dos sistemas clássicos de drenagem pluvial por sistemas que contenham elementos capazes de favorecer o aumento do tempo de concentração do volume precipitado e que, ao mesmo tempo, favoreçam a sua retenção e infiltração, por meio de bacias, lagoas de detenção,



trincheiras de infiltração e pavimentos com mais elevado grau de permeabilidade, objetivando numa redução do escoamento superficial e amortecimento dos picos de vazão. São as ditas medidas compensatórias (Baptista *et al.*, 2011; Canholi, 2014; Bahiense, 2013). Essas técnicas podem ser integradas à paisagem urbana de forma harmoniosa em novas ocupações planejadas, e até mesmo, com maior dificuldade de implementação, em áreas de urbanização espontânea (Bahiense, 2013). Tais medidas surgiram com o objetivo de restituir o mais próximo possível das condições naturais anteriores à ocupação da bacia, considerando toda a área de drenagem e visando a regularização das vazões dos deflúvios (Canholi, 2014).

Segundo Tucci (1997), uma das possíveis causas de enchentes em áreas urbanas é o descumprimento do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU). Um PDDU deve ser elaborado de forma a planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, considerando a ocupação urbana e seu desenvolvimento a fim de evitar prejuízos ambientais e financeiros, de controlar áreas de risco de inundação por meio de restrições ao uso e de possibilitar a convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco. O controle da drenagem urbana deve estar atrelado ao desenvolvimento urbano, portanto o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) deve ser um componente do Plano Diretor de Planejamento Urbano.

No âmbito dos estados brasileiros, pode-se dizer que Brasília se expande ainda de forma célere e que, o entorno do Distrito Federal, as cidades satélites, que sofrem com a urbanização espontânea, e ainda as áreas de classe alta, com sua urbanização planejada, têm crescido muito nos últimos anos. Um dos exemplos mais recentes foi a concepção do Setor de Habitações Coletivas Noroeste, localizado na Região Administrativa I do Distrito Federal.

O Setor Noroeste foi proposto por Lúcio Costa em 1987 em complemento à proposta original do Plano Piloto; entretanto, apenas em 1997 deu-se entrada no processo de licenciamento ambiental para a implantação da Área de Expansão Urbana Noroeste (TC/BR, 2005). A implantação dos loteamentos, feita por grandes empresas de construção civil e autorizada por Licença de Instalação em 2010, atualmente causa diversos problemas de carreamento de sedimentos, uma vez que a região se transformou num aglomerado de canteiros de obras operando em paralelo, nos quais, mesmo com a fiscalização da Terracap, verificam-se diversas inconformidades com as condicionantes da LI. Presume-se que esse volume escoado, com elevada carga sedimentar, incorra em prejuízos significativos aos corpos hídricos a jusante.

O cenário descrito explicita um problema atual numa região nobre de Brasília, de urbanização recente, a qual, devido à impermeabilização da área e ao movimento intenso de terra oriunda de canteiros de obras gerenciados inadequadamente, pode estar causando prejuízos significativos e irreversíveis às regiões localizadas em cotas mais baixas. Torna-se importante avaliar qual o alcance e a adequação do sistema de drenagem planejado para o setor do Noroeste do ponto de vista técnico e ambiental.

O uso da modelagem matemática tem sido de suma importância nos estudos em hidrologia, pois permite simular eventos como o comportamento do escoamento superficial em diferentes tipos de solo com usos diversos, podendo mensurar o impacto do escoamento nos sistemas de drenagem projetados. Um dos programas que auxilia de forma eficaz nesse tipo de simulação é o *Storm Water Management Model* (SWMM), que pode ser usado tanto para análises quantitativas de deflúvio quanto qualitativas no que diz respeito aos poluentes difusos.

O desenvolvido se baseou em modelagem matemática por intermédio do software SWMM, na região de interesse do Setor Noroeste, de modo a comparar cenários de diferentes características de uso e ocupação do solo, por meio de análise quantitativa do escoamento superficial simulado. Também foi verificado se a proposta de drenagem para a área é adequada do ponto de vista ambiental.

Deste modo, dividiu-se o trabalho nos capítulos a seguir:

- Capítulo 2, no qual estão definidos os objetivos que o trabalho visa alcançar;
- Capítulo 3, no qual foram abordadas a revisão bibliográfica e a fundamentação teórica, descrevendo o impacto da urbanização na drenagem urbana, bem como as medidas de drenagem clássicas e atuais e o modelo hidrológico SWMM;
- Capítulo 4, no qual está descrita a metodologia a ser usada para alcançar os objetivos definidos. A metodologia consistirá nas diretrizes para o levantamento de informações necessárias para que o modelo SWMM possa ser aplicado;
- Capítulo 5, onde foi feita uma caracterização inicial da área de estudo, que será devidamente aprofundada posteriormente;
- Capítulo 6, que apresenta os cenários definidos, bem como suas características, os resultados da modelagem e a análise dos resultados obtidos;
- Capítulo 7, onde está a conclusão do estudo.

## **2 - OBJETIVOS**

### **2.1 - OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral a análise quantitativa de possíveis alterações no escoamento superficial do Setor Habitacional Noroeste associadas à modificação no uso e cobertura do solo e implementação de um sistema de drenagem planejado, em consequência da urbanização.

### **2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para alcançar o objetivo geral, alguns objetivos específicos também foram implementados, conforme listado a seguir:

- Avaliação dos impactos de diferentes cenários de urbanização no escoamento superficial do Setor Noroeste por meio de simulação hidrológica com aplicação do modelo SWMM (Storm Water Management Model);
- Análise da proposta de drenagem feita pela Novacap no que se refere ao escoamento superficial e ao manejo de águas pluviais do Setor Habitacional Noroeste;
- Verificação da observância ao plano de drenagem aprovado para implantação do Setor Noroeste e dos possíveis impactos gerados na formação de escoamento superficial em áreas a jusante dos empreendimentos.

### 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 - CICLO HIDROLÓGICO

##### 3.1.1 - Aspectos Gerais

O ciclo hidrológico é um conceito de ciclo fechado em escala global, considerado o tema central dos estudos em hidrologia e na dinâmica pluvial na Terra. Tal ciclo inicia-se à medida que a energia eletromagnética proveniente do sol aquece o ar, o solo e as águas superficiais, sendo responsável pelos processos de evaporação da água líquida, principalmente nos oceanos, e pela evapotranspiração das plantas (Collischonn e Dornelles, 2013). A água sob a forma de vapor, partículas de gelo ou neve presente na atmosfera é transportada pelo ar e sofre condensação, formando gotículas que precipitam em forma de chuva e retorna à superfície, descontada a parcela que sofre evaporação durante a queda e a parcela que é interceptada pela vegetação (Pinto et al, 1976). Por fim, parte do volume de água que atinge o solo infiltra, recarregando aquíferos e gerando um fluxo de escoamento subterrâneo - parte escoam superficialmente devido à saturação da capacidade de infiltração, e parte retorna à fase de vapor (Collischonn e Dornelles, 2013; Pinto *et al.*, 1976).

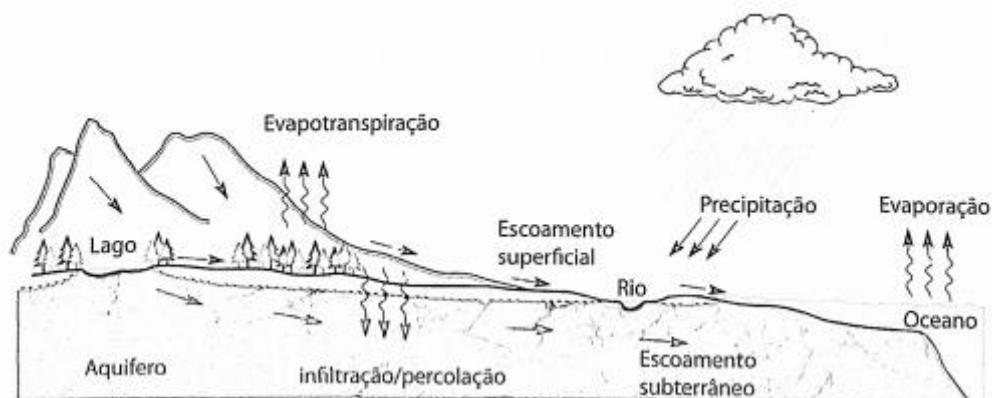


Figura 3.1 Ilustração simplificada do ciclo hidrológico (Fonte: Collischonn e Dornelles, 2013).

##### 3.1.2 - Principais fenômenos para estudos de drenagem

Segundo Durrans (2007), entre os fenômenos que compõem o ciclo hidrológico, a precipitação e o escoamento superficial são os de maior relevância para o estudo de sistemas de drenagem.

Para a análise do volume precipitado e elaboração dos projetos, é necessário conhecimento acerca do tempo de retorno e das vazões máximas decorrentes das chamadas chuvas de

projeto, que são cenários gerados a partir de Curvas de Intensidade, Duração e Frequência (Curvas IDF), obtidas por uma análise estatística de dados históricos de precipitação para uma área específica (Durrans, 2007; Collischonn e Dornelles, 2013; Canholi, 2014).

As chuvas de projeto são aquelas em que o evento meteorológico ocorrido possui a capacidade de produzir a cheia de projeto, esse evento pode ser definido como o de maior cheia para qual o empreendimento deve ser dimensionado em um determinado tempo de retorno. Os hietogramas de projeto são estabelecidos a partir dos dados calculados pela chuva de projeto (Tucci, 2013).

As informações referentes a essa precipitação crítica encontrada, tendo em vista os parâmetros de ocupação e uso do solo da bacia hidrográfica em estudo, são fatores determinantes para a porção que escoa superficialmente, sendo essa parcela a de maior importância para a drenagem (Durrans, 2007). A geração desse escoamento é bastante complexa devido à variabilidade dos parâmetros da bacia e à imprevisibilidade do direcionamento da água após um evento de precipitação (Collischonn e Dornelles, 2013).

Ao gráfico que relaciona a vazão da taxa de escoamento superficial e subterrâneo no tempo é dado o nome de hidrograma, sendo assim uma ilustração da resposta desse escoamento à aleatoriedade da chuva na bacia. O hidrograma atinge sua vazão de pico a depender de como a precipitação se distribui ao longo do seu tempo de ocorrência e em seguida ocorre um decaimento com gradiente menor que a elevação da vazão até seu ponto máximo (Tucci, 2013).

A determinação da vazão máxima e do seu tempo de ocorrência por meio do hidrograma é primordial para a concepção de um sistema de drenagem de águas pluviais, tanto para os sistemas clássicos, quanto para os métodos alternativos mais modernos, que buscam o amortecimento dessa vazão de pico e sua regularização.

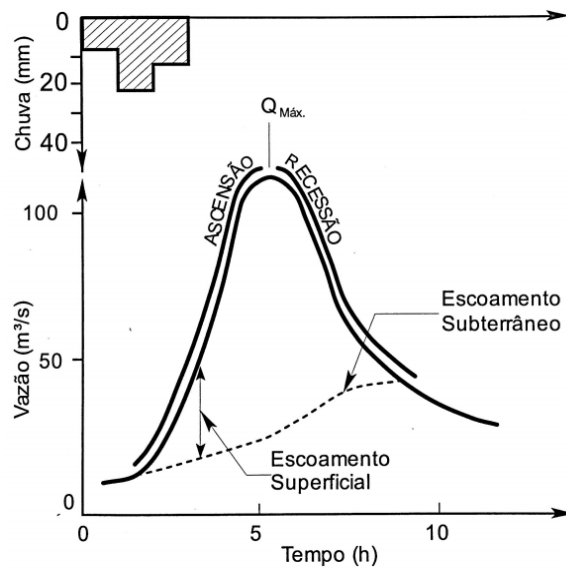


Figura 3.2 Hidrograma de um rio como resposta a um evento de chuva (Fonte: Collischon e Dornelles, 2013).

### 3.2 - PANORAMA DA DRENAGEM URBANA

#### 3.2.1 - Histórico

Ao longo do tempo, a problemática da drenagem nos grandes centros urbanos foi tratada marginalmente no cenário de parcelamento e uso do solo nas cidades, não sendo considerada, por muitas vezes, como um fator preponderante para o planejamento de expansão territorial em projetos de implantação de infraestrutura. O processo acelerado de urbanização, que incorreu no aumento de áreas impermeabilizadas, aconteceu a partir de cotas mais baixas próximas a córregos, rios e mares, tendo em vista a necessidade de interação da dinâmica da vida nas cidades com os corpos hídricos, os quais são utilizados para abastecimento da população, transporte de mercadorias, sustento animal, fonte de alimento, além de representarem elementos importantes na evacuação de águas residuárias e dejetos urbanos (Canholi, 2014; Baptista *et al.* 2011).

O êxodo rural da população, que buscava nas cidades em expansão novas oportunidades de vida e ascensão, acarretou diversos problemas no âmbito do saneamento devido ao despreparo da infraestrutura urbana em acomodar o crescimento populacional migratório. Segundo Baptista *et al.* (2011), as cheias periódicas que ocorriam devido à proximidade das cidades a corpos hídricos eram aceitáveis e encaradas como o ônus decorrente do uso da água pelas pessoas. Com as grandes epidemias de cólera e tifo na Europa do século XIX, o princípio higienista, que consiste no afastamento rápido do deflúvio por meio de estruturas de canalização e galerias, passou a ditar as operações de drenagem pluvial nas aglomerações

urbanas (ReCESA, 2007). Tal princípio utiliza-se de estruturas de canalização e galerias para transferir o volume precipitado para corpos hídricos a jusante, resultando na redução drástica da permanência das águas na cidade sem preocupações com eventuais danos às localidades mais baixas.

A urbanização desenfreada, somada ao uso inadequado do solo, contribui para o aumento dos deflúvios, uma vez que interfere na sua dinâmica natural. A solução adotada pela engenharia clássica para a drenagem em ocupações urbanas foi a de canalização desse volume precipitado, que fora impossibilitado de ser armazenado no solo de forma natural, buscando acelerar seu escoamento e transferir para jusante a vazão concentrada. Esse aumento de velocidade ocasiona a diminuição do tempo de concentração das águas na bacia urbana e aumenta a vazão de pico, causando eventuais inundações (Canholi, 2014).

A década de 70 marca o início da preocupação e do criticismo ecológico no mundo com a Conferência das Nações Unidas em Estocolmo em 1972 e, desde então, há uma tendência da complementação ou substituição dos sistemas tradicionais de micro e macrodrenagem por sistemas capazes de favorecer um aumento do tempo de concentração do volume de água precipitado que influísse também num aumento da capacidade de infiltração dessas águas da chuva. Para tal, são usadas bacias, lagoas de retenção, trincheiras de infiltração, pavimentos drenantes, entre outras medidas alternativas, conhecidas como compensatórias, que objetivam uma redução do volume escoado superficialmente e o amortecimento e regularização dos picos de vazão (Baptista *et al.*, 2005; Canholi, 2014). Tais técnicas visam também à integração harmoniosa do sistema de drenagem com a paisagem urbana, sendo uma concepção mais moderna de infraestrutura em novas ocupações projetadas e podendo ser implementadas, inclusive, em áreas de urbanização espontânea, tendo em vista um grau de dificuldade mais elevado nesse caso (Bahiense, 2013). É importante ressaltar que as medidas compensatórias minimizam também os efeitos da poluição à medida que recuperam a capacidade de infiltração da superfície (Tucci, 2003).

Assim, atualmente, a tendência tem sido o entendimento da drenagem pluvial de forma sistêmica e integrada, visando restituir as condições naturais da região, considerando toda a sua área de drenagem e levando em conta aspectos topográficos, ambientais, sanitários e paisagísticos, além dos planos de uso e ocupação do solo da bacia como um todo (ReCESA, 2007; Canholi 2014).

Apesar disso, grande parte das obras de drenagem do Brasil ainda é feita sob a ótica higienista devido aos custos associados às medidas compensatórias e à simplicidade inerente aos métodos clássicos de drenagem (Silveira, 2002), além da exigência do planejamento multidisciplinar e escala regional das abordagens alternativas (Canholi, 2014).

### **3.2.2 - Medidas de controle de enchentes e gestão de águas pluviais**

Atualmente, o principal desafio do Brasil em relação a recursos hídricos é o controle do impacto gerado pelo desenvolvimento urbano internamente, nos municípios, e externamente, na bacia hidrográfica, uma vez que o principal modelo de sistema de drenagem empregado no país tem sido exportar os problemas de poluição e inundações para a jusante (Tucci e Bertoni, 2003).

Canholi (2014) classifica as medidas de correção ou prevenção de inundações que visam à minimização de danos em *medidas estruturais* e *medidas não estruturais*. Segundo o autor, as medidas estruturais correspondem às obras de engenharia que podem ser de aceleração de escoamento, retardamento do fluxo, desvio do escoamento e ações pontuais. Já as medidas não estruturais, que podem ser eficazes e, ao mesmo tempo, menos onerosas do ponto de vista financeiro, buscam a disciplina da ocupação territorial, como ações de regulamentação de uso e ocupação do solo, educação ambiental no âmbito do conceito de poluição difusa e suas consequências, garantias sociais contra desastres advindos das chuvas e sistemas de alerta e previsão de enchentes.

Em um planejamento de manejo de águas pluviais, para a melhoria dos sistemas de drenagem e controle de desastres, devem ser levados em conta os dois conjuntos de medidas de forma balanceada, tendo em vista a viabilidade econômica e executiva e a redução dos danos a curto, médio e longo prazo (Canholi, 2014). Segundo Tucci (2005), é ingenuidade do ser humano imaginar que pode controlar totalmente um evento de inundação e, portanto, o gerenciamento das águas pluviais e a formulação de planos diretores de drenagem urbana devem levar em conta a abordagem regional do fenômeno (Campana e Tucci, 2000) tanto no âmbito interno do município, estando sujeito às imposições da legislação municipal, quanto no âmbito externo, devendo ser elaborado sob a luz das legislações estaduais ou federais (Tucci e Bertoni, 2003).

No que diz respeito à macrodrenagem, a escala da unidade a ser gerenciada é uma bacia hidrográfica, que não leva em conta limites territoriais e administrativos e exige uma visão



multidisciplinar do todo para que seja possível compatibilizar a drenagem pluvial aos aspectos do saneamento e demais setores ligados à gestão de águas urbanas (Canholi, 2014). O planejamento deve ser feito de modo a não aumentar a vazão máxima a jusante, estando de acordo com o Plano Diretor da cidade (Tucci, 2003).

A consolidação desse planejamento dispõe de critérios gerais de projeto, operação e manutenção, sendo necessário o levantamento de dados físicos, hidrológicos, hidráulicos, de uso e ocupação da bacia além de ser necessária a regulamentação legal, os planos de financiamento e as políticas fiscais aplicáveis (Canholi, 2014).

A figura 3.3 mostra de forma esquematizada a caracterização institucional dos elementos do gerenciamento de águas pluviais, de acordo com Tucci e Bertoni (2003).

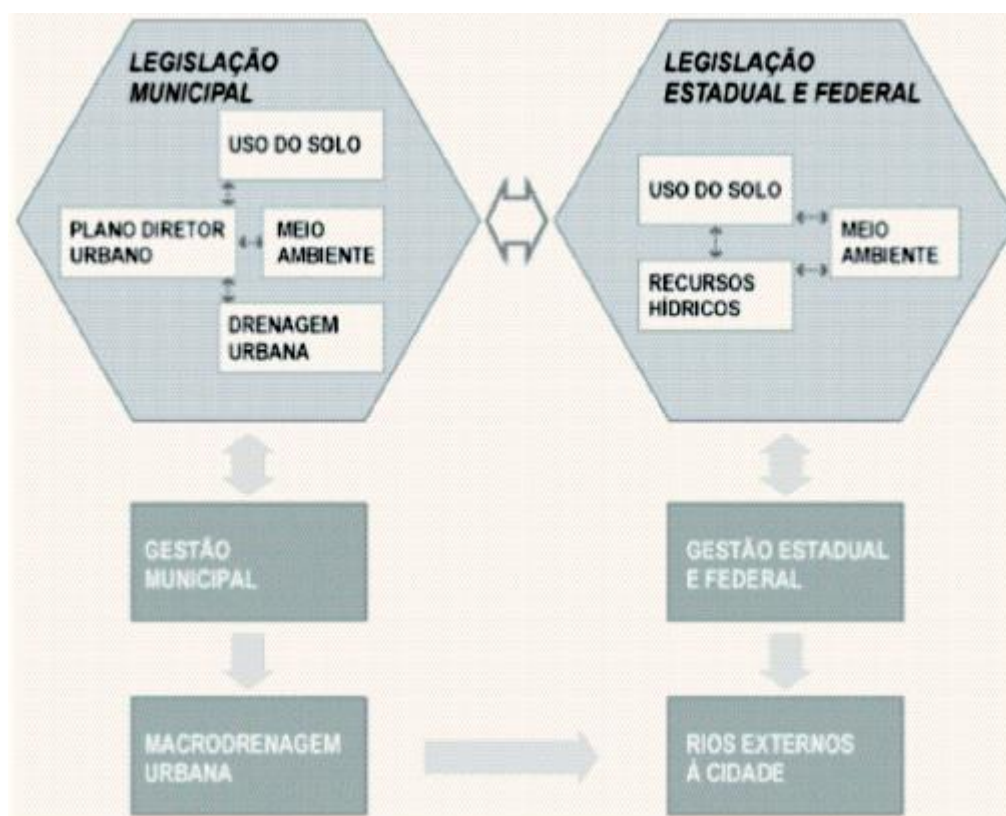


Figura 3.3 Elementos da gestão de águas pluviais (Fonte: Tucci e Bertoni, 2003).

A gestão de águas pluviais não leva em consideração apenas o caráter quantitativo do deflúvio. A qualidade das águas que serão destinadas aos cursos d'água receptores devem garantir um equilíbrio ecológico tanto quanto o hidrológico no local, prezando pela manutenção do meio ambiente em questão (Silveira, 2002).

### **3.3 - SISTEMAS DE DRENAGEM**

#### **3.3.1 - Sistemas clássicos de drenagem**

Historicamente, o principal objetivo da drenagem de águas pluviais no ambiente urbano foi remover o volume precipitado que não tinha mais perspectiva de um armazenamento natural, da forma mais rápida possível, com obras de canalização, buscando evitar prejuízos e riscos de inundações (Tucci, 2013; Canholi, 2014).

Tais obras de canais e galerias, chamadas clássicas ou convencionais, muitas vezes resultam na sobrecarga dos corpos hídricos a jusante, que recebem uma vazão concentrada muito rapidamente. De acordo com Canholi (2014), tal material carrega sedimentos, resíduos sólidos dispostos nas ruas e, possivelmente, agentes contaminantes e disseminadores de doenças adsorvidos. O autor, citando Walesh (1989), enumera algumas medidas convencionais como a implantação de canais de concreto e galerias, retificação de traçados naturais de córregos e aumento da declividade de fundo, entre outras medidas que visam à aceleração dos deflúvios na direção das cotas menos elevadas da bacia e para longe da malha urbana. O mencionado tipo de implantação não atende às vocações do terreno da bacia e suas consequências são danosas do ponto de vista financeiro e de segurança pública, uma vez que os custos das futuras obras de recuperação serão proibitivos e os prejuízos para a população afetada serão socialmente alarmantes (Botelho, 1998).

No sistema clássico, uma rede de drenagem é dimensionada em dois níveis principais: *macro drenagem* e *micro drenagem*. A *macro drenagem* se caracteriza por escoamentos naturais mais bem definidos, mesmo que não correspondam a um curso d'água perene, e considera a topografia da área de estudo, a disposição do loteamento, das sarjetas, das bocas de lobo, dos bueiros e dos dissipadores de energia, enquanto a *micro drenagem* é determinada, nas áreas urbanas, pela ocupação do solo e pelo traçado das ruas (Tucci, 2013).



Figura 3.4 Boca de lobo dupla com grelha (Fonte: Photo Book of Storm Water Features, 2006).

Os elementos básicos de um sistema pluvial convencional, de acordo com Tucci (2013), entre outros, são as galerias, os poços de visita, as bocas de lobo, os tubos de ligação entre as bocas de lobo e as galerias, meios-fios, sarjetas e estações de bombeamento.

### **3.3.2 - Sistemas alternativos de drenagem**

A partir da década de 70, as obras de drenagem urbana ao redor do mundo começaram a combater a ideia de retirada acelerada do escoamento das cidades e passaram a empregar os ditos métodos compensatórios de drenagem (Canholi, 2014). Essas medidas não-convencionais podem ser caracterizadas como estruturas, obras, dispositivos ou conceitos que ainda não são de uso disseminado nos países em desenvolvimento, como o Brasil e, diferentemente da canalização, buscam incrementar o processo de infiltração, reter os escoamentos em reservatórios e/ou retardar o fluxo nas calhas dos córregos ou rios. Nessas medidas, são incluídas também as ações para proteção de áreas de baixa.

Inundações podem ser facilmente ligadas à ocupação urbana e a solução histórica para tal sempre foi atrelada ao uso de sistemas de canalização. Com o aumento da urbanização e como a mesma ocorre, geralmente, de jusante para montante, o pico de vazão afluente aumenta em áreas a jusante incorrendo em prejuízos econômicos, ambientais e sociais (Tucci, 2007). Os sistemas clássicos de drenagem têm como finalidade o rápido afastamento de águas pluviais das áreas urbanas. Sua característica principal é a de que, em sua utilização, o escoamento sobressalente é apenas transferido para áreas a jusante, de forma que essas áreas (geralmente áreas de ocupações mais antigas) sofrem com essa condição. Assim, a consequência é a necessidade de obras onerosas (aumento da seção transversal dos canais naturais, substituição de condutos antigos por novos de maior diâmetro, entre outras) em áreas a jusante.

Uma das limitações na utilização dos sistemas clássicos é a errônea ideia de segurança transmitida pela construção de canais para a população. Devido a essa falsa ideia de segurança, são ocupadas áreas inapropriadas (planícies de inundações e áreas de risco) por parte da população, podendo assim afetar sua qualidade de vida. Essa ocupação desordenada pode ser atrelada também à ausência de um plano diretor ou de outros instrumentos, como o zoneamento e os planos de ocupação do solo, além de um controle mais rigoroso nessas áreas de risco (Tucci, 2007).

A proposta dos sistemas clássicos de drenagem também não aborda a problemática relacionada à qualidade da água, podendo prejudicar tanto o sistema de drenagem (torna-lo ineficiente devido ao acúmulo de sedimentos de processos erosivos ou resíduos dispostos inadequadamente), como também os corpos receptores devido à alta carga de poluentes carregadas pelo escoamento superficial. Além disso, a condução a situações irreversíveis prejudica outros usos da água (Baptista *et al.*, 2011).

Assim como os sistemas clássicos de drenagem urbana, os métodos alternativos se utilizam de tecnologias específicas. São exemplos dessas tecnologias as de retenção do escoamento, restauração da calha, derivação do escoamento, construção de diques, entre outras (Canholi, 2014). As tecnologias de retenção podem ser utilizadas em pequenas escalas, como em lotes com pequenos reservatórios, em pavimentos ou pisos, ou em uma escala maior com o uso de reservatórios de retenção maiores. Nas bacias de retenção, as áreas de inundações podem ser utilizadas como locais de recreação (parques, quadras esportivas, entre outros) nos períodos de seca. Outro benefício da utilização de bacias é a melhoria na qualidade de água, pois, com o retardo na velocidade do escoamento, ocorre a sedimentação de poluentes decorrentes da lavagem de pavimentos, da poluição difusa e de resíduos dispostos inadequadamente que são carregados pelas águas pluviais. Esses resíduos, depois de sedimentados, devem ser removidos e então destinados a uma disposição adequada. Tal processo é conhecidamente oneroso e é, por muitas vezes, negligenciado (Canholi, 2014; Topocart, 2012).

Tabela 3.1 Quadro comparativo entre canalização e reservação (Fonte: Canholi, 2014).

CARACTERÍSTICAS	CANALIZAÇÃO	RESERVAÇÃO
Função	Remoção rápida dos escoamentos	Contenção temporária para subsequente liberação
Aplicabilidade	Instalação em áreas novas Construção por fases Ampliação de capacidade pode se tornar difícil (centros urbanos)	Reservatório a superfície livre Reservatórios subterrâneos Retenção subsuperficial
Impacto nos trechos de jusante (quantidade)	Aumenta significativamente os picos das enchentes em relação à condição anterior Majores obras nos sistemas de jusante	Áreas novas podem ser dimensionadas para impactos zero (Legislação EUA) Reabilitação de sistemas: podem tornar vazões a jusante compatíveis com capacidade disponível
Impacto nos trechos de jusante (qualidade)	Transporta para o corpo receptor toda carga poluente afluyente	Facilita remoção de material flutuante por concentração em áreas de recirculação dos reservatórios e dos sólidos em suspensão, pelo processo natural de decantação
Manutenção/ operação	Manutenção em geral pouco frequente (pode ocorrer excesso de assoreamento e de lixo) Manutenção nas galerias e difícil (condições de acesso)	Necessária limpeza periódica Necessária fiscalização Sistemas de bombeamento requerem operação/manutenção Desinfecção eventual (insetos)
Estudos hidrológicos/ hidráulicos	Requer definição dos picos de enchente	Requer definição dos hidrogramas (volume das enchentes)

O retardamento na calha trata-se de outro tipo de tecnologia não-convencional para controle de enchentes. Tal medida é caracterizada pela recuperação e/ou conservação das condições naturais ou o mais próximo dessas condições das calhas dos corpos hídricos. Por meio dessas ações, busca-se restaurar a várzea, os meandros, reduzir as velocidades de escoamento e os picos de vazão (revestir os canais de tecido rugoso), restaurar a mata ciliar, entre outros fatores (Canholi, 2014).

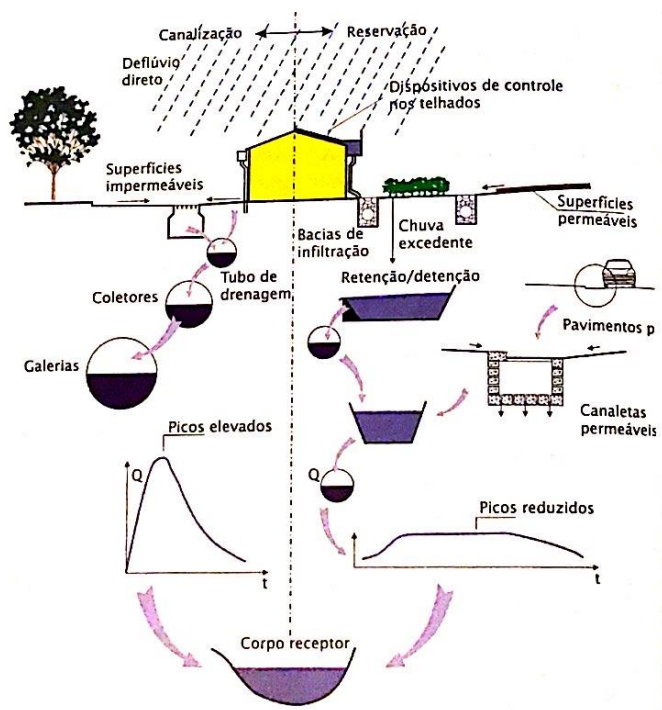


Figura 3.5 Comparativo entre canalização e reservação (Fonte: Canholi, 2014).

Os dispositivos de detenção podem ser classificados de acordo com a sua localização, podendo ser de contenção na fonte ou de contenção a jusante. Dispositivos de contenção na fonte são, de forma geral, pequenos e situados próximos aos locais de geração do escoamento, a fim de obter um melhor aproveitamento do sistema de condução do fluxo a jusante. Por serem dispositivos de pequenas dimensões, podem ser padronizados e apresentam baixos custos, entretanto, os custos de manutenção e operação podem ser elevados devido à multiplicação das unidades, além da avaliação do desempenho que pode ser complexa. (Canholi, 2014).

As medidas de controle na fonte propiciam soluções de redução e retenção, otimizando o uso dos sistemas tradicionais e podendo evitar a ampliação desses sistemas. Visam principalmente retardar os escoamentos urbanos a depender da concepção da obra (Suderhsa, 2002).

As áreas destinadas ao sistema viário correspondem a uma parcela significativa da área da bacia de drenagem, chegando até a 30% da área total. Dessa forma, o uso de materiais impermeáveis na construção do sistema viário aumenta os deflúvios superficiais e agrava as consequências desses. Os pavimentos permeáveis e pavimentos porosos surgem como uma medida de controle na fonte, que auxiliam no controle do escoamento produzido. Podem ser

classificados em três tipos, os pavimentos dotados de revestimento superficial, os pavimentos dotados de estrutura porosa e os pavimentos dotados de estrutura porosa e de dispositivos de facilitação de infiltração. Apenas o uso de pavimentos permeáveis não atenua significativamente os impactos decorrentes da urbanização no sistema de drenagem. É necessário a combinação desses dispositivos com estruturas que permitam a reserva temporária das águas pluviais ou que permitam a infiltração para um funcionamento eficiente e adequado (Baptista *et al.*, 2011).

Outro exemplo de técnica de controle na fonte são os reservatórios locais. Os reservatórios possuem um princípio de funcionamento similar aos das bacias de retenção anteriormente abordadas, porém podem ter suas dimensões adequadas a fim de ser possível a operação desses dispositivos em locais menores (edifícios, casas, entre outros). A saída da água pluvial coletada pelos reservatórios ocorre, preferencialmente, por infiltração no solo ou por vazão controlada para um determinado exutório (geralmente, a rede de drenagem local). Além da atenuação do escoamento superficial produzido, os reservatórios propiciam a possibilidade de utilização das águas pluviais coletadas para irrigação, lavagem de automóveis, lavagem de pavimentos, instalações sanitárias e outros (Baptista *et al.*, 2011).

Os dispositivos de contenção a jusante são aqueles destinados à reserva de deflúvios oriundos de demais partes da bacia. As classificações dos dispositivos de controle a jusante se dão de acordo com o seu posicionamento e função no sistema, podendo ser on-line, caso estejam na linha principal do sistema conectados em série, ou off-line, se estiverem conectados em paralelo para o desvio de escoamentos (Canholi, 2014).

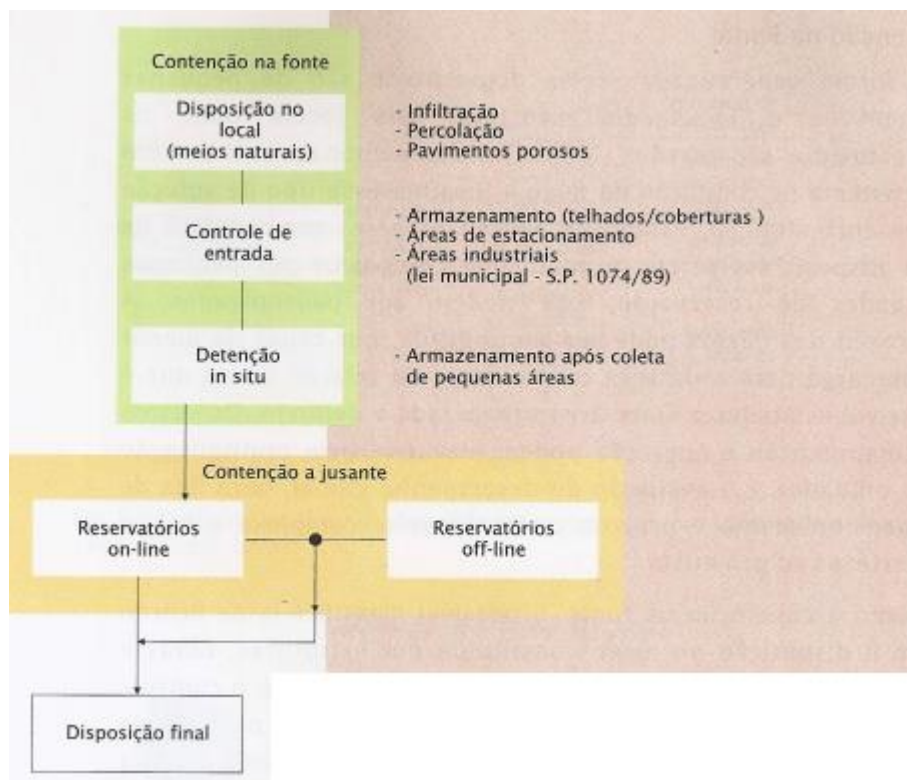


Figura 3.6 Esquema de obras de retenção (Fonte: Adaptado de Canholi, 2014).

São exemplos de contenção a jusante as bacias de retenção (nas quais o reservatório sempre contém um volume de água armazenado para fins recreativos, paisagísticos, abastecimento ou outras funções), bacia de detenção (secas durante a estiagem) e bacias de sedimentação (com a função de reter sólidos em suspensão ou absorver poluentes carregados pelos escoamentos). (Topocart, 2012).

Sistemas alternativos de drenagem urbana necessitam de uma gestão adequada e devem ser analisados, conjuntamente, o manejo das águas pluviais e o ordenamento urbano. Dentre as especificidades para a gestão adequada de águas pluviais estão a abordagem integrada, a gestão do risco de inundações e à gestão dos riscos sanitários e de poluição (Tucci, 2007; Baptista *et al.*, 2011).

A abordagem integrada pode ser descrita como a interação entre o projeto urbanístico e a gestão de águas pluviais. Deve-se ater a limitações de ambos os lados e buscar soluções que maximizem os objetivos propostos pelos dois lados. Na abordagem integrada, deve ser levada em consideração a relação entre o ordenamento urbano e a hidrografia natural do local, a relação entre um ordenamento urbano e seu ambiente hídrico, e a colaboração dos atores do ordenamento urbano e da gestão da água (Baptista *et al.*, 2011).



O risco de inundações não é controlado apenas pelo uso de medidas compensatórias de drenagem urbana e, mesmo que essas medidas auxiliem na diminuição dos picos, dos volumes, aumentem a infiltração, entre outras características positivas, faz-se necessário o uso de outras abordagens para garantir uma gestão de riscos de inundações eficientes. Dentre as abordagens para minimizar os riscos de inundações está a análise global para agir localmente, tendo em vista que toda ação sobre o ciclo hidrológico, em qualquer ponto, resulta em um impacto global. Todas as técnicas de drenagem possuem limitações que devem ser respeitadas para garantir um funcionamento adequado dos sistemas de drenagem; logo, são necessárias previsões e gerenciamento dos riscos de ocorrência eventos de magnitude maior que a suportada pelo sistema. Outra abordagem para reduzir o risco de inundações é estipular adequadamente o tempo de retorno de eventos que necessitam proteção. Ações com o objetivo de diminuir os riscos sanitários e de poluição devem considerar o caráter do evento, os efeitos sobre o meio ambiente e a natureza dos poluentes. Essas ações podem ser preventivas ou de tratamento (Baptista *et al.*, 2011).

Com a adoção dessas medidas, tem-se um sistema de drenagem eficiente que minimizará os impactos decorrentes das águas pluviais na qualidade de vida dos habitantes de áreas urbanas e resultará em uma melhor infraestrutura para as cidades.

### **3.4 - OS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA DRENAGEM URBANA**

#### **3.4.1 - Impactos associados**

O processo de urbanização é, historicamente, responsável pelo aumento da impermeabilização do solo e, desta forma, é responsável pelo aumento da ocorrência de inundações nas aglomerações populacionais. Essa impermeabilização da superfície das cidades gera um desequilíbrio no ciclo hidrológico natural com o aumento dos deflúvios, redução da porção de chuva interceptada, da evapotranspiração das plantas e prejuízos em relação à recarga de aquíferos, o que ocasiona a diminuição no nível de lençóis freáticos (Menezes Filho e Tucci, 2012).

A redução drástica da capacidade de infiltração natural da superfície das bacias urbanizadas incorre na diminuição do tempo de concentração dos volumes precipitados e no aumento do pico de vazão, que chega mais intenso e em menos tempo a jusante, transferindo os problemas decorrentes do escoamento superficial para as regiões localizadas em cotas mais

próximas ao exutório, sobrecarregando e alterando a qualidade dos corpos hídricos receptores (Canholi, 2014).

A figura 3.7, de autoria da federação americana FISWRG (1998), ilustra o impacto da mudança de uso e ocupação do solo num cenário pré-urbanização e após a ocupação.

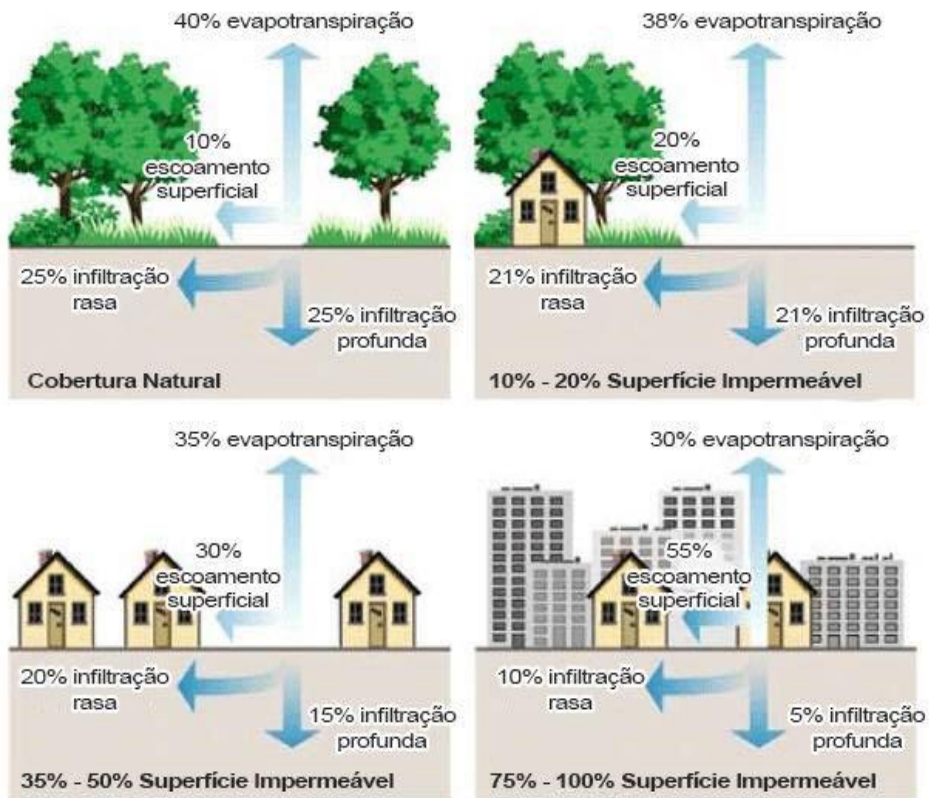


Figura 3.7 Relação entre o uso do solo e o escoamento superficial (Fonte: adaptado de FISWRG, 1998).

O aumento da porção da chuva que esco superficialmente causa a antecipação da vazão máxima à jusante da bacia e sua intensificação onde está inserida a zona de ocupação. Em contrapartida, a mesma área, antes da urbanização, apresenta uma distribuição da vazão ao longo do tempo mais regularizada, com o pico amortecido e suavizado. Desse modo, o acréscimo de volume na bacia é menos agressivo aos pontos a jusante, como pode ser visto na imagem 3.8 a seguir:

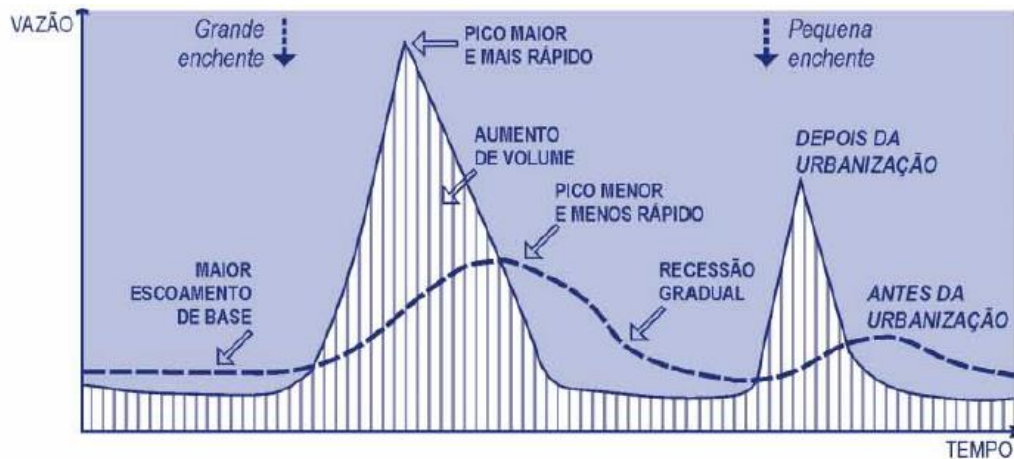


Figura 3.8 Hidrograma antes e depois da urbanização (Fonte: Suderhsa, 2002).

Nos países em desenvolvimento como o Brasil, o crescimento da malha urbana geralmente cria impactos de maior relevância nesse sentido, devido à falta de regulação para controle da drenagem e compatibilização da mesma com o processo de urbanização. À medida que as vazões de pico e a frequência de cheias urbanas aumenta, gerando danos sociais e de infraestrutura, a solução imediatista desses países tem sido a implementação de mais sistemas de canalização e galerias para acelerar a retirada dessas águas do meio urbano em complemento à rede de drenagem já existente (Tucci e Porto, 2000). Tal sistema possui alto custo e baixa eficiência.

É interessante ressaltar que rios e riachos possuem períodos de cheias periódicas naturais e que só incorrem em inundações quando a área natural de passagem de enchente foi ocupada pelo crescimento da malha urbana (Botelho, 1998). Tucci e Bertoni (2003) destacam ainda que a falta de qualidade de vida da população de países como o Brasil, no que diz respeito aos problemas gerados pela ineficiência do sistema de drenagem urbana, é causada por falta de conhecimento generalizado da população sobre o assunto, pela desatualização dos engenheiros que atuam no setor quanto às questões ambientais, pela visão setorializada e, portanto, limitada do planejamento urbano e pela falta de capacidade gerencial no âmbito municipal.

Tabela 3.2 Causas e efeitos da urbanização do ponto de vista da drenagem urbana (Fonte: Tucci, 2013).

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização Redes de Drenagem Lixo	Maiores Picos de Vazões Maiores Picos a Jusante Degradação da Qualidade da Água Entupimento de Bueiros e Galerias
Redes de Esgoto Deficientes	Degradação da Qualidade da Água Moléstias de Veiculação Hídrica Inundações: Consequências mais sérias
Desmatamento e Desenvolvimento Indisciplinado	Maiores Picos e Volumes Mais Erosão Assoreamento em Canais e Galerias
Ocupação das Várzeas	Maiores Prejuízos Maiores Picos Maiores Custos de Utilidades Públicas

Na questão de segurança habitacional da população, os dois principais processos que impactam a área urbana são as chamadas *inundações de áreas ribeirinhas* e *inundações devido a enchentes*, sendo o segundo o mais relevante no que diz respeito à urbanização, já que é causado unicamente pela introdução de elementos antrópicos na bacia hidrográfica (Tucci e Bertoni, 2003).

### 3.4.2 - Sedimentos e resíduos sólidos

O desenvolvimento urbano possui um potencial significativo de geração de sedimentos na bacia, sedimentos esses gerados pelas construções, pela limpeza feita em terrenos para a implantação de novos loteamentos, construção de ruas, avenidas, rodovias e instalação de elementos da infraestrutura urbana (Tucci e Bertoni, 2003). Na figura 3.9, pode-se observar a tendência de produção de sedimentos de uma bacia durante o processo de implantação.

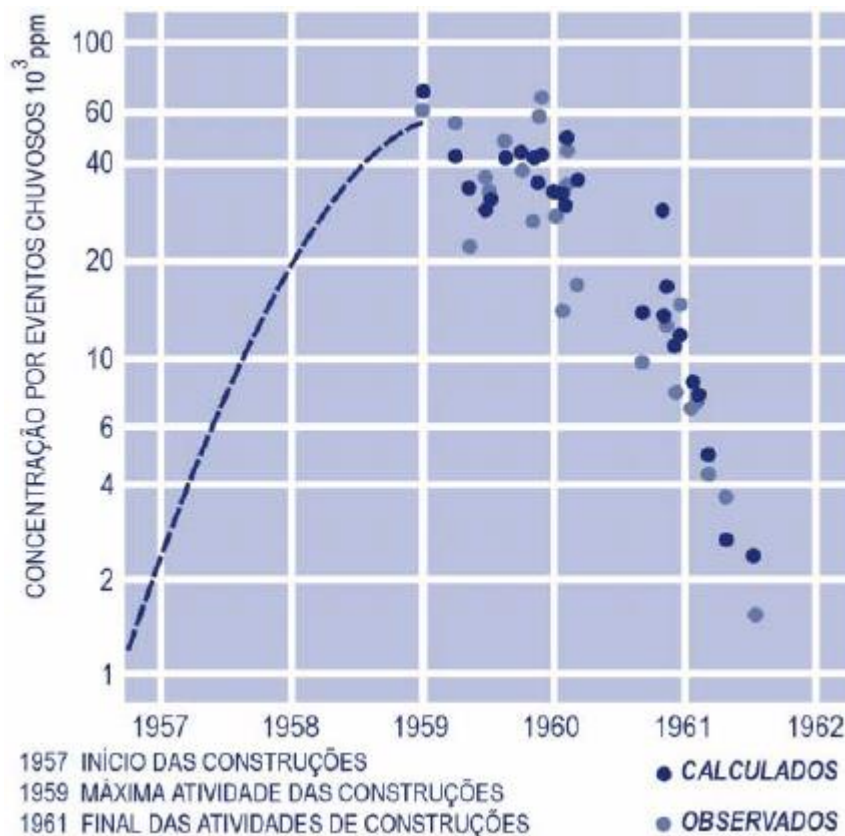


Figura 3.9 Variação da geração de sedimentos decorrentes da urbanização (Fonte: Dawdy, 1967 *apud* Suderhsa, 2002).

Essa crescente geração de sedimentos acarreta em consequentes impactos ambientais na bacia urbana como o assoreamento e posterior obstrução das seções de drenagem, reduzindo a capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos, erosão de superfícies gerando áreas degradadas, além do transporte dos poluentes difusos que se encontram adsorvidos nos sedimentos, podendo causar um desequilíbrio qualitativo nas águas pluviais (Suderhsa, 2002; Tucci e Bertoni, 2003; Tucci, 2005).

Como pôde ser visto na figura 3.9, a produção de sedimentos decai após atingir a máxima atividade das construções, isso se deve, logicamente, à fase de finalização das implantações, porém, com a ocupação estruturalmente estabilizada, um outro problema aparece, a produção de resíduos sólidos. O lixo causa uma obstrução dos sistemas de drenagem ainda maior e mais danosa do ponto de vista ambiental. Em países como o Brasil, no qual a maior parte da coleta é ineficiente, a minimização dessa consequência é complicada (Tucci e Bertoni, 2003).

Para minimizar o impacto do lixo nos sistemas coletores de águas pluviais é necessária uma gestão eficiente dos resíduos sólidos, identificando seus principais componentes, mapeando

os principais pontos de geração, e atuando na redução da quantidade gerada (Neves e Tucci, 2008).

### **3.4.3 - Obstrução dos sistemas de drenagem urbana**

Tanto a geração de sedimentos nos períodos de implantação da ocupação urbana, quanto a produção de lixo no período de pós urbanização, são responsáveis pela obstrução dos sistemas de drenagem pluvial. O material sólido carregado pelo escoamento incorre em problemas de manutenção em função da falta de limpeza das redes de drenagem e de projetos mal dimensionados, ou inadequados, que não suportam o assoreamento nas seções (Tucci, 2005).

Uma vez obstruídos os sistemas coletores, o deflúvio carrega esses sedimentos e resíduos bacía abaixo. Poluentes difusos causam a contaminação dos cursos d'água e consequências de calamidade pública, uma vez que parte do volume escoado fica retido em áreas de cheias pontuais (Baptista *et al.*, 2011; Tucci, 2005). Segundo Tucci (2005), os principais poluentes encontrados no escoamento superficial em bacias urbanas são: sedimentos, nutrientes, substâncias utilizadoras de oxigênio, metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, bactérias e vírus.



Figura 3.10 Detritos obstruindo uma boca de lobo com grelha (Fonte: Photo Book of Storm Water Features, 2006).

### **3.4.4 - Uso e cobertura do solo**

Como dito anteriormente, o desenvolvimento da malha urbana que ocorre nas cidades implica, principalmente, na mudança do tipo de uso e cobertura do solo em parte da bacía

na qual está localizada, trazendo consigo mudanças significativas na dinâmica da drenagem (Canholi, 2014).

Para a quantificação desses impactos, são utilizados modelos matemáticos que simulam os principais fenômenos ocorridos em determinada área de expansão com base nas características de uso e ocupação do solo da região. O *Soil Conservation Service* é um modelo desenvolvido nos Estados Unidos, em 1975, criado para esse tipo de análise, cujo principal parâmetro é o CN (Curva-Número). O método relaciona a capacidade máxima de absorção do solo com condições de cobertura e o tipo do solo tanto para bacias rurais (para as quais foi primeiramente desenvolvido) quanto para as urbanas, sendo adaptado posteriormente (Tucci e Porto, 2000).

Tabela 3.3 Classificação e descrição de solos (Fonte: Tucci, 2013).

TIPOS DE SOLO	DESCRIÇÃO
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos que o do tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo.
D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

De acordo com Tucci (2013), a partir da classificação do solo da área de interesse, pode-se então definir o valor de CN a partir das informações referentes ao uso do solo ou ao tipo de cobertura que o mesmo possui, como pode ser visto nas tabelas 3.3 e 3.4 referentes aos valores de CN para bacias rurais e urbanas, respectivamente.

Tabela 3.4 Parâmetros CN (Adaptado de Tucci, 2013)

Uso e Ocupação do Solo	Grupo Hidrológico
	A
Áreas Urbanizadas Alta Densidade	98
Áreas Urbanizadas Alta/Média Densidade	77
Áreas Urbanizadas Baixa/Média Densidade	61
Áreas Urbanizadas Baixa Densidade	57
Vias Pavimentadas	98
Vias não Pavimentadas	72
Áreas Preservadas/Cerrado	46
Culturas Anuais/ Olericultura	77
Culturas Perenes/ Fruticulturas	64
Mata de Galeria	26
Campo Limpo	49
Áreas Vegetadas	25
Solo Exposto	68
Água/ Pequenos Lagos/ Açudes	92
Áreas Alagáveis/ Campos de Murundus	85

A utilização do parâmetro CN em simulações de escoamento é de suma importância, apesar de suas limitações, para a quantificação dos impactos gerados pelos deflúvios e também para a avaliação do comportamento de poluentes difusos, quando aliado a parâmetros físico-químicos específicos da região. Portanto, o conhecimento da pedologia no período de pré-urbanização e do tipo de cobertura implantado na região onde ocorre o processo de urbanização é um processo fundamental na obtenção de argumentos suficientes para se poder estimar um valor de CN coerente para a simulação (Tucci, 2013; Tucci e Bertoni, 2003).

Os mapas de Uso e Ocupação do Solo são aqueles que possuem informações técnicas detalhadas acerca do uso do solo em determinada região com base na interpretação de imagens. Para a confecção desses mapas é necessário um conhecimento específico sobre geoprocessamento e sobre as geociências.

O nível de precisão e detalhamento de um mapa de Uso e Ocupação depende de quatro características de sensores remotos. São essas características a resolução espacial, a resolução espectral, a resolução temporal e a resolução radiométrica.



### **3.4.5 - Geoprocessamento**

Geoprocessamento pode ser definido como o processamento de qualquer dado georreferenciado por meio da utilização de técnicas e conceitos de cartografia, sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (Ayres, F., Filho, G., Martins, I., Machado, N., 2008 apud Silva, 2003).

Sistemas de informações geográficas (SIG) são utilizados para manipulação de feições geográficas e seus atributos através de sua topologia (Ayres, F., Filho, G., Martins, I., Machado, N., 2008 apud Veiga e Silva, 2004).

Dessa forma, o conhecimento acerca de geoprocessamento e SIG, é de fundamental utilidade para profissionais da área da engenharia. Uma vez que, por meio destes é possível adquirir informações espaciais mais detalhadas de uma determinada região e o cruzamento entre dados para obtenção de características de interesse.

### **3.4.6 - Gestão sustentável da drenagem e Desenvolvimento de Baixo Impacto – LID**

O desenvolvimento das cidades atrelado ao aumento de inundações ocorre pelo fato de a ocupação urbana exigir uma impermeabilização de superfícies que anteriormente possuíam função de armazenamento e infiltração, o que diminuía a vazão que escoava superficialmente em direção a jusante. Deste modo, as vazões coletadas dos loteamentos em expansão sobrecarregam a rede pública de águas pluviais resultando em diferentes pontos de inundações ao longo dela (Tucci, 2007). Isso se dá, principalmente, devido à gestão inadequada da drenagem urbana, que visa uma solução não-sistêmica e insustentável ambientalmente e economicamente.

Tucci (2007) lista algumas práticas insustentáveis de gestão, como a canalização e fechamento de rios naturais urbanos, transformando-os em condutos fechados ou canais abertos, o que traz prejuízos no âmbito ambiental e compromete a qualidade de vida da população das cidades. Segundo o autor, a quantidade de resíduos sólidos carregados pela drenagem à rede pública tende a fechar esses condutos com o tempo, o que incorre na concentração dessas águas nas ruas e no aumento da ocorrência de inundações.

Para que problemas como esses sejam evitados, cabe ao Poder Público uma gestão sustentável e adequada da drenagem urbana que trate a bacia hidrográfica como um sistema, para que não ocorra a transferência dos impactos gerados nas zonas mais altas para a jusante e que seus efeitos possam ser controlados, sendo usadas medidas estruturais e não-estruturais

associadas e racionalmente integradas ao desenvolvimento urbano. O crescimento urbano e a consequente ampliação da área ocupada devem ser levados em conta de modo que a drenagem das águas pluviais sempre priorize os mecanismos naturais de escoamento, como a infiltração e a reservação, e que as áreas de risco sejam rigorosamente controladas em relação a esse aumento da ocupação (Tucci, 2007).

No Brasil, as políticas que regem a manutenção de áreas ambientais e a ocupação urbana são falhas e, portanto, possibilitam um desenvolvimento urbano com a supressão de vegetação natural, alterações topográficas e naturais do meio, danos a recursos hídricos, impermeabilização das áreas e outras medidas prejudiciais ao meio ambiente, comprometendo, severamente, a drenagem dessas áreas urbanas. Há ainda o enfoque apenas no sistema clássico de drenagem, sendo esquecido o sistema que utiliza técnicas alternativas. É comum, ainda, que o sistema de drenagem seja projetado após o projeto urbano e não paralelamente e em congruência com o mesmo (Tavanti, 2012).

A proposta de uma visão mais sistêmica da drenagem e a integração desta com os outros componentes do saneamento é fator importantíssimo para a qualidade de vida da população. Uma das medidas que devem ser adotadas é a compatibilização da rede de drenagem pluvial com os sistemas de esgoto sanitário, que pode ser feita de três maneiras: (i) por meio de um *sistema misto* em que apenas uma rede de coleta recebe as contribuições de esgoto e de águas de chuva, sendo essa combinação de vazões direcionada às estações de tratamento de esgotos. Essa medida tem como principal vantagem a redução dos custos de implantação e manutenção da rede; (ii) o *sistema separador* possui uma rede independente para a drenagem e o esgotamento sanitário, tendo como vantagens o controle da qualidade da água pluvial e o manejo adequado das detenções e retenções urbanas devido ao uso de detenções *in-line* para controle de resíduos sólidos e poluição; (iii) o *sistema de transição* pode ser utilizado quando a cidade possui uma rede extensa de águas pluviais, mas pequena de esgotamento sanitário e está num processo de transição do sistema misto para o sistema separador (Tucci, 2007). Essa urbanização, que releva a problemática da drenagem urbana, aumenta os riscos dos impactos no ambiente e as alterações no ciclo hidrológico, consequentemente aumentando o risco de impactos em áreas a jusante decorrente do aumento e aceleração do escoamento superficial (Tucci, 2005), como dito anteriormente.

O LID (*Low Impact Development*, ou Desenvolvimento de Baixo Impacto, em português) é uma estratégia de gestão de águas pluviais que se preocupa com a proteção dos recursos

naturais e como cumprimento dos requisitos ambientais legais (Bahense, 2013). Constitui-se de métodos de drenagem que consideram a quantidade e a qualidade do escoamento superficial produzido e utiliza de técnicas que auxiliam o desenvolvimento de projetos de acordo com a topografia e as condições naturais do terreno, reduzindo os impactos na produção de escoamento superficial. Diferentemente dos sistemas clássicos de drenagem, o programa busca o desenvolvimento das áreas urbanas considerando aspectos urbanísticos, hidrológicos e ambientais, simultaneamente. Ele ainda concilia o manejo das águas pluviais juntamente com o projeto urbano e almeja a implementação de práticas que possibilitem o controle e/ou retenção de água, o controle de poluentes, a recarga de aquíferos, os usos múltiplos das áreas, aumento de áreas verdes ou espaços com vegetação (Tavanti, 2012). Os projetos que utilizam a estratégia de baixo impacto geralmente mantêm as funções hidrológicas de armazenagem, infiltração e recarga, utilizando-se de técnicas integradas, como pode ser visto na figura 3.11.



Figura 3.11 Diagrama de elementos chave do LID (Fonte: Bahense, 2013).

O objetivo do desenvolvimento de baixo impacto no conceito de integração espacial é articular o território no âmbito da ocupação e do desenvolvimento urbano desde o projeto dos loteamentos até o planejamento de toda a bacia hidrográfica, associando-se com a aplicação e a promoção de políticas públicas que instiguem a participação da sociedade enquanto comunidade na execução e na contínua obediência das medidas adotadas (Baptista *et al.*, 2013; Tucci, 2007).

Entretanto, a aplicação e a efetivação dessa dinâmica de baixo impacto em áreas já urbanizadas são prejudicadas, tendo assim que estar aliadas a políticas de desenvolvimento e expansão e ao Plano Diretor da cidade (Baptista *et al.* 2013).

Algumas vantagens da prática do *Low Impact Development* são a conciliação do desenvolvimento urbano, do desenvolvimento dos sistemas de drenagem, das questões urbanísticas e paisagísticas; recomposições de processos naturais do ciclo hidrológico, que foram alterados pela urbanização, por meio da utilização de canais naturais, medidas de armazenamento, medidas de detenção e retenção; proteção das superfícies do solo e dos recursos hídricos; redução na poluição difusa; redução na necessidade de irrigação; redução na área pavimentada; melhorias ambientais e na saúde pública (Tavanti, 2012; Del Mar, 2008; Flagstaff, 2009).

O desenvolvimento de baixo impacto, segundo Baptista *et al.* (2013), pode ser entendido como um instrumento que fomenta a sustentabilidade, uma vez que seu uso pode ser um recurso de compensação de impactos de áreas impermeáveis para elaboração de paisagens hidrológicas funcionais. Essa integração com os parâmetros urbanísticos estabelece subsídios para entender o espaço urbano e implementar o sistema de drenagem de forma eficiente, buscando o menor impacto ambiental possível.

A metodologia LID, porém, pode não ser suficiente para a garantia de uma drenagem urbana eficiente, necessitando do emprego de gestões integradas e especiais das águas pluviais.

No estudo realizado por Tavanti (2012) sobre a aplicação do método LID em uma microbacia urbanizada do estado de São Paulo, a autora concluiu um ganho paisagístico e estético, aumento de 25% da área de cobertura vegetal, aumento de áreas permeáveis em relação à ocupação convencional, redução de 21% na vazão de pico, redução de 26,9% do volume de pós-desenvolvimento comparado ao convencional. É importante ressaltar que não foram utilizadas práticas de gerenciamento integradas, práticas essas que provavelmente aumentariam a eficiência do saneamento ambiental como um todo.

### **3.5 - SIMULAÇÃO MATEMÁTICA**

#### **3.5.1 - Modelagem de fenômenos hidrológicos**

Um modelo é uma representação da realidade que possibilita compreender melhor os fenômenos naturais. Atualmente, na área dos estudos ambientais os modelos vêm sendo utilizados com mais constância, auxiliando o entendimento e a compreensão de fenômenos

como o impacto das mudanças no uso e cobertura do solo e a geração de escoamento superficial. Processos ambientais em um ambiente real são complexos, tridimensionais e dependentes do tempo e, desta forma, a complexidade atrelada a eles pode dificultar a expressão dos fenômenos físicos como um conjunto de equações matemáticas, requerendo assim sua simplificação (Steyaert, 1993).

Além da natural dificuldade em expressar fenômenos naturais, os modelos matemáticos estão sujeitos também a limitações tanto de cunho computacional, quanto da conversão de equações matemáticas em processos numéricos. Essas limitações acarretam em detalhamento, por parametrização, de processos complexos que podem não ser representados explicitamente na modelagem. O conjunto de equações parametrizadas engloba entradas e saídas do sistema e representa também a melhor aproximação do modelo para a realidade. É necessário ressaltar que um fenômeno ambiental pode ser representado de diversas maneiras e compete ao usuário escolher a que melhor o atende.

Pode-se definir um modelo, simplificado, como um conjunto de equações e procedimentos constituídos de variáveis e parâmetros. Parâmetros são invariáveis em relação ao tempo, podendo ter seu valor alterado por variações espaciais, enquanto variáveis estão sujeitas a alterações durante toda a execução do modelo.

### **3.5.2 - Classificação dos modelos**

Os modelos são geralmente classificados pelos tipos de variáveis utilizadas, pela relação entre essas variáveis, pela forma de apresentação dos dados, pelas relações espaciais e pela dependência temporal (Maidment, 1993; Vertessy *et al.*, 1993; Tucci, 1998). Um modelo pode ser considerado estocástico, quando pelo menos uma das variáveis utilizadas possui comportamento aleatório, determinístico, onde os conceitos de probabilidade não são considerados, ou empíricos, que utilizam relações com base nas observações. Vale ressaltar que o modelo empírico é simples e de ampla utilidade, porém tende a ser eficaz apenas para as áreas para as quais foram projetados, além de não serem receptivos a simulações de mudanças que fujam do padrão de projeto, como uma chuva extrema. (Rennó e Soares, 2003).

Os modelos baseados em processos tendem a ser mais complexos e buscam descrever todos os fenômenos que envolvem um determinado evento. Esses podem ser divididos em modelos conceituais e modelos físicos, sendo os conceituais (ou semi-empíricos) aqueles que usam

equações empíricas, porém descrevem o sistema segundo as leis da física, e os físicos aqueles que utilizam equações diferenciais do sistema e cujos parâmetros possuem um significado físico e palpável, podendo ser estimados através de medidas reais. (Rennó e Soares, 2003).

Além disso, os modelos podem ser considerados estáticos se os dados de entrada produzem uma solução através de um único passo pelas equações do modelo, ou dinâmicos se os resultados são utilizados como entrada para uma outra iteração até alcançar o valor adequado (Rennó e Soares, 2003).

### **3.5.3 - Modelos hidrológicos**

Modelo hidrológico é definido como aquele que representa matematicamente o fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre. (Rennó e Soares, 2003).

Na década de 60, passou-se a utilizar a modelagem matemática na hidrologia e, conseqüentemente, na drenagem urbana. A quantidade de modelos para simulação hidrológica é vasta e, com a evolução e em termos práticos, tem-se optado pelo uso de modelos mais simples em substituição aos modelos complexos usados inicialmente. O avanço das tecnologias tornou a modelagem hidrológica bastante acessível, de forma que qualquer engenheiro pode utilizar desse recurso para auxiliar em um estudo. (Tucci, 2013).

### **3.5.4 - Modelagem SWMM**

Como descrito anteriormente, o escoamento superficial gerado em áreas urbanas e em desenvolvimento constitui uma grande ameaça a qualidade do meio ambiente em termos físicos e qualitativos. O *Storm Water Management Model* (SWMM), ou Modelo de Gestão de Drenagem Urbana, é um programa computacional que pode analisar o impacto do escoamento superficial e avaliar a efetividade de estratégias de mitigação (SWMM, 2012).

O SWMM é um modelo dinâmico chuva-vazão com a função de simular quantitativamente e qualitativamente o escoamento superficial. O modelo simula o percurso dos escoamentos e cargas poluidoras gerados através de dados de precipitações, sendo um excelente apoio a tomada de decisão (SWMM, 2012). É empregado mundialmente para o estudo de sistemas de drenagem urbana, com foco em águas pluviais, e também pode ser utilizado para análise de sistemas de coleta de águas residuárias mistos (com captação de águas pluviais) ou

separados. As versões mais atuais foram submetidas a séries de atualizações a fim de melhor adequar o modelo para uma simulação mais precisa. O fato de ser um modelo de código aberto possibilitou essas atualizações de maneira mais abrangente. (SWMM, 2012).

Desenvolvido entre 1969 e 1971 pelos pesquisadores Metcalf e Eddy, o modelo SWMM da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA) é utilizado na resolução de problemas quantitativos e qualitativos para simulação de drenagem urbana. (Meller, 2004)

O modelo é estruturado em 9 blocos, sendo 5 blocos auxiliares ou de serviço (*Statics, Graph, Combine, Rain, Temperature*), 4 blocos computacionais (*Runoff, Transport, Extran, Storage/Treatment*) e o bloco *Executive*. (Huber & Dickinson, 1992 *apud* Garcia, 2005).

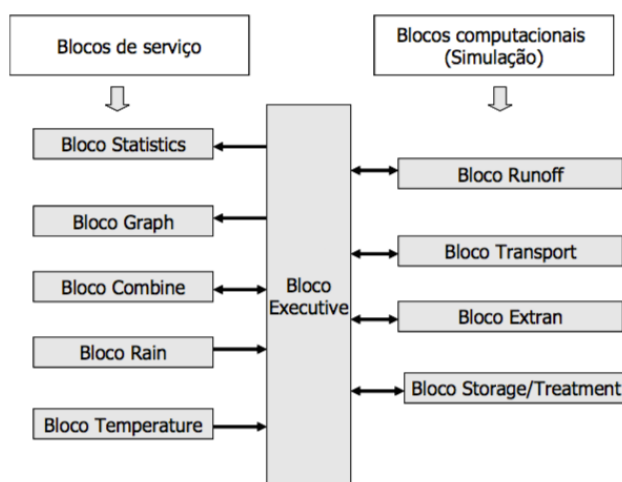


Figura 3.12 Estrutura SWMM (Fonte: adaptado de Huber e Dickinson, 1992).

Aos blocos computacionais, cabe a função dos principais cálculos e simulação como a transformação chuva-vazão pelo bloco *Runoff*, propagação na rede de drenagem pelo bloco *Transport*, modelação hidrodinâmica em condutos e canis enquanto pelo bloco *Extran* e simulações acerca da qualidade da água como a carga de poluente pelo bloco *Storage/Treatment*. (Meller, 2004; Paula, 2015).

Aos blocos de serviço, cabem funções como a organização da ordem das simulações pelo bloco *Executive*, organização dos dados de precipitação pelo bloco *Rain*, organização dos dados de temperatura pelo bloco *Temperature*, apresentação de gráficos pelo bloco *Graph*. (Meller, 2004).

Como os blocos *Runoff* e *Extran* são de maior interesse, a esses será dado maior aprofundamento. O bloco *Runoff* é o responsável pela simulação quali-quantitativa do escoamento gerado e sua propagação, seja essa na superfície ou por canais. Essa simulação ocorrerá pelo processamento de dados de precipitação ou neve, simulando o degelo,

infiltração em áreas permeáveis (modelos de Horton ou Green Ampt), detenção na superfície e em canais, podendo ser utilizado para simulações de eventos isolados ou contínuos. (Meller, 2004).

A área de estudo é dividida em sub-bacias. Com esse fracionamento da área de estudo, as características de cada sub-bacia tornam-se mais homogêneas. Cada sub-bacia é dividida em áreas impermeáveis com armazenamento, áreas permeáveis com armazenamento e área permeável sem armazenamento. Para cada sub-área é atribuído um reservatório não-linear representado pela combinação das equações de Manning e da continuidade resolvidas por Newton-Raphson resultando no escoamento superficial. O escoamento superficial pode ser calculado para cada sub-área, sub-bacia ou ponto de entrada de um sistema de drenagem. Dados como precipitação, área da sub-bacia, largura da sub-bacia, declividade da sub-bacia, coeficiente de Manning, altura do armazenamento em depressões e parâmetros de infiltração são necessários para a simulação hidrológica. (Meller, 2004; Paula, 2015).

Pelo bloco *Extran*, é simulada a propagação do escoamento por meio das equações de Saint Venant para as variáveis vazão e cota piezométrica. A solução ocorre pelo método de Euler modificado, e sua condição de estabilidade é definida pelo critério de Courant. O bloco simula efeitos de jusante, fluxo reverso, fluxo a superfície livre e sob pressão. O sistema de drenagem é concebido como uma série de vínculos e nós. O fluxo é transmitido através dos vínculos para os nós, e esse processo depende da vazão. A equação da continuidade é aplicada aos nós e a equação da quantidade de movimento é aplicada aos vínculos. (Meller, 2004; Garcia *et al.*, 2006).

Garcia *et al.* (2006) propôs um estudo a fim de avaliar a aplicabilidade do SWMM para a bacia hidrográfica urbanizada Arroio Cancela no Rio Grande do Sul. Segundo o autor, o modelo hidrográfico gerou bons resultados na simulação dos eventos através da calibração. O modelo mostrou-se mais sensível a parâmetros como a porcentagem de área impermeável e a largura do escoamento das sub-bacias.

Paula (2015) utilizou o modelo SWMM para analisar os efeitos da urbanização do Setor Habitacional Vicente Pires no Distrito Federal. Não foi realizada a calibração e verificação do modelo devido à ausência de dados. Segundo a autora, o modelo apresentou resultados satisfatórios para fins educacionais.



Da mesma forma, Ponciano (2016) observou a validade do modelo para a avaliação das consequências do uso e ocupação desordenado sobre uma bacia urbana, mesmo sem a possibilidade de calibração das simulações que realizou.

Costa (2013), que além da análise quantitativa, fez o monitoramento qualitativo de turbidez, amônia, sólidos em suspensão e outros parâmetros de águas coletadas em duas redes de drenagem no DF por meio do SWMM, encontrou resultados satisfatórios, principalmente em relação à parâmetros como a carga de DQO do escoamento.

Desta, forma, o modelo se apresenta como uma ferramenta relevante mesmo para fins educacionais.

## 4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

### 4.1 - CONTEXTO HISTÓRICO

O Setor de Habitações Coletivas Noroeste foi idealizado por Lúcio Costa em 1987 como parte integrante da área inscrita como Patrimônio Cultural da Humanidade, nesse mesmo ano (Terracap, 2012).

A Área de Expansão Noroeste compreende uma poligonal de 825 hectares, que engloba as áreas do Parque Burle Marx (300 hectares), da encosta direita do ribeirão Bananal, da área destinada ao setor residencial proposto por Lúcio Costa e pelo Camping (TC/BR, 2005). A poligonal supracitada segue as seguintes delimitações: ribeirão Bananal ao norte, EPIA a noroeste, SMU e Autódromo ao sul e o Setor de Grandes Áreas Norte e o Setor Terminal Norte a leste (TC/BR, 2005). O Setor Noroeste está inscrito na Bacia do Paranoá.

O PDOT/DF (1997) classificou a região destinada ao empreendimento como uma Zona Urbana de Consolidação, já que constitui um extenso vazio no interior da malha urbana localizado em uma zona privilegiada no Plano Piloto.

Essa ampliação da área de interesse visava à avaliação das interrelações entre a ocupação urbana e os usos existentes e projetados, considerando as influências da ocupação na microbacia do Bananal. O requerimento de licenciamento ambiental da implantação do Setor foi feito em 1997 e, em 2010, foi deferida a Licença de Instalação N° 033/2010, autorizando a Terracap a dar início às obras (NCA, 2012).



Figura 4.1 Poligonal do Setor Noroeste no princípio da implantação dos loteamentos (Fonte: Terracap, 2012).



Figura 4.2 Loteamento proposto pela Terracap e que é seguido atualmente (Fonte: Terracap, 2000).

Na Figura 4.2, as áreas em amarelo representam a localização das quadras residenciais, as áreas em laranja representam os lotes comerciais e as áreas em verde indicam as áreas de preservação.

#### 4.2 - ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

No que diz respeito aos aspectos climáticos do Distrito Federal, pode-se dizer que a região apresenta uma estação seca e uma chuvosa, esta última sendo responsável pela maior porcentagem de precipitação ao longo do ano e sendo compreendida, geralmente, entre os meses de outubro e abril (TC/BR, 2005). Por esse motivo, a distribuição pluviométrica da estação do INMET segue o mesmo padrão do restante da região centro-oeste do Brasil, com predominância do bioma Cerrado. As duas estações, seca e chuvosa, são muito bem definidas.

A partir de dados pluviométricos do INMET, Topocart (2012) utilizou a curva IDF usada pela Novacap em projetos de drenagem no DF para Área de Expansão Noroeste. Na equação 5.1, onde  $I$  refere-se à intensidade da precipitação (mm/h),  $T$  ao tempo de retorno (anos) e  $t_c$  à duração da chuva em minutos, foram utilizados apenas os pluviogramas com chuvas diárias superiores a 10 mm.

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

Equação 4.1 Chuva de Projeto do PDDU.

A partir da Equação 4.1, pode-se obter a precipitação multiplicando a intensidade calculada pelo tempo de duração da chuva.

Ainda segundo o Instituto, a temperatura do DF é influenciada basicamente pela altitude na qual se encontra o Planalto Central, ficando compreendida entre 19° e 22°, salvo as zonas de ilhas de calor formadas a partir da remoção de vegetação nativa, no caso do Noroeste a temperatura provavelmente é um pouco mais alta que a média do Distrito Federal, uma vez que o processo de implantação do Setor se encontra avançado atualmente.

### **4.3 - DRENAGEM URBANA**

O projeto de drenagem é parte fundamental do empreendimento na prevenção de escorregamentos de solos e erosões lineares. As águas devem ser disciplinadas de forma a garantir o escoamento seguro do excesso de águas pluviais geradas pela impermeabilização parcial do solo. A partir do ponto inicial da galeria, na extremidade noroeste do novo Setor Habitacional, a distância até o possível ponto de lançamento no ribeirão Bananal corresponde a cerca de 1.300 metros. Esse percurso poderá ser feito ao lado da EPIA, na faixa de domínio dessa rodovia, sem interferência com áreas de preservação permanente, a não ser nas proximidades do local de lançamento, onde terá que ser atravessada a faixa delimitada pelo Código Florestal (Topocart, 2012).

O potencial de impacto desse fator foi classificado como alto, principalmente devido à grande importância da existência de sistemas de drenagem para compatibilização ambiental de assentamentos humanos.

O sistema de drenagem urbana do Setor Noroeste está intimamente ligado à configuração topográfica da área, que é a base de definição do projeto de drenagem, uma vez que a topografia dita o sentido natural da drenagem na bacia no período de pré-urbanização (Topocart, 2012). O PDDU/DF ainda atenta para o prejuízo decorrente do assoreamento do ribeirão Bananal e do Lago Paranoá e propõe que sejam tomadas medidas compensatórias (não-convencionais) que contribuam para a redução do escoamento que corre superficialmente, reduzindo os impactos que incorrem do carreamento de sedimentos e resíduos.

Segundo a Topocart (2012), a adoção de medidas de controle, por meio da alternativa de drenagem sustentável, relacionadas com as águas pluviais, conferem uma série de vantagens ambientais e econômicas. Dentre as medidas projetadas, destacam-se:

- medidas de retenção e estocagem de água da chuva para reuso;
- diminuição do número de galerias;
- recuperação de erosões em função de águas coletadas no Setor Militar Urbano e no Autódromo;
- indução de permeabilidade, infiltração e percolação pela detenção do escoamento, gerando um aumento das recargas do subsolo;
- tentativa de aproximação dos valores dos tempos de concentração pós implantação aos naturais;
- integração do sistema de saneamento e uma manutenção periódica adequada.

Estimou-se que a adoção das medidas citadas reduziria a vazão de pico, uma vez que a premissa do sistema adotado é atenuar ao máximo essas vazões, preservando o Lago Paranoá.

#### **4.3.1 - Sistema de Drenagem de Águas Pluviais**

O projeto de drenagem proposto preconiza a minoração dos efeitos causados pelo desenvolvimento urbano da região, visando a uma situação de sustentabilidade em relação ao meio ambiente em que está inserido o Setor Noroeste, contemplando não só a área destinada à implantação do Setor, como as contribuições externas advindas do Setor Militar Urbano e do Autódromo.

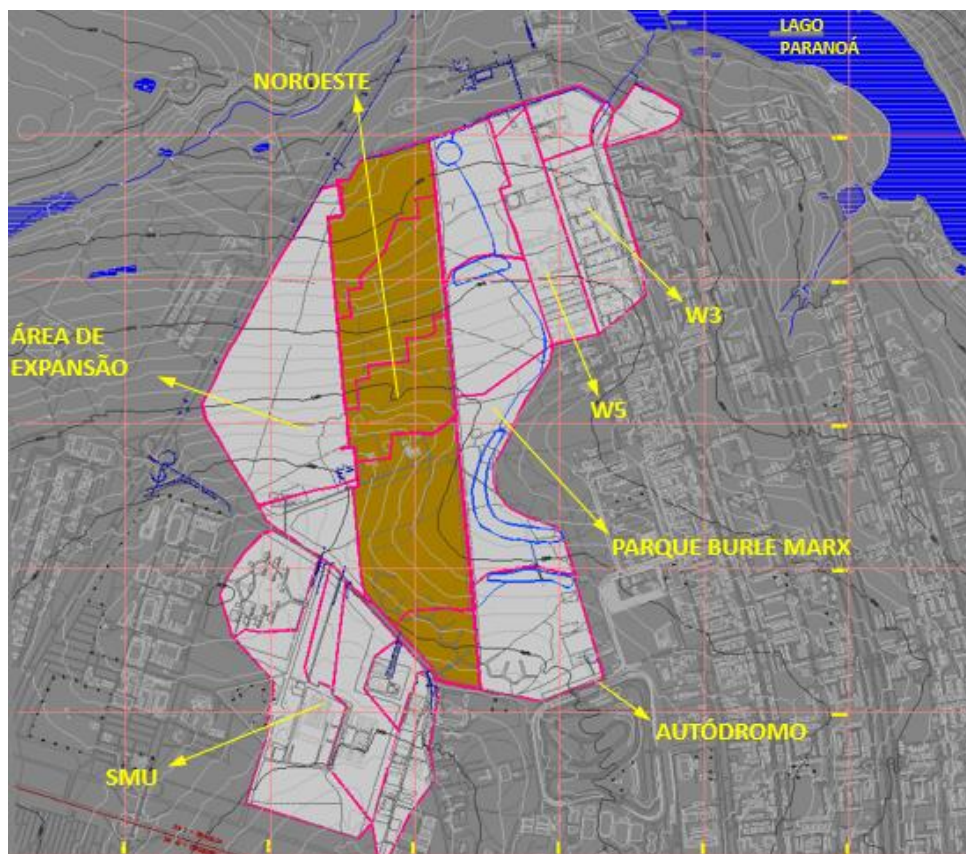


Figura 4.3 Bacia de Contribuição (Fonte: Adaptado de Topocart, 2012).

Para que seja possível a minoração desejada, os dispositivos necessários são (Topocart, 2012):

- *Caixas de retenção* nos blocos residenciais e edifícios públicos com capacidade de deter por aproximadamente 20 minutos as águas pluviais advindas das coberturas e fachadas, direcionando-as às trincheiras drenantes ou à rede convencional. As caixas terão fundo permeável e não serão implantadas nas áreas comerciais em função da falta de espaço;
- *Ecovalas*, que têm a finalidade de conduzir as águas pluviais coletadas das trincheiras drenantes para a rede convencional, revestidas com grama no fundo e nos taludes visando à integração com o paisagismo;
- *Trincheiras drenantes*, que funcionam como interligação das caixas drenantes com as ecovalas ou com a rede convencional, utilizadas em canteiros de estacionamentos dos blocos;
- *Rede convencional* composta de tubos, galerias e bocas de lobo;
- *Estações de Tratamento de Águas Pluviais*, implantadas antes dos lançamentos nas lagoas de amortecimento, a fim de melhorar a qualidade da água lançada no Lago

Paranoá, ao lado da Ponte do Bragueto, ede evitar o processo de assoreamento do Lago apontado pelo EIA da região elaborado por TC/BR (2005);

- Quatro *lagoas de amortecimento*, com a finalidade de reter o escoamento e implantadas na região do Parque Burle Marx, formando lâminas d'água permanentes visando à integração com o paisagismo;
- *Rede de lançamento no Lago Paranoá* será composta por tubos e galerias, bem como por dissipadores.

Além dos dispositivos descritos, o sistema de drenagem da região noroeste será complementado por dispositivos acessórios, tais quais: *poços de visita* localizados no início e na interligação das galerias com uma distância máxima de 80m entre um poço e outro, esses poços são destinados à manutenção das redes; *bocas de lobo* para a captação das águas pluviais com base em levantamentos topográficos para a localização e capacidade de condução das sarjetas.

#### **4.3.2 - Parâmetros de Projeto do Sistema de Drenagem**

De acordo com TC/BR (2005), um ponto do Ribeirão Bananal, que está a montante do qual receberá parte das vazões coletadas do Setor Noroeste, possui vazões médias, observadas entre 1970 e 2001, na faixa de 1,48 até 3,26 m<sup>3</sup>/s, a vazão máxima observada gira em torno de 13 m<sup>3</sup>/s, deste modo, supõe-se que as vazões no local de lançamento das águas pluviais coletadas serão maiores que as naturais.

É observada a ocorrência de áreas inundadas ao longo do Ribeirão Bananal, o que explicita a baixa capacidade de absorção de novas contribuições pluviais do corpo hídrico em questão, refletindo o processo de assoreamento dos tributários do Lago Paranoá decorrente da ocupação urbana da bacia. A Figura 4.4 mostra a poligonal do Setor Noroeste inscrita na Bacia do Lago Paranoá e a Figura 4.5, a proximidade do bairro em relação ao Ribeirão Bananal.

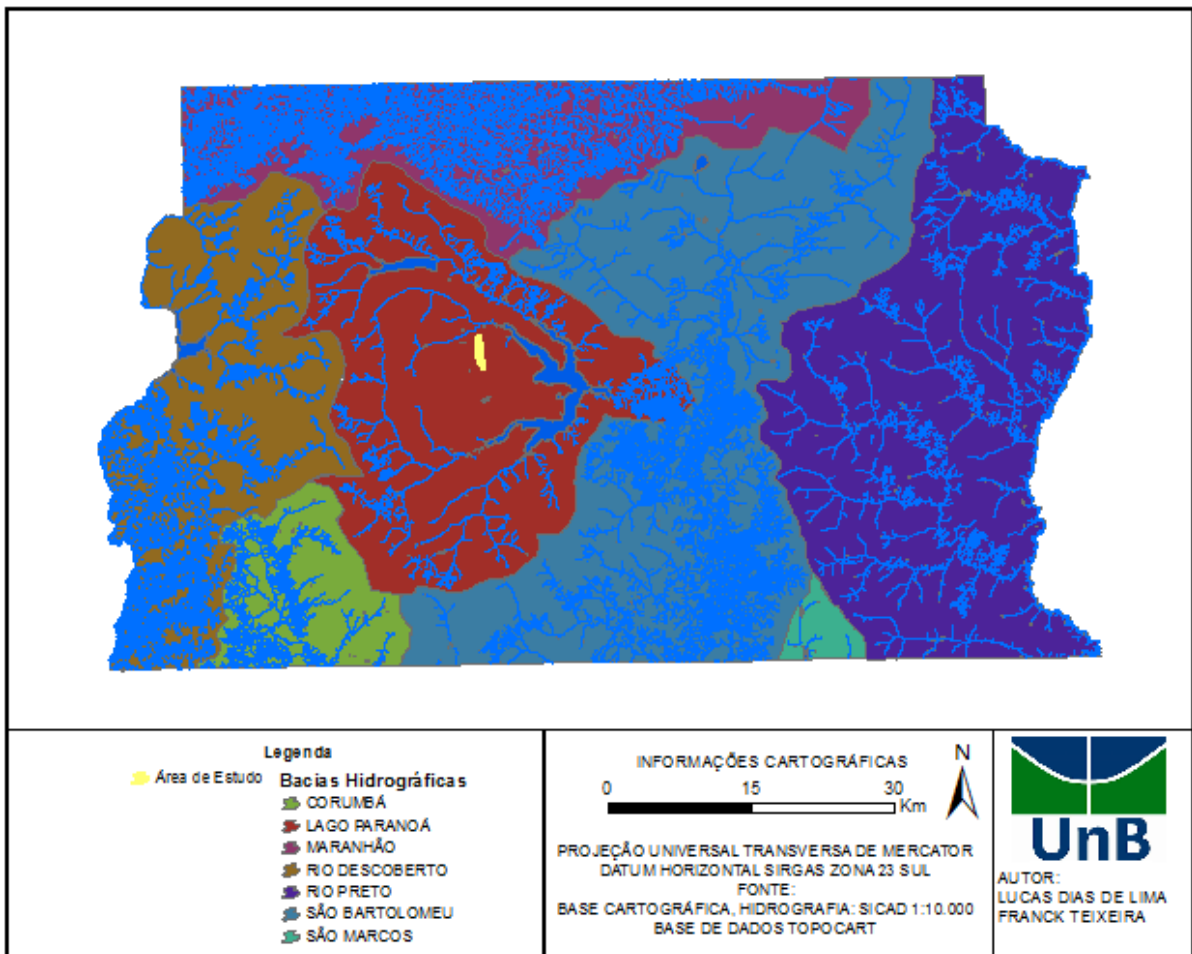


Figura 4.4 Área de Estudo inserida na Bacia do Lago Paranoá.



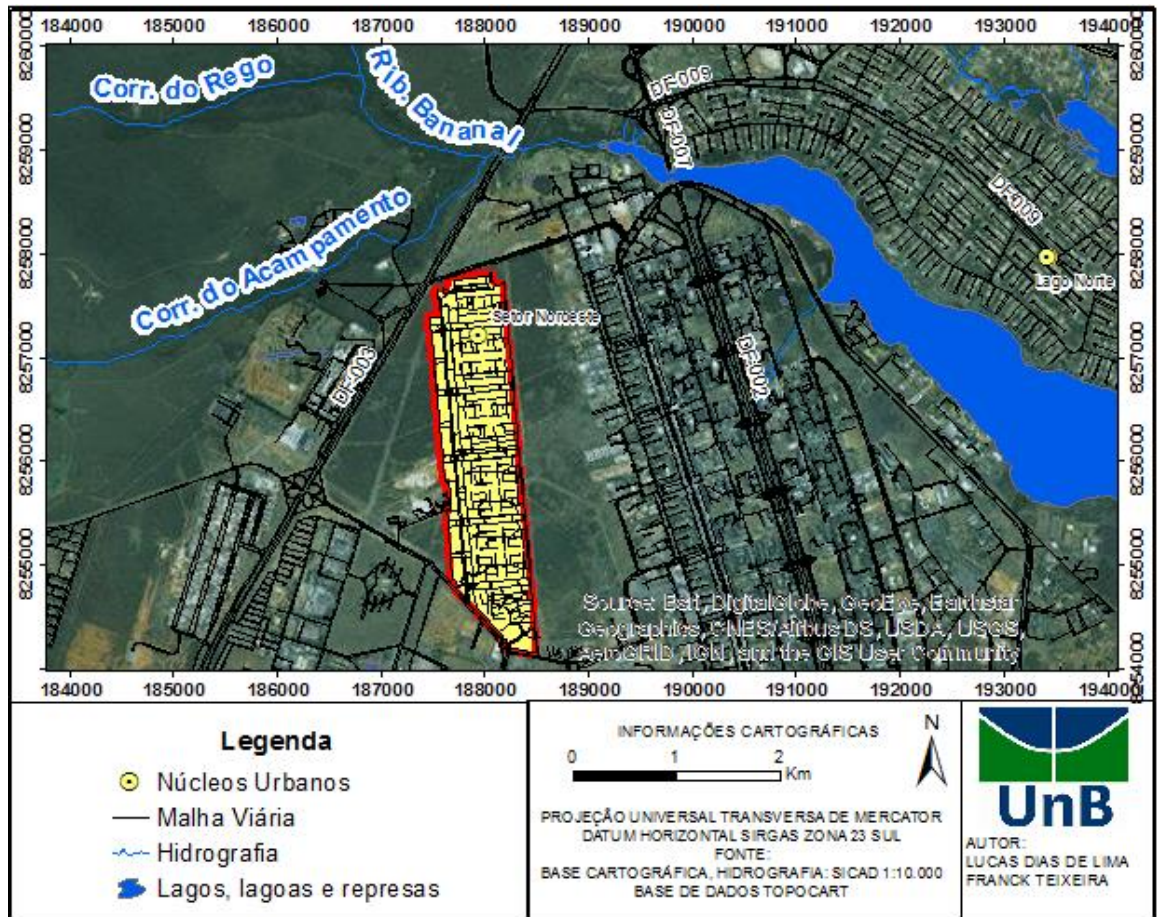


Figura 4.5 Localização do Bairro em relação ao Ribeirão Bananal.

## **5 - METODOLOGIA**

A metodologia a ser adotada para o desenvolvimento do presente trabalho seguirá as etapas explicitadas no diagrama da Figura 4.1. Em um primeiro momento, aliada à fundamentação teórica e à revisão bibliográfica, será realizado um levantamento de informações necessárias para o desenvolvimento da metodologia proposta.

Os dados levantados são referentes aos planos e projetos destinados à área e aos aspectos relativos à drenagem aprovados no Projeto de Plano de Drenagem para a região, além da caracterização ambiental da área do Setor Habitacional Noroeste, que consiste de informações referentes ao relevo, ao uso e ocupação do solo e aos aspectos climáticos, para que fosse possível a simulação do escoamento superficial de cenários pré e pós-urbanização por meio do software PCSWMM.

Por meio da metodologia adotada, será possível a comparação dos resultados obtidos com o projeto de drenagem proposto para a região e isso possibilitará a avaliação de impactos desse escoamento gerado a jusante.

### **5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE E OBTENÇÃO DE DADOS**

A caracterização da área do Setor Habitacional Noroeste foi feita por meio do levantamento de dados geográficos, a partir de mapas de uso e ocupação do solo, de pedologia e de relevo na região, visando, principalmente, à caracterização ambiental da área em situação anterior e posterior à implantação dos loteamentos do Setor Noroeste. Aliado a essas informações, será feito um levantamento de dados climatológicos, para que possa ser possível a avaliação do panorama atual de drenagem pluvial da área urbanizada e a comparação do mesmo com o cenário anterior à ocupação populacional.

Os dados de caracterização física e socioeconômica do Setor Noroeste foram baseados no EIA/RIMA da área de expansão, elaborado pela empresa TC/BR (2005), no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT), elaborado pela Codeplan (1996), no Plano de Ocupação da Área de Expansão Urbana Noroeste (GDF, 2000), no Termo de Referência da Terracap (2012), que diz respeito ao Plano de Gestão Ambiental de Implantação e no Relatório Final do Plano de Gestão Ambiental de Implantação (Terracap, 2012). Todas as informações que tangem à drenagem urbana no Noroeste foram obtidas por meio da avaliação do Projeto de Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal

(PDDU/DF) disponibilizado pela Novacap e por informações disponibilizadas pela empresa Topocart.

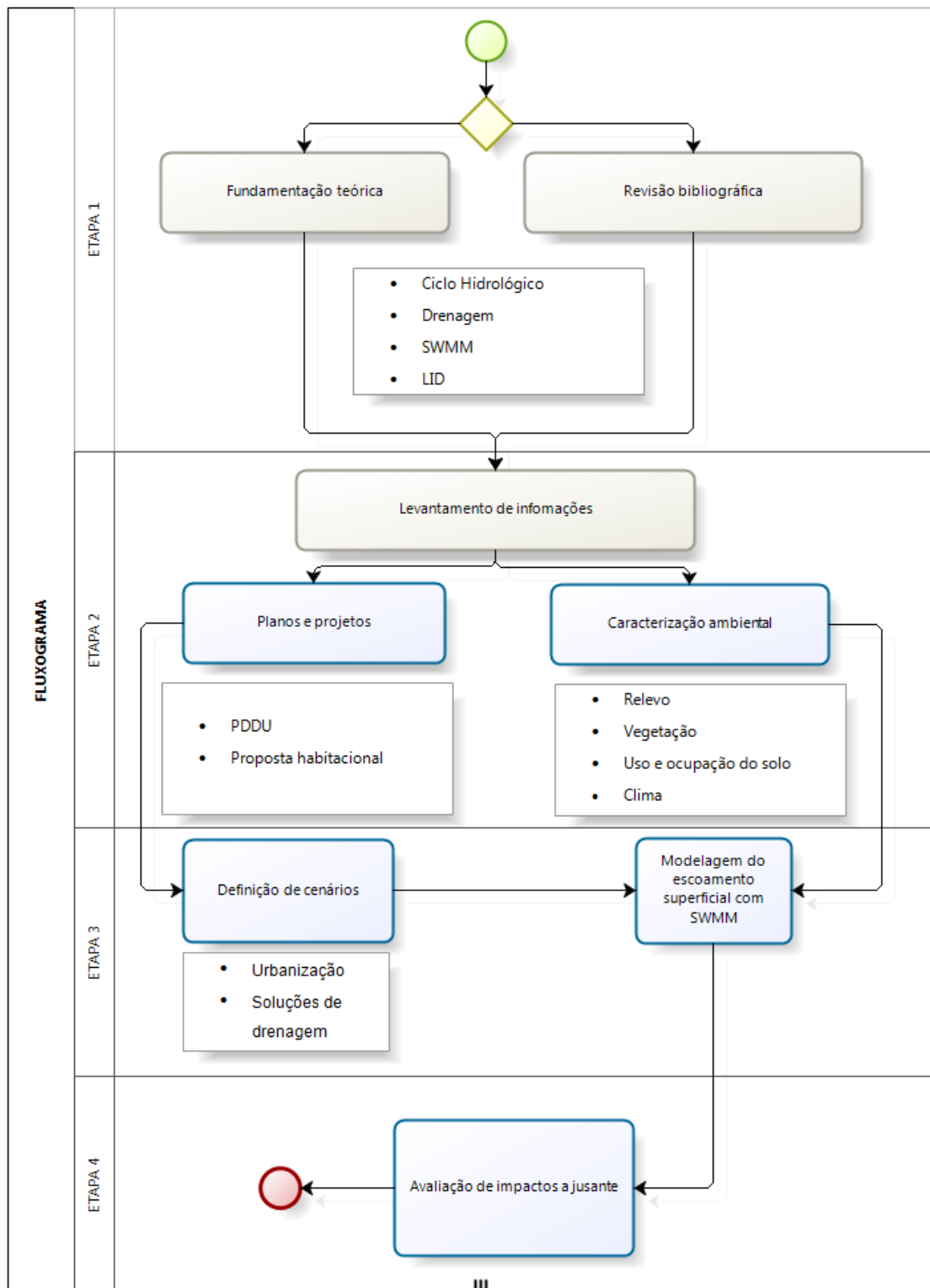


Figura 5.1 Diagrama de Metodologia

A curva IDF será utilizada em congruência com o Plano de Drenagem de Águas Pluviais – Área de Expansão Noroeste, integrante do PDDU/DF (Novacap, 2012), que foi construída

com dados do registro pluviográfico do INMET e está apresentada na Equação 4.1 do item anterior.

A área de interesse para o estudo apresentado irá se restringir à poligonal referente ao bairro em si, onde serão implementadas todas as quadras comerciais e residenciais e a grande maioria dos dispositivos urbanísticos. Essa poligonal, doravante área de estudo, está disposta na Figura 5.2.

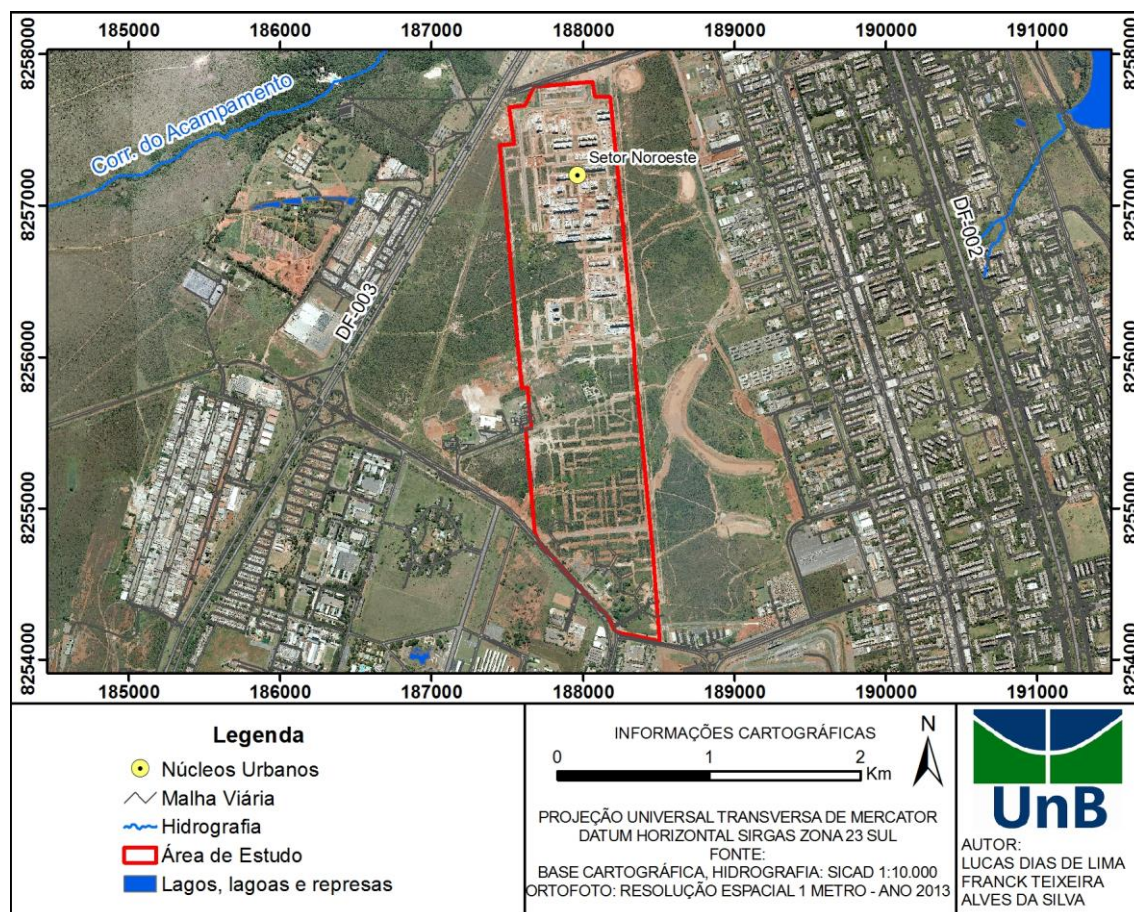


Figura 5.2 Mapa de localização da área de estudo.

## 5.2 - MODELAGEM SWMM

O modelo hidrológico *Storm Water Management Model* (SWMM) foi utilizado com o intuito de simular o escoamento superficial e analisar os possíveis impactos consequentes da urbanização do Setor Noroeste, comparando os impactos previstos pelo Projeto de Plano Diretor de Drenagem Urbana com os impactos simulados.

Por meio desse modelo foi possível simular o comportamento do escoamento superficial produzido, analisando quantitativamente tal fenômeno. A etapa de modelagem hidrológica

do escoamento consiste na obtenção dos hidrogramas de projetos que foram propagados na rede de drenagem e que foram obtidos por meio da determinação da precipitação efetiva e da transformação dela em deflúvio. Para tal, foi utilizado o método de Curva Número (CN) para determinação do tipo e uso do solo da região de interesse. Os valores de CN foram estimados de acordo com a situação atual e a situação pré-urbanização.

A simulação matemática da drenagem por meio do software é de grande importância para a avaliação do comportamento da rede de drenagem atual e para a comparação de seu funcionamento com cenários anteriores e com cenários alternativos que visam à complementação do sistema de drenagem do Setor Noroeste com medidas compensatórias para controle dos volumes precipitados excedentes.

### **5.3 - PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS PARA DIMINUIR OS IMPACTOS**

Após a obtenção e análise dos resultados, foram propostas medidas visando a diminuir os impactos do escoamento superficial em áreas a jusante, medidas essas de drenagem urbana de caráter não convencional.

## **6 - RESULTADOS**

### **6.1 - CARACTERIZAÇÃO DO SETOR HABITACIONAL NOROESTE**

Para a confecção de todos os mapas temáticos dispostos, optou-se por trabalhar com a projeção transversa de Mercator, Datum Horizontal, SIRGAS 2000 UTM Zona 23 Sul.

#### **6.1.1 - Pedologia**

Na região destinada ao bairro Setor Habitacional Noroeste foi encontrado apenas um tipo de solo de acordo com o mapeamento de reconhecimento de solos do Distrito Federal feito pela Embrapa em 1978. Desta forma, região destinada à ocupação urbana possui a predominância de apenas um tipo de solo, o Latossolo Vermelho Escuro.

Os Latossolos, como o Vermelho Escuro, tendem a ocorrer em áreas de declividade menos acentuada, podendo, porém, ocorrer em áreas topograficamente mais movimentadas (Ker, 1997). São solos que garantem uma boa eficiência de drenagem interna, devido à faixa de 50% a 60% de porosidade, apesar de apresentarem uma certa fragilidade estrutural quando submetidos à ação antrópica (Sartori *et al.*, 2004).

Sartori *et al.* (2004) também traz a correspondência da Pedologia com o Grupo Hidrológico ao qual aquele tipo de solo pertence, sendo assim, o Latossolo predominante na área de interesse pertencente ao Grupo A, que são solos de baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração quando saturados e de baixo potencial de erosão. A partir dos dados de pedologia, foi possível elaborar o mapa do Grupo Hidrológico componente do Setor Noroeste, apresentado na Figura 6.1.

O mapa de grupo hidrológico do solo é necessário para, juntamente às informações de uso ocupação, obter o parâmetro Curva Número (CN) para cálculo da infiltração.

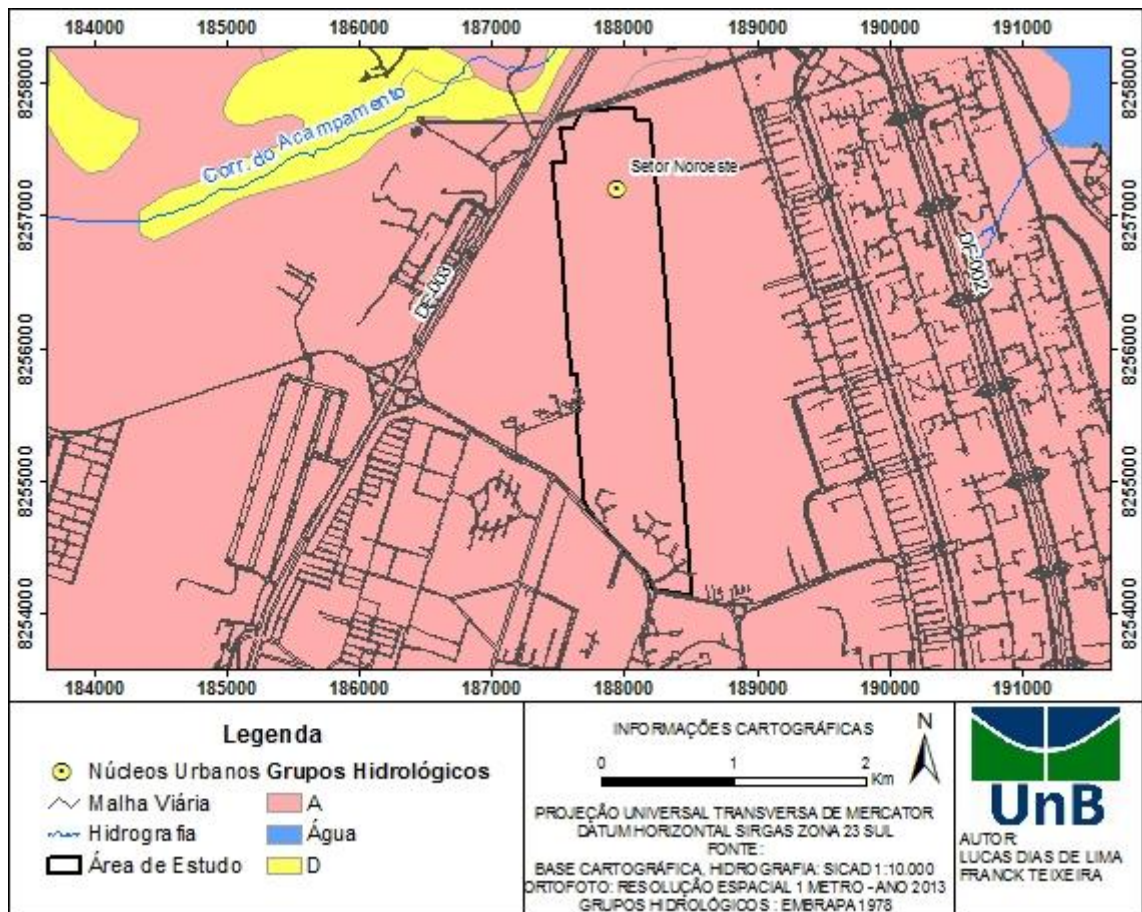


Figura 6.1 Mapa de Grupos Hidrológicos do Setor Noroeste.

### 6.1.2 - Relevo

Para a obtenção do relevo da região de estudo, foi necessária a elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) no software ArcGIS 10.1, a partir de curvas de nível com espaçamento de 1 metro disponibilizadas pela Novacap. A elaboração do MDE é feita a partir das curvas de nível mestras e intermediárias do local e tem sua precisão atrelada ao grau de detalhamento da topografia, daí a necessidade da utilização das curvas espaçadas em 1 metro. O Modelo gerado pode apresentar alguns espaços vazios, para a correção destas possíveis pequenas imperfeições, faz-se um processamento adicional nos dados por meio da ferramenta *Fill*. O MDE resultante foi recortado para abranger apenas a área de interesse, por questões de apresentação, como pode ser visto no mapa da Figura 6.2.

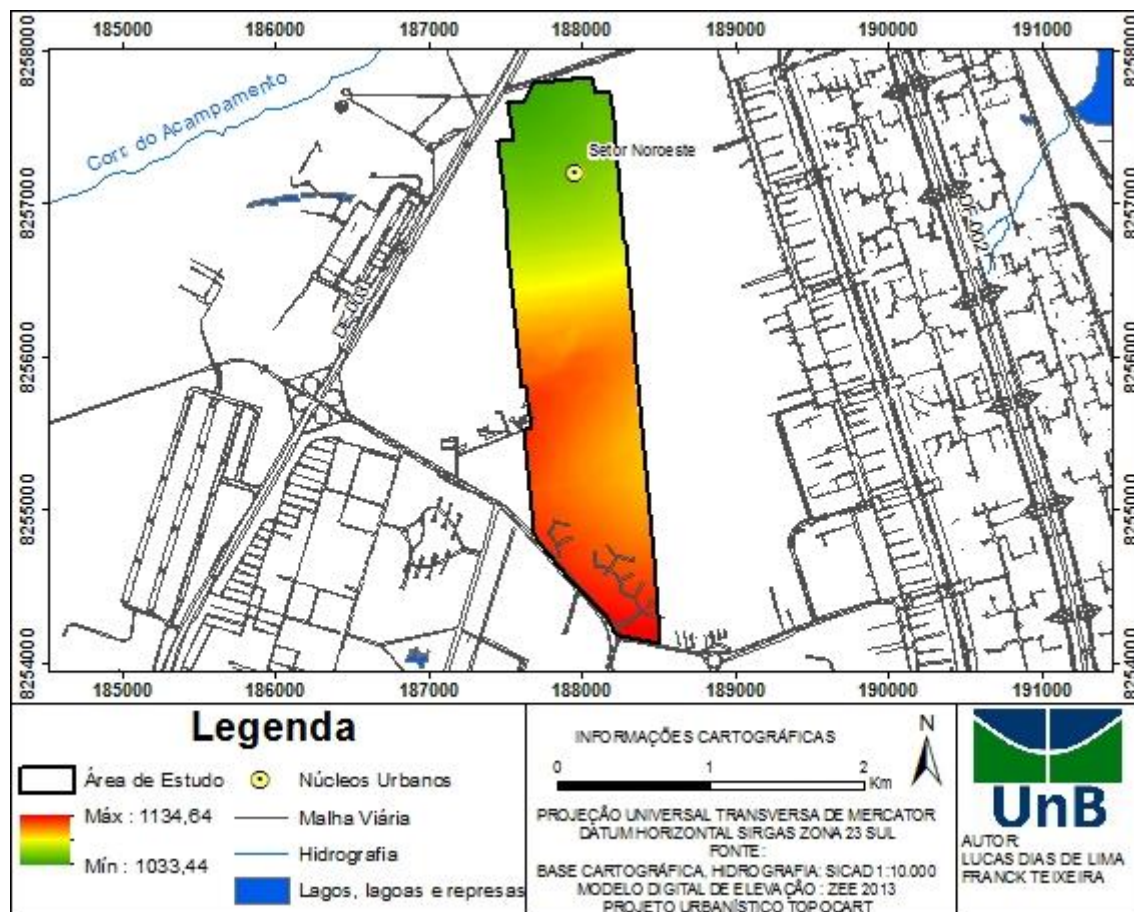


Figura 6.2 Mapa de Elevação do Setor Noroeste.

Para determinação da declividade da área de interesse, foi realizado um processamento a mais. A declividade foi, então, calculada em porcentagem e dividida em classes de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, EMBRAPA (1999). O bairro Noroeste é abrangido por três classes de declividade:

- Relevo Plano, com desnivelamentos pequenos de 0 a 3%;
- Relevo Suave Ondulado, com declives suaves de 3 a 8%;
- Relevo Ondulado, declives moderados de 8 a 20%.



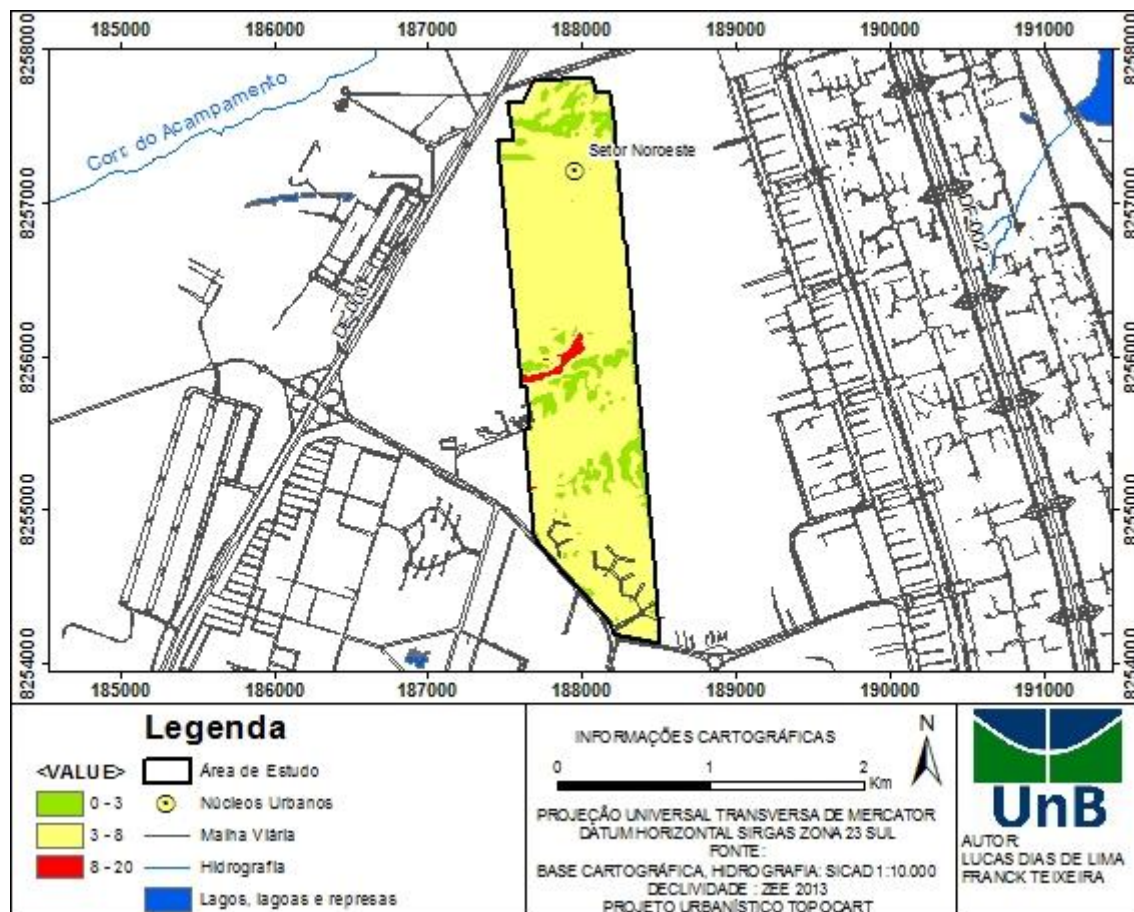


Figura 6.3 Mapa de Declividade do Setor Noroeste.

Observa-se uma predominância de declividade entre 3 e 8% na região em questão em concordância com a presença de Latossolo Vermelho Escuro no Setor, como pôde ser observado na Figura 6.4.

### 6.1.3 - Uso do Solo

Para o presente estudo, foram elaborados mapas de uso e cobertura de quatro diferentes cenários ao longo do tempo. Um mapa para o cenário de 1964 (Cenário Pré-Urbanização), e outros mapas para os cenários de 2013, 2015 e 2016 (Cenário do início da urbanização até uma data mais atual), além disso, foi gerado um mapa de uso e cobertura que simula as características do Setor Noroeste quando este estiver com seu projeto urbanístico totalmente implementado no futuro.

O cenário de 2013 foi utilizado para uma análise do início da implementação do Setor Habitacional Noroeste. Para elaboração do mapeamento de 2013, foi utilizada a ortofoto disponibilizada pela SICAD com resolução espacial de 1 metro, datada de 2013. Foram propostas quatro classes para classificação do uso do solo. São essas classes, Área Predial

(área urbana de média densidade), Vegetação (cerrado e campo limpo), Solo Exposto e Vias Pavimentadas. Com o auxílio do software ArcGis, foi possível coletar amostras de cada classe em questão. Após a coleta de amostras significativas, foi feita a classificação por Máxima Verossimilhança.

Obteve-se então o mapa de uso e ocupação do solo de 2013. Pela análise desse mapa é possível notar áreas prediais na porção mais ao norte do setor (Quadras 110, 310, 111 e 311), grandes parcelas de solo exposto devido aos canteiros de obras instalados e parcelas de vegetação distribuídas ao longo do setor.

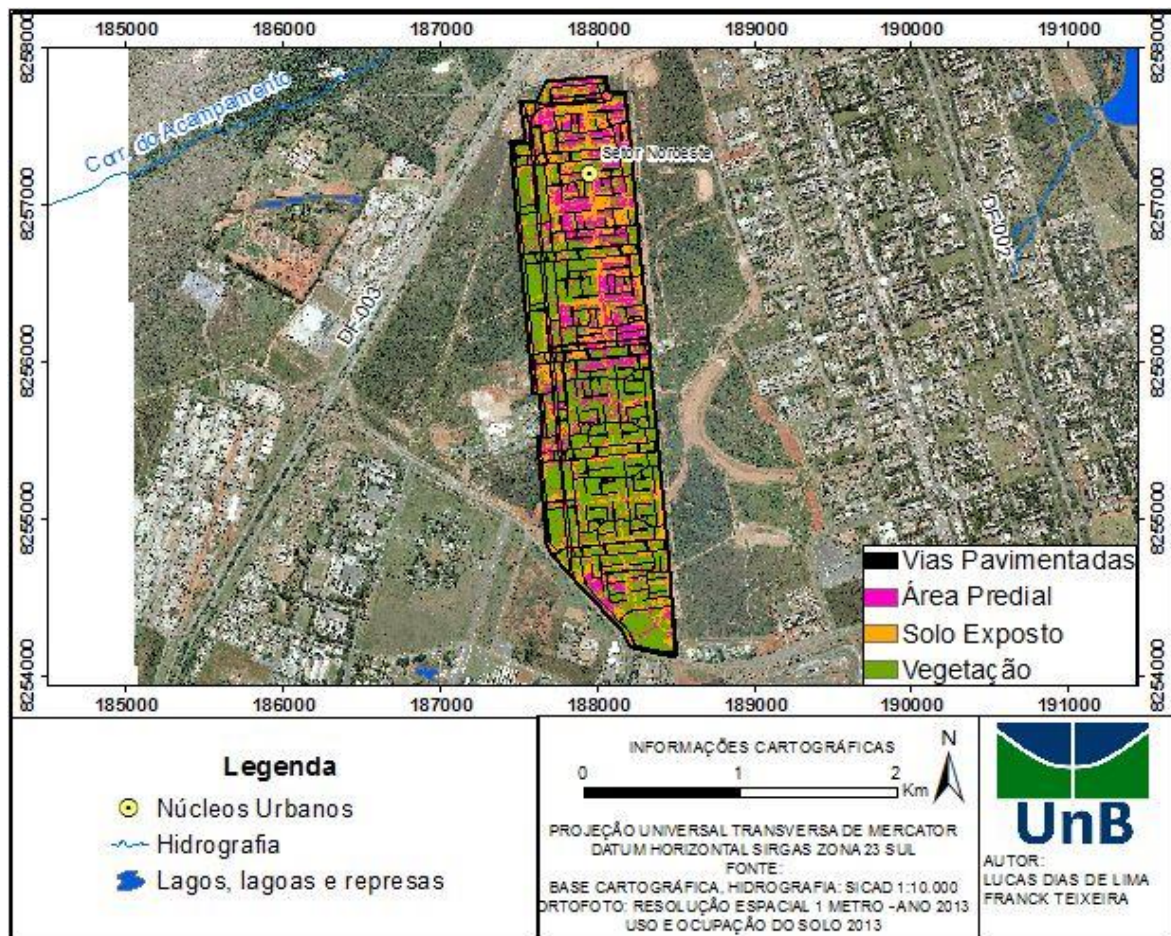


Figura 6.4 Uso e Cobertura do Solo - Setor Noroeste em 2013.

Os cenários de 2015 e 2016 foram elaborados a partir de imagens do satélite Landsat-8, disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A banda vermelha, a banda verde e a banda azul do satélite Landsat-8 possuem resolução espacial de 30 metros. Já a banda pancromática possui uma resolução espacial de 15 metros. Para a elaboração desses mapas, foi realizada uma fusão da composição Cor Verdadeira (formada da composição das bandas vermelha, verde e azul) com a banda Pancromática. A fusão foi

utilizada com o objetivo de melhorar a resolução espacial da imagem, dessa forma foi possível trabalhar com uma composição cor verdadeira de resolução espacial de 15 metros. O software ArcGis foi utilizado para a execução da fusão e da classificação do solo. A classificação foi realizada pelos mesmos métodos do mapa de uso e ocupação de 2013.

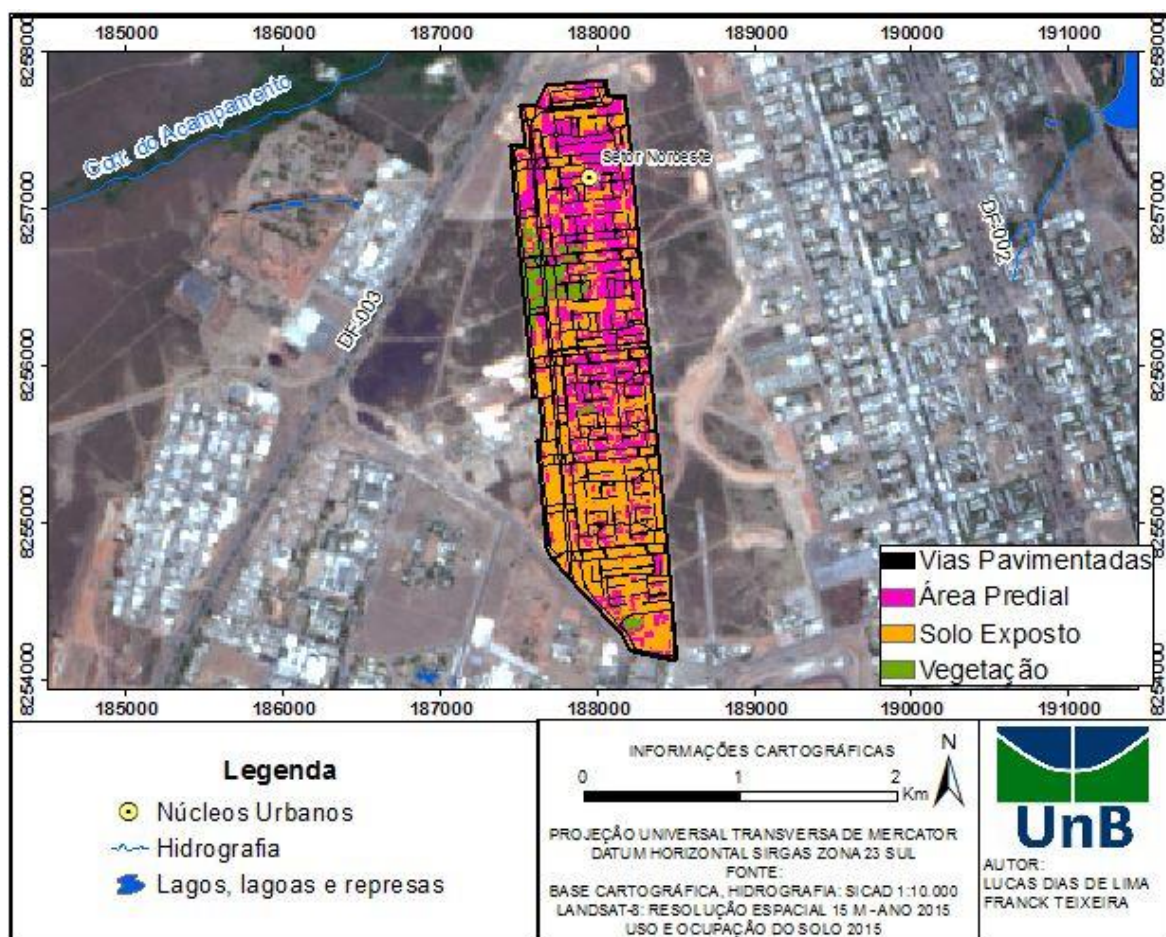


Figura 6.5 Uso e Cobertura do Solo - Setor Noroeste em 2015.

Dos mapas apresentados acima é possível perceber um aumento na área predial do setor em relação ao mapa de 2013, devido à intensificação do processo de urbanização. É possível notar também um aumento na área de solo exposto, tal fato pode ser explicado devido ao período das imagens, Setembro que é o final do período de estiagem no Distrito Federal. Outro fator para explicar o aumento na área de solo exposto é a continuação da implementação de canteiro de obras no setor. A diferenciação do solo exposto gerado em função da ação antrópica por meio da desagregação de grãos do solo com vegetação em estado de dormência no período seco não foi possível devido a resolução das ortofotos cedidas não ser muito alta, porém, foram utilizadas apenas imagens referentes ao mês de Setembro a fim de minimizar a influência do estado da vegetação no uso do solo, visto que espera-se comportamento semelhante nos diferentes anos.

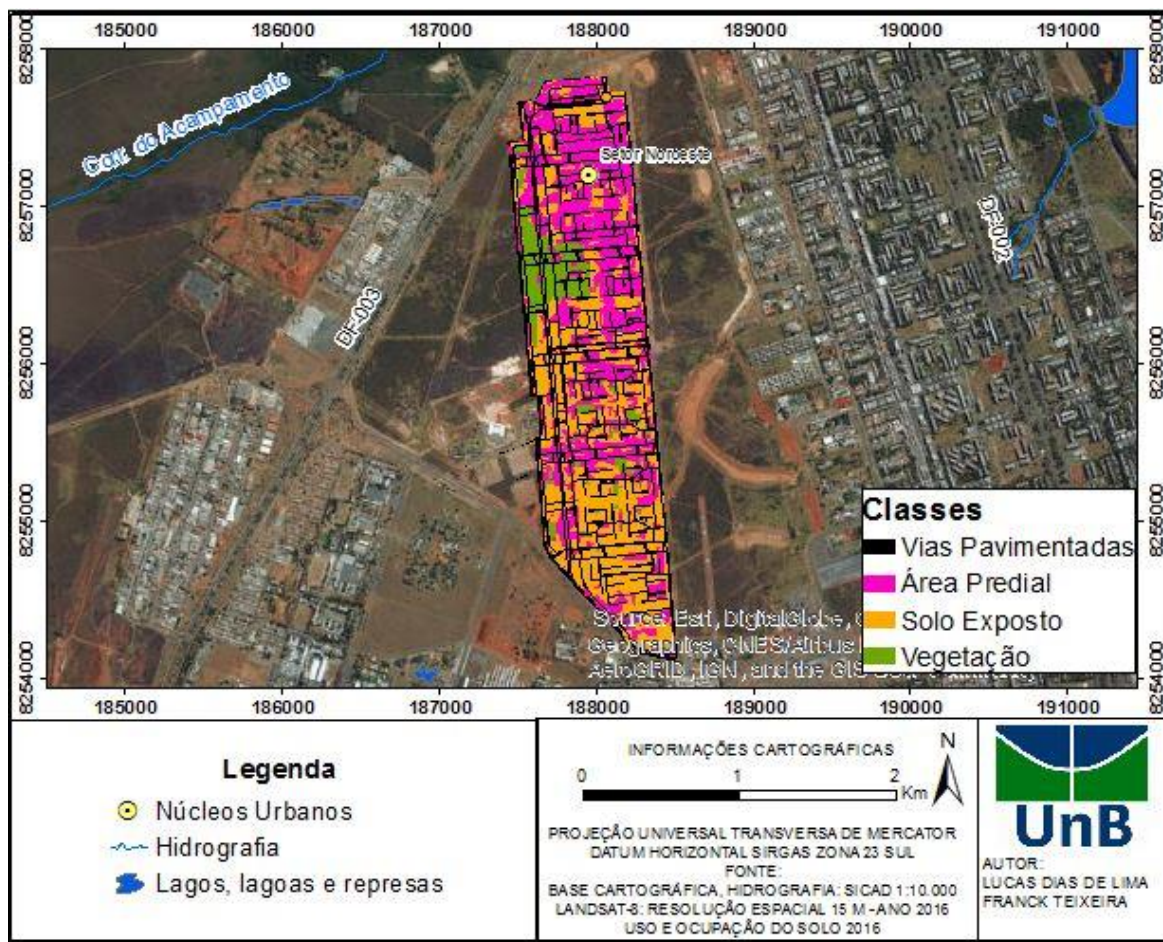


Figura 6.6 Uso e Cobertura do Solo - Setor Noroeste em 2016.

Os mapas de 2016 demonstram, em relação aos cenários anteriores, o crescimento na área predial e decaimento do solo exposto, além do decaimento na área de vegetação. Dessa forma, é possível concluir o significativo avanço do processo de urbanização do setor.

Tabela 6.1 - Comparação entre cenários de uso e cobertura do solo.

	2013		2015		2016	
	Área km <sup>2</sup>	Fração do Total	Área km <sup>2</sup>	Fração do Total	Área km <sup>2</sup>	Fração do Total
<b>Área Urbana:</b>	0,582393	23%	0,907319441	37%	1,151825279	45%
<b>Solo Exposto:</b>	1,645895	65%	1,379730964	57%	1,131535434	45%
<b>Vegetação:</b>	0,303857	12%	0,140535215	6%	0,252178554	10%

Na Tabela 6.1 estão representados os dados de área para cada classe dos cenários de 2013, 2015 e 2016.

Dos dados apresentados na Tabela 6.1, é possível perceber o aumento na fração de área predial, fato esse que pode ser explicado pela concretização de projetos como prédios residenciais e comerciais nesse período. Redução na quantidade de solo exposto, que também pode ser justificado pela mesma premissa da área predial. E aumento na área de

vegetação que pode estar relacionado ao encerramento de diversos canteiros de obras, instalação de jardins nos edifícios e nas quadras residenciais.

O Uso e Cobertura para o cenário de 1964 foi utilizado para exemplificar o cenário pré-urbanização do setor. Para esse cenário, não havia área urbana para o local de estudo. Sendo esse coberto apenas por cerrado e campo.

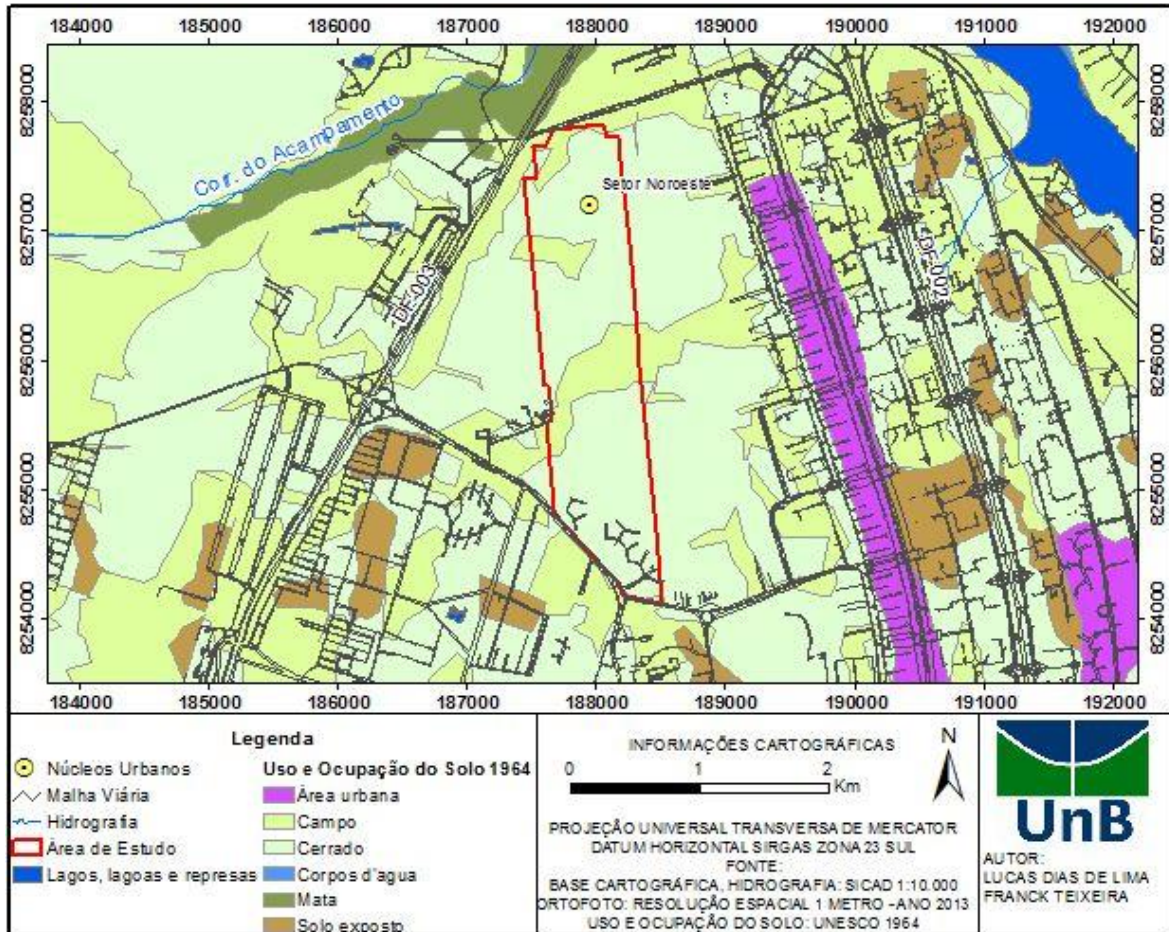


Figura 6.7 Uso e Cobertura do Solo - Setor Noroeste em 1964.

Para a elaboração de um mapa temático de uso e cobertura que pudesse projetar as características esperadas no futuro, estando o Setor Noroeste totalmente implementado e seguindo fielmente seu planejamento urbanístico foi utilizado o projeto aprovado pela Novacap, e disponibilizado pela mesma. As informações coletadas por auxílio do software AutoCAD foram processadas no ArcGis e tiveram seus atributos de uso estimados, essas informações foram sobrepostas aos dados referentes para o ano de 2016. Na Figura 6.8 é possível ver o mapa gerado com a estimativa de uso futuro.

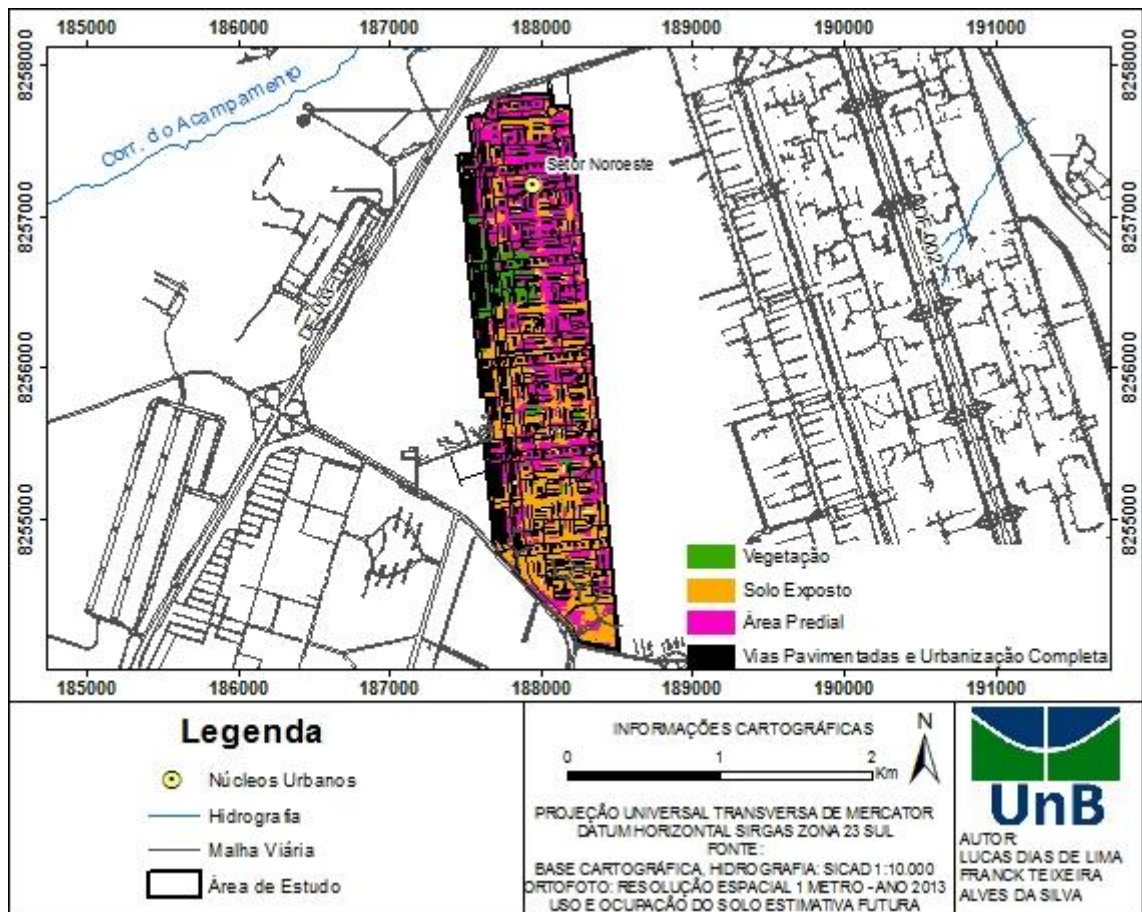


Figura 6.8 Uso e Ocupação do Solo - Setor Noroeste em um cenário futuro estimado.

Das estimativas feitas para um cenário futuro, obteve-se uma área predial de 1,529582 km<sup>2</sup>, o que representa 60% do total. A estimativa da área de solo exposto nesse contexto foi de 0,862795 km<sup>2</sup> e a de vegetação foi de 0,146752 km<sup>2</sup>, o que representa 34% e 6% do total, respectivamente.

#### 6.1.4 - Curva Número

O valor de CN para cada área foi estabelecido a partir do cruzamento de informações sobre o uso e ocupação e grupo hidrológico do solo. Os valores de CN adotados foram baseados nas informações apresentadas na Tabela 3.3 e na Tabela 3.4. Os seguintes valores foram adotados: para a classe de uso referente à área urbana (considerou-se área urbana de média densidade) o valor utilizado foi de 77; para a classe de solo exposto, o valor utilizado foi de 68; para a classe de vegetação, o valor utilizado foi de 46 e para a classe de vias, o valor utilizado foi de 98.

Os valores foram introduzidos na tabela de atributos do *shapefile* referente ao uso e cobertura para cada cenário.

Essa inserção foi realizada para todos os cenários a fim de simplificar o manejo de dados no PCSWMM. A Figura 6.12 exemplifica um mapa temático do CN gerado.

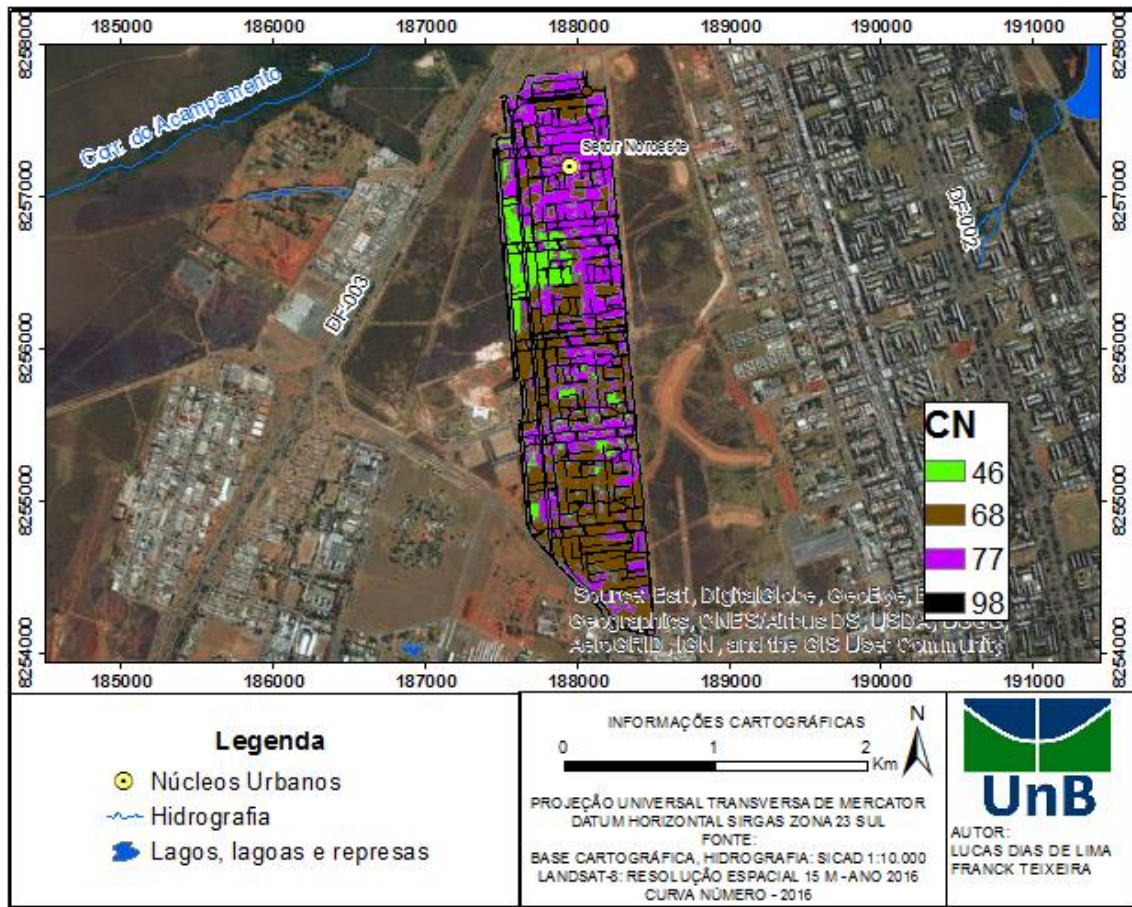


Figura 6.9 Mapa de Curva Número - Setor Noroeste 2016.

Este mapa traz o resultado final da caracterização da área de acordo com o parâmetro Curva Número (CN), para o cenário de 2016. Os valores de CN são variáveis de acordo com o uso e ocupação, além do grupo hidrológico do solo, que para o caso específico do Noroeste recebeu e denominação única de Grupo A, conforme já mencionado anteriormente. Dessa forma, os cenários de 2015, 2013, 1964 e a projeção futura possuem valores de CN diferentes, todos elaborados utilizando-se a mesma metodologia.

## 6.2 - REDE DE DRENAGEM

A rede de drenagem projetada para o Setor Noroeste difere bastante da rede de drenagem implementada observada in loco, principalmente no que se refere aos dispositivos de drenagem sustentável previstos no projeto da Topocart, como ecovalas, drenopets e trincheiras de infiltração.

Os reservatórios prediais, que deveriam ser de instalação obrigatória, não possuem eficiência garantida. Nos diferentes prédios visitados, o volume de água encontrado em cada reservatório diferia de forma significativa. Em um dos blocos, o reservatório encontrava-se com cerca de 10% do volume e bombas desligadas, cenário compatível com a precipitação ocorrida. Porém, em outros prédios visitados os reservatórios estavam cheios e com as bombas acionadas, sendo que em um dos prédios o reservatório apontado por um dos funcionários aparentava ser o de águas servidas do prédio. A distância entre os prédios é inferior a 300 metros.

As capacidades dos reservatórios giram entorno de 8 metros cúbicos, porém foram relatados reservatórios de 5 e 10 metros cúbicos.



Figura 6.10 Reservatório Predial vazio.





Figura 6.11 Reservatório predial cheio.

Os estacionamentos dos blocos residenciais e comerciais, possuem pavimento permeável de bloquetes, porém, devido ao elevado tráfego de veículos de carga na região e à falta de manutenção periódica nos blocos, o pavimento compactou-se de modo a ter sua eficiência essencialmente prejudicada. Como pode ser visto na Figura 6.12, retirada após um evento de precipitação de 15 minutos de duração no dia 10/11/2016 por volta das 17h.



Figura 6.12 Escoamento sobre pavimento permeável no Setor Noroeste.

A água que escorre superficialmente no Setor é coletada por bocas de lobo dispostas de acordo com a topografia do bairro. Essa água é conduzida até o sistema de reservatórios 4

de amortecimento que são ligados em série, ou seja, a bacia de detenção mais próxima da rede de lançamento é responsável por receber as vazões amortecidas das bacias 1, 2 e 3, e através de seus dispositivos de saída, libera as vazões para o posterior lançamento no corpo hídrico receptor, o Lago Paranoá. A Figura 6.13 apresenta o sistema de drenagem da área de estudo e a localização das bacias de detenção citadas.

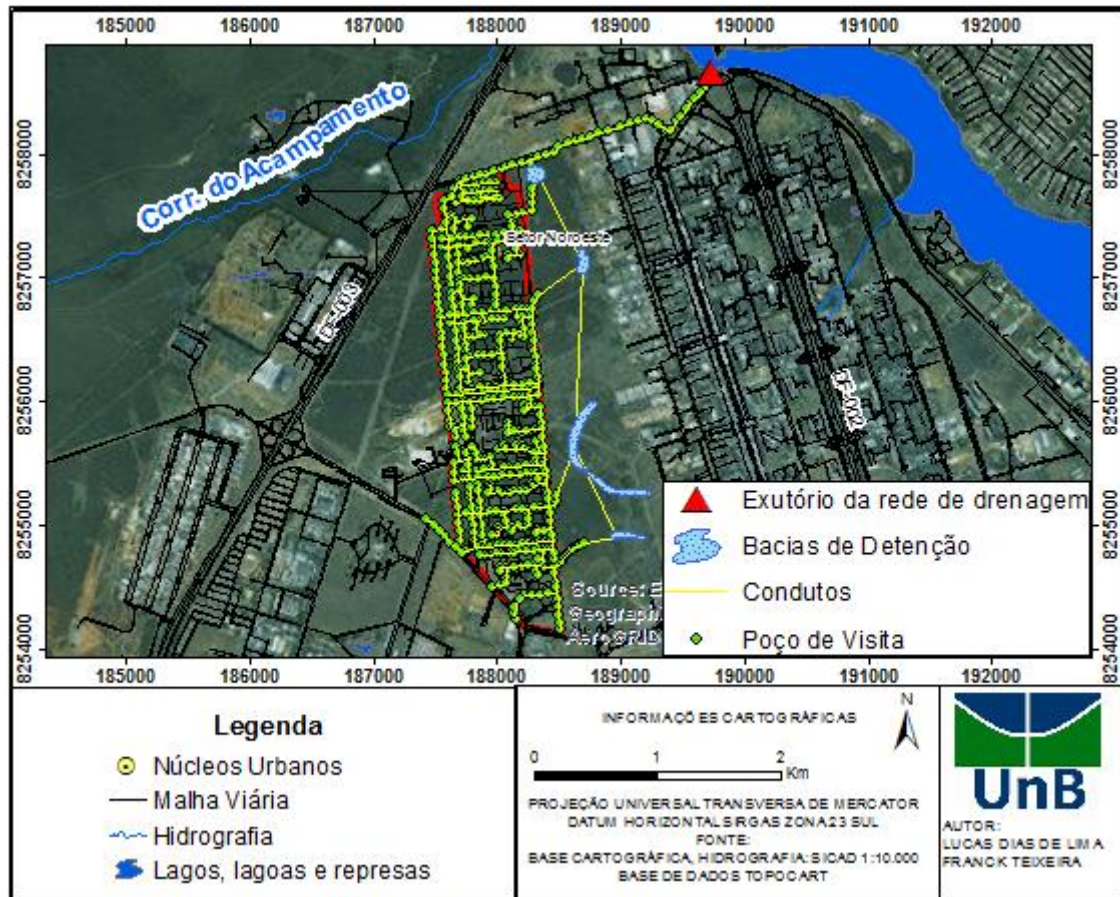


Figura 6.13 Rede de drenagem projetada para o Setor Noroeste.

Essa é a rede implementada para o Setor Noroeste e será elemento fundamental para os cenários simulados.

As bacias de detenção foram dimensionadas, em congruência com o PDDU e a partir da Resolução N° 09 da ADASA (2011), e caracterizadas como reservatórios de qualidade, conforme explicitado na Equação 6.1, na qual  $V_{q1}$  é o volume do reservatório em metros cúbicos,  $A_i$  é o percentual impermeável da área de contribuição e  $A_c$  é a área de contribuição em hectares. Com o volume do reservatório calculado, pode-se calcular a vazão de saída dos reservatórios.

$$V_{ql} = (33,8 + 1,8 * A_i) * A_c$$

Equação 6.1 Cálculo de Volume do Reservatório.

Desta forma, a vazão de saída em litros por segundo é calculada a partir da divisão do volume de reservatório encontrado por 86,4.

### 6.3 - DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS

#### 6.3.1 - Cenários Simulados

O Setor Noroeste, em sua concepção de drenagem, foi subdividido em 5 sub-bacias de contribuição, explicitadas na Figura 6.14, possuindo uma área total de 253,68 hectares, essas 5 áreas de drenagem são direcionadas cada uma para uma das lagoas de amortecimento projetadas, com exceção da Sub-bacia 1 que é direcionada diretamente para a rede de lançamento.

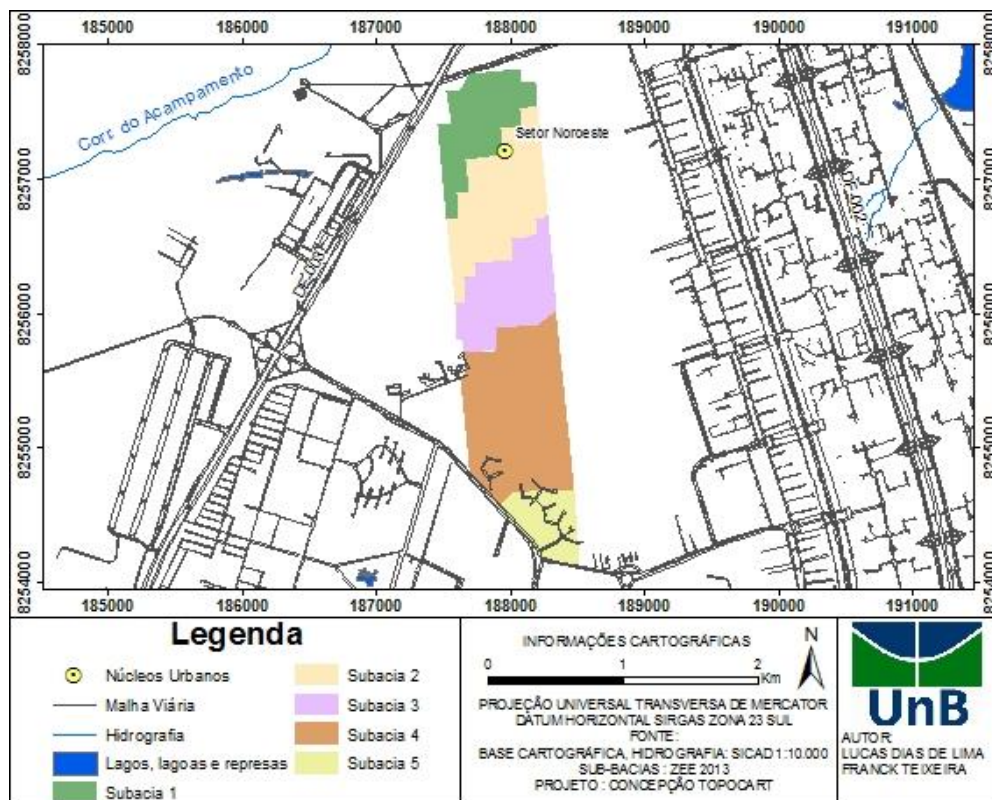


Figura 6.14 Sub-bacias do Setor Noroeste.

A Sub-bacia 1 possui uma área de 40,34 hectares e tem o exutório direcionado para o lançamento no Lago Paranoá, já está com o processo de implantação dos loteamentos residenciais bem avançado, sendo a com o maior grau de ocupação dentre as 5 sub-bacias. Essa é a única do Setor que não tem sua vazão amortecida. A Sub-bacia 2 possui uma área de 58,23 hectares e tem sua drenagem direcionada para uma bacia de detenção com volume

de 41.455,54 m<sup>3</sup>. É a que possui o segundo maior grau de ocupação do bairro até o momento. A Sub-bacia 3 tem área de 44,4 hectares e seu exutório é, também, uma bacia de detenção, essa com o volume de 49.210,94 m<sup>3</sup>, é a área com o maior número de edifícios em implementação, a sua maioria em fase de alvenaria. As Sub-bacias 4 e 5 possuem áreas de 88,6 hectares e 22,1 hectares e têm suas drenagens direcionadas para bacias de detenção de 70.188,56 m<sup>3</sup> e 25.449,16 m<sup>3</sup>, respectivamente, essas duas áreas são as menos ocupadas, possuem muitas projeções abertas, uma grande área de solo exposto e alguns estandes de vendas de construtoras e imobiliárias. A rede de drenagem, que já foi implementada nestas áreas está sujeita ao carreamento de uma grande quantidade de particulados em eventos de chuva, como pode ser visto nas Figuras 6.15 a 6.18.



Figura 6.15 Sedimentos sendo carreados para fora de canteiro de obras no Setor Noroeste.



Figura 6.16 Sedimentos carreados pelas vias do Setor Noroeste.



Figura 6.17 Boca de lobo obstruída no Setor Noroeste.



Figura 6.18 Boca de lobo recebendo sedimentos após evento de chuva no Setor Noroeste. Como pode ser observado nos mapas das Figuras 6.19 e 6.20 e como já explicitado anteriormente, o Bairro do Setor Noroeste é dividido em cinco sub-bacias. Em cada sub-bacia há uma rede de drenagem que é direcionada para uma bacia de detenção, exceto a rede da Sub-bacia 1, que é direcionada diretamente para o exutório final no Lago Paranoá. Dessa forma, as redes não são interligadas, apenas as Bacias de Detenção são interligadas.

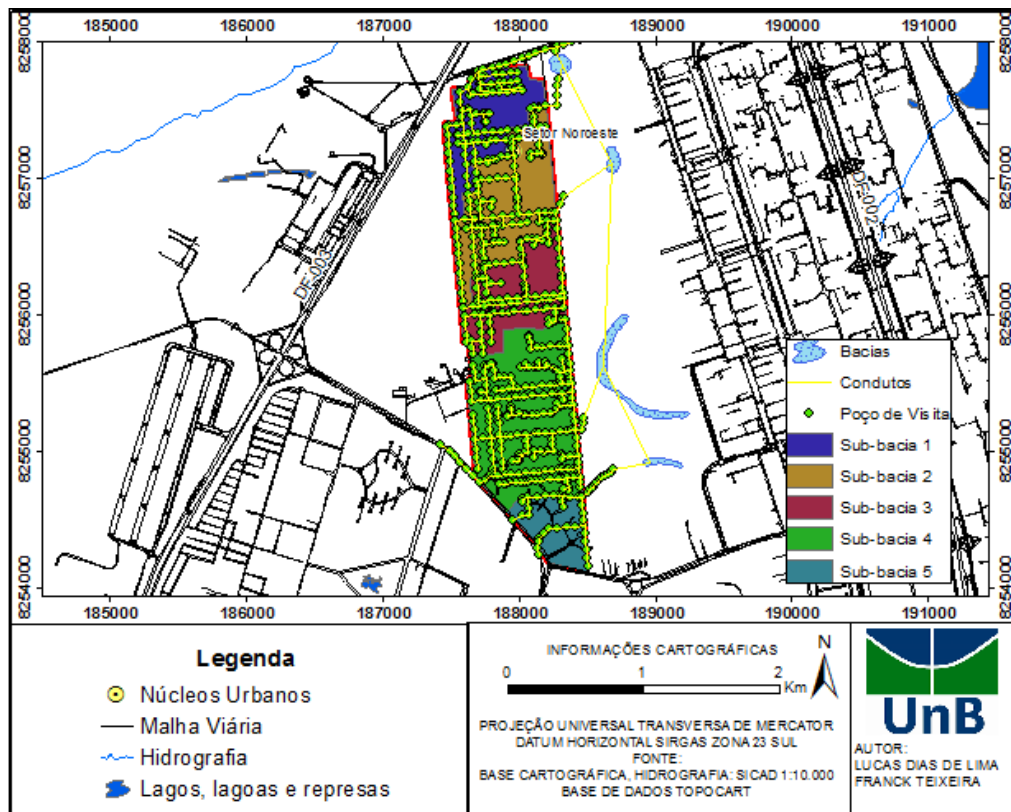


Figura 6.19 Mapa da Rede de Drenagem com as Sub-bacias do Setor Noroeste.

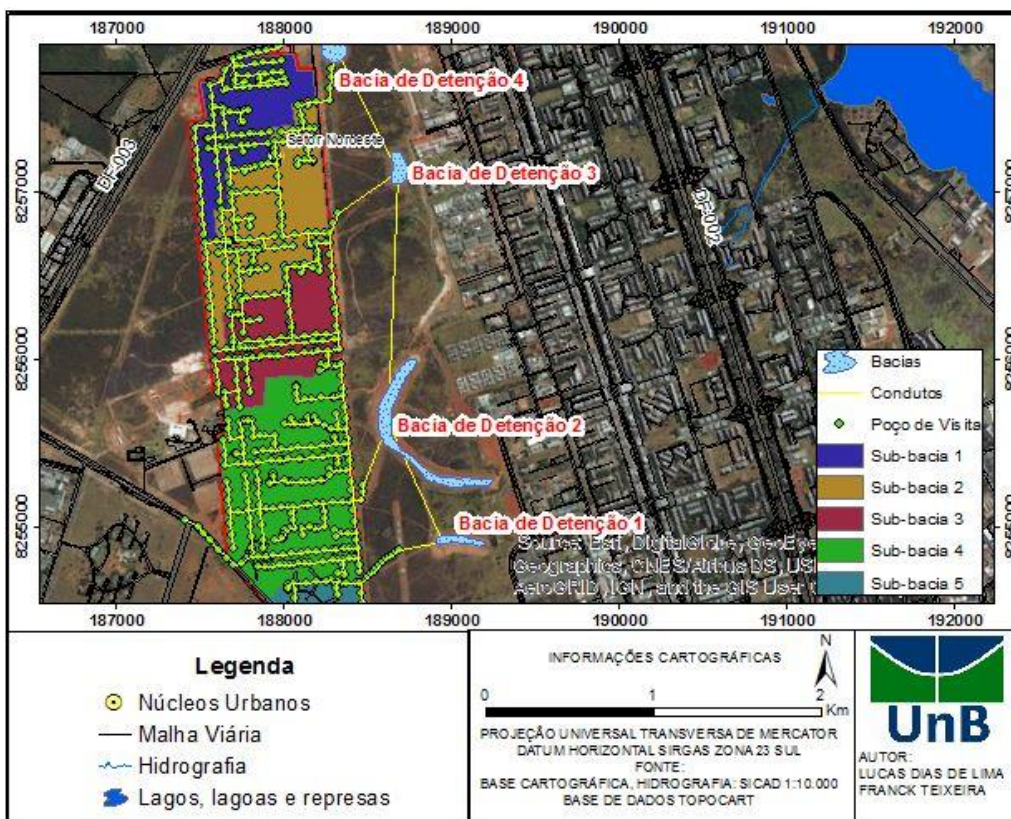


Figura 6.20 Bacias de Detenção do Setor Noroeste, localização e nomenclatura.

A Bacia de Detenção 4 foi projetada para amortecer as vazões coletadas pela rede da Sub-Bacia 2. Essa Bacia de Detenção recebe contribuições (vazões afluentes) vindas da rede da Sub-Bacia 2 e também vindas da Bacia de Detenção 3. A vazão que sai dessa Bacia (vazão defluente) é lançada diretamente na rede final e então segue até o exutório do Setor.

A Bacia de Detenção 3 foi projetada para amortecer as vazões coletadas pela rede da Sub-Bacia 3. Essa Bacia de Detenção recebe contribuições (vazões afluentes) vindas da rede da Sub-Bacia 3 e também vindas da Bacia de Detenção 2. A vazão que sai dessa Bacia (vazão defluente) é lançada na Bacia de Detenção 4.

A Bacia de Detenção 2 foi projetada para amortecer as vazões coletadas pela rede da Sub-Bacia 4. Essa Bacia de detenção recebe contribuições (vazões afluentes) vindas da rede da Sub-Bacia 4 e também vindas da Bacia de Detenção 1. A vazão que sai dessa Bacia (vazão defluente) é lançada na Bacia de Detenção 3.

A Bacia de Detenção 1 foi projetada para amortecer as vazões coletadas pela rede da Sub-Bacia 5. Essa Bacia de Detenção recebe contribuição (vazão afluente) vindas da rede da Sub-Bacia 5. A vazão que sai dessa Bacia (vazão defluente) é lançada na Bacia de Detenção 2.

A Figura 6.21 apresenta uma vista aérea das bacias do Setor Noroeste.

A Tabela 6.2 traz informações físicas mais detalhadas acerca de cada bacia de detenção presente no Setor Noroeste.

Tabela 6.2 Características das Bacias de Detenção instaladas no Setor Noroeste.

<b>Bacia de Detenção</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
1	35.000	0,73	25.449,16
2	98.000	0,85	83.252,28
3	40.000	0,92	36.620,80
4	20.000	1,58	31.575,75





Figura 6.21 Vista aérea das bacias de detenção do Setor Noroeste (Adaptado de Topocart, 2011).

Os cenários construídos para as simulações e comparações, então, foram os seguintes:

- Cenário de Pré-Urbanização.
- Cenário com a Rede implementada no início das grandes obras no Setor em 2013.

- Cenário com a Rede implementada em 2015.
- Cenário com a Rede implementada em 2016.
- Cenário Futuro com a Rede implementada e com uma projeção de todo o projeto urbanístico instalado no Setor.
- Cenário Futuro com Bacia de Detenção para a Sub-bacia 1.
- Cenário Futuro com dispositivos de drenagem sustentável de projeto.

Desta forma, busca-se avaliar:

- Os impactos da urbanização do Noroeste no escoamento superficial num cenário pré-urbanizado e em processo de urbanização.
- A variação da vazão de lançamento no Lago Paranoá ao longo da ocupação e da mudança dos parâmetros de uso do solo desde a instalação da rede em 2013 até o ano de 2016 e comparar com uma projeção do Setor totalmente urbanizado no futuro.
- Testar o impacto na vazão de lançamento a partir da instalação de uma lagoa de amortecimento para a vazão coletada na Sub-bacia 1.
- Testar o impacto da implementação das medidas de drenagem sustentável que foram projetadas porém não foram totalmente instaladas.

O cenário de pré-urbanização foi definido com exutórios criados a partir de uma ferramenta de direcionamento de fluxo do PCSWMM a partir do MDE gerado para a área de estudo em questão. Para a construção desse cenário, a tabela de atributos das sub-bacias foi cruzada com a do Mapa de Uso do Solo de 1964 gerado e a do polígono de declividade gerado, desta forma, com a ferramenta *Area Weighting* do programa, a declividade e o CN de cada sub-bacia foram atribuídos por interpolação ponderada. O cenário pode ser visto na Figura 6.22.

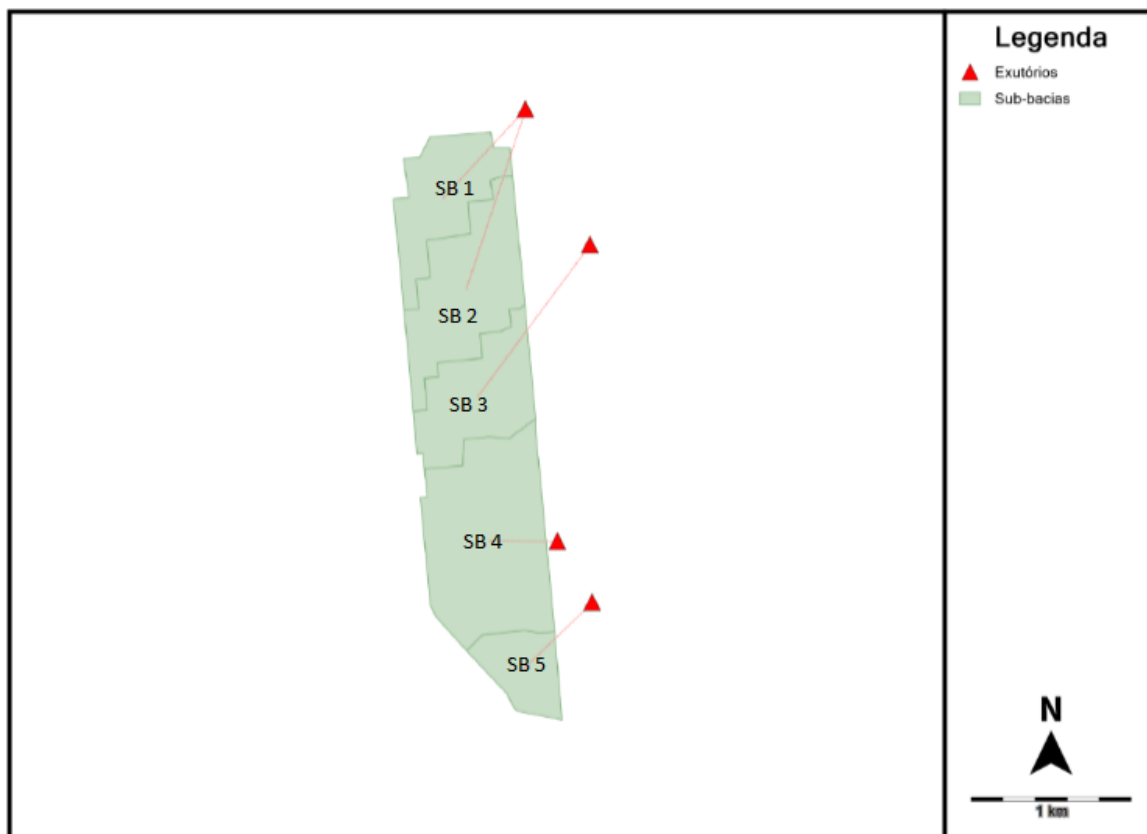


Figura 6.22 Cenário de Pré-Urbanização.

Os valores médios de declividade obtidos para as Sub-bacias de 1 a 5, respectivamente, foram: 3,915%; 5,093%; 5,581%; 4,272%; 4,567%. Já os valores médios de CN obtidos para cada uma das Sub-bacias, respectivamente, foram: 46,992; 46,439; 46,856; 46,616; 46,016.

Os cenários com a Rede implementada para 2013, 2015, 2016 e o cenário de projeção futura com o urbanismo previsto totalmente instalado estão dispostos na Figura 6.23. Os cenários são visualmente semelhantes, porém os valores de CN para cada um deles varia de acordo com a diferenciação do uso do solo em cada situação.



Figura 6.23 Cenário com a Rede implementada.

Os condutos, poços de visita e reservatórios adicionados foram manuseados e tratados com o auxílio dos softwares AutoCAD 2017 e ArcGis 10.1 para que pudessem atender às exigências de formato requeridas pelo PCSWMM. As cotas, inclinações e diâmetros foram todos adicionados de acordo com os valores apresentados no projeto.

Para a correção de alguns eventuais erros de indicação de valores no documento que foi fornecido pela Novacap, utilizou-se a ferramenta *Select By Slope* do PCSWMM sendo os erros corrigidos por interpolação e, se ainda necessário, análise criteriosa do perfil altimétrico da rede. Não foram alterados quaisquer valores concedidos que não apresentassem erros notórios que impediriam o processamento da simulação mesmo para casos de valores possivelmente equivocados.

Para o cenário com a Bacia de Detenção para amortecer a vazão de lançamento da Sub-bacia 1, foi utilizada a Equação 6.1 a partir de uma estimativa de área de contribuição para essa lagoa. Devido a características espaciais da área escolhida, de relevo e da disposição de área não implantada no local atualmente, para a construção dessa bacia, foi determinada uma área fixa de 10000 m<sup>2</sup> e, desta forma, calculado um volume de 4182 m<sup>3</sup>.

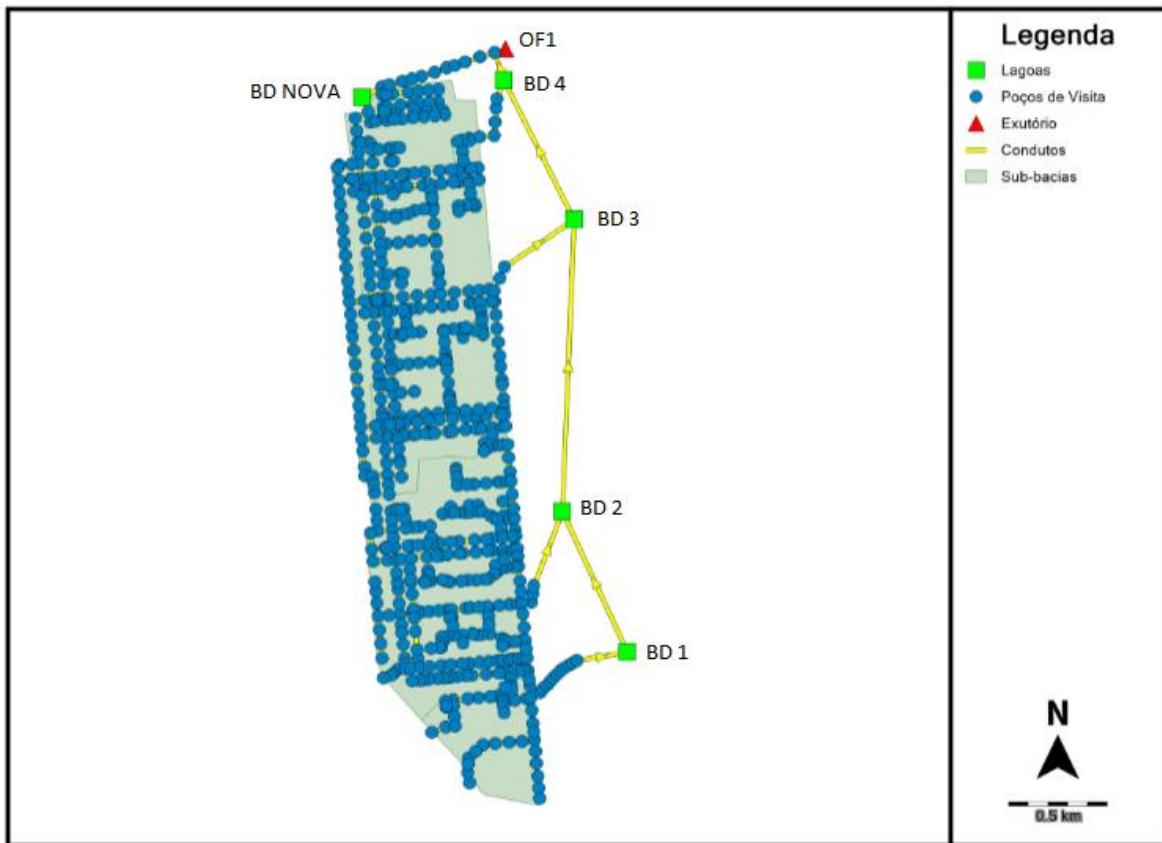


Figura 6.24 Cenário Futuro com Bacia de detenção adicional.

Para a definição desta área de implementação da bacia, usou-se como referência o ponto em que a vazão coletada na Sub-bacia 1 é lançada a rede coletora indicada em projeto. A declividade da área escolhida é bastante favorável para a implantação da bacia, tendo em vista, porém, que o terreno teve de ser rebaixado para garantir a uniformidade dos trechos de condutos e o funcionamento ótimo da rede de drenagem do Setor Noroeste.

Para atestar a eficiência de alguns dispositivos de drenagem sustentável propostos para o Setor Noroeste no projeto da Topocart, foi elaborado, também, um cenário reduzido em que apenas a Sub-bacia 1 foi analisada. Foram atribuídos reservatórios de 8 m<sup>3</sup> responsáveis por receber a vazão de blocos residenciais e comerciais. Aos estacionamentos, foi adicionado pavimento permeável seguindo os padrões de projeto para melhorar a permeabilidade das áreas de contribuição.

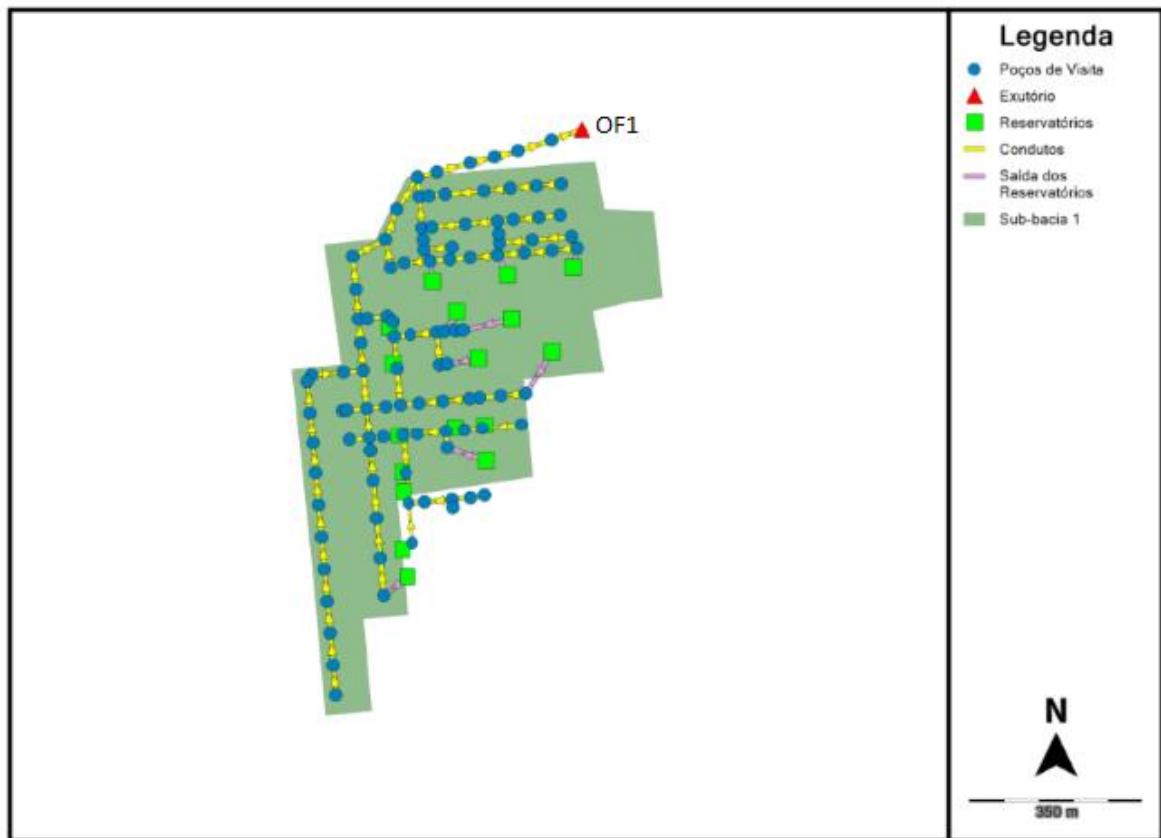


Figura 6.25 Cenário com dispositivos de drenagem sustentável na Sub-bacia 1.

A Figura 6.26 explicita as áreas de contribuição que tiveram sua permeabilidade alteradas, em azul estão destacadas as áreas na qual foi aplicado o pavimento permeável.

O pico da precipitação calculada foi de 18,2 mm que ocorre na metade do intervalo de 24 horas. Esse hietograma foi inserido no PCSWMM e a precipitação foi adicionada por meio da ferramenta *Create Rain Gages*, essa chuva foi então atribuída a cada cenário e simulada por um período de observação de 48h para que os efeitos pós-precipitação pudessem ser melhor observados.

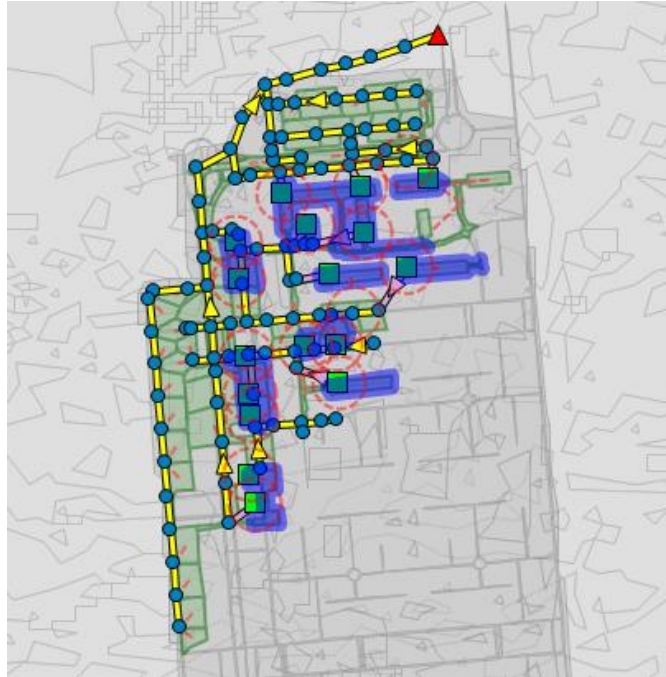


Figura 6.26 Áreas de contribuição com parâmetros de permeabilidade alterados.

### 6.3.2 - Chuva de Projeto

A chuva de projeto calculada e simulada no PCSWMM foi a prevista no Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) do Distrito Federal. O PDDU recomenda que o método de cálculo dessa chuva deva ser feito utilizando a metodologia dos Blocos Alternados em intervalos de tempo de 5 minutos.

Os métodos mais usais para o cálculo da chuva de projeto são o Método de Chicago e o Método dos Blocos Alternados, para o cálculo dessa precipitação crítica na área de estudo em questão, foi utilizado o segundo em congruência com as recomendações governamentais.

A equação utilizada para o cálculo da chuva foi a Equação 4.1. O tempo de retorno adotado foi de 10 anos. A duração da chuva adotada, seguindo as recomendações do documento do PDDU, foi de 24 horas (1440 minutos), a precipitação em questão foi simulada por 48 horas para que fosse possível observar os efeitos dessa chuva após a ocorrência de seu pico. O cálculo da precipitação crítica foi realizado com o auxílio do software de planilhas eletrônicas Excel. Para fins de simulação, foi estabelecido que a chuva de projeto se iniciaria no dia 05 de novembro de 2016 às 17 horas e 20 minutos e se encerraria exatamente 24 horas depois.

O hietograma gerado a partir da Equação 6.1 está explícito na Figura 6.27.

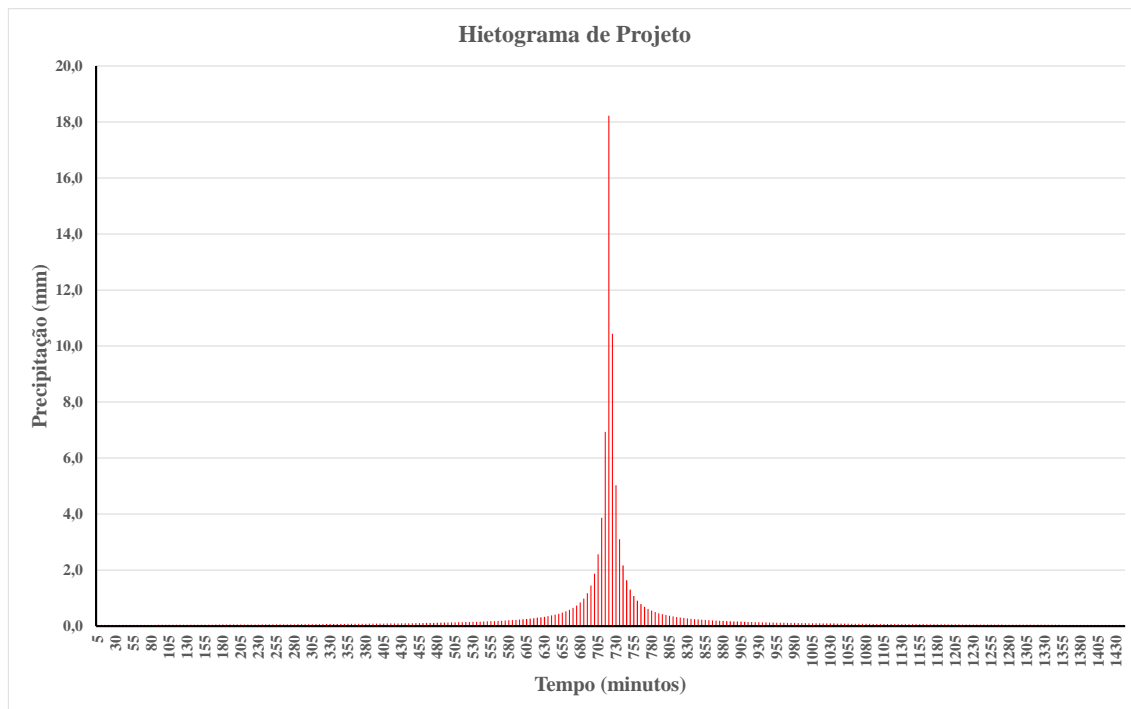


Figura 6.27 Hietograma de Projeto, Tempo de Retorno de 10 anos.

#### 6.4 - SIMULAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Após a definição dos cenários e ajustes dos dados, procedeu-se para a simulação que acarretou em diferentes resultados. A seguir, serão apresentados e discutidos alguns resultados das simulações.

Deve-se ressaltar que, devido à ausência de dados, não foi possível realizar a calibração do modelo. No entanto, a simulação desenvolvida nos permite visualizar o comportamento e os efeitos de ações e propostas de projetos de drenagem no escoamento superficial uma vez que o modelo tem sido aplicado e avaliado vastamente na literatura.

Para que a simulação possa ser executada no PCSWMM, faz-se necessário, primeiramente, importar todos os dados processados com o auxílio dos softwares ArcGis e AutoCAD. A interface do programa é de fácil utilização e permite que a entrada das informações necessárias seja feita de forma prática. O PCSWMM atualiza a tabela de atributos de cada componente importado e permite que o usuário associe a tabela de atributos dos dados processados à tabela que é lida pelo programa. Isso pode ser visualizado na Figura 6.28.



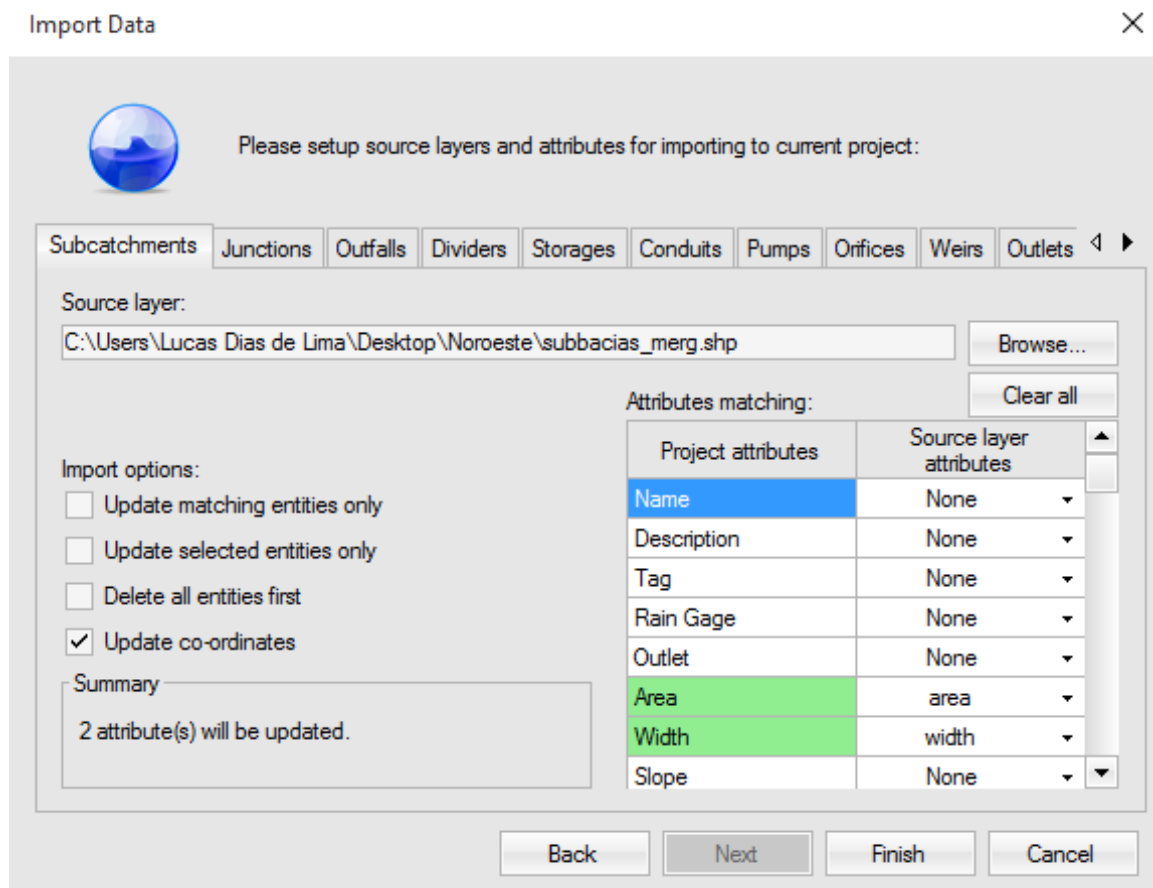


Figura 6.28 Janela de importação de dados GIS e CAD do PCSWMM.

Observa-se, na Figura 6.28, as diversas abas de importação referentes a cada uma das informações possíveis de se adicionar no software como: sub-bacias, poços de visita, exutórios, reservatórios, condutos, entre outros. Na sessão Attributes Matching, vê-se a associação dos campos de tabela de atributos do PCSWMM e dos campos de tabela de atributos dos dados processados adicionados.

É muito importante que todos os *shapefiles* adicionados estejam georreferenciados e sob a mesma projeção, desta forma, garante-se a uniformidade das informações que serão sobrepostas pela simulação, como a declividade e a Curva Número, por exemplo.

Os *shapefiles* de declividade e de CN são adicionados como camadas no PCSWMM por meio da opção Open dentro do projeto. A seguir, deve ser feita a combinação dos dados de declividade e de CN calculados com as sub-bacias adicionadas no programa de modo que, por meio da ferramenta Area Weighting do software faz de forma automática não somente o preenchimento da tabela de atributos das sub-bacias, mas também a interpolação ponderada desses dados com as áreas de influência. A Figura 6.29 mostra a janela de

ferramentas do PCSWMM, dentre as diversas opções para todos os componentes que podem ser simulados, destaca-se, na imagem, a ferramenta que faz o cálculo dos atributos.

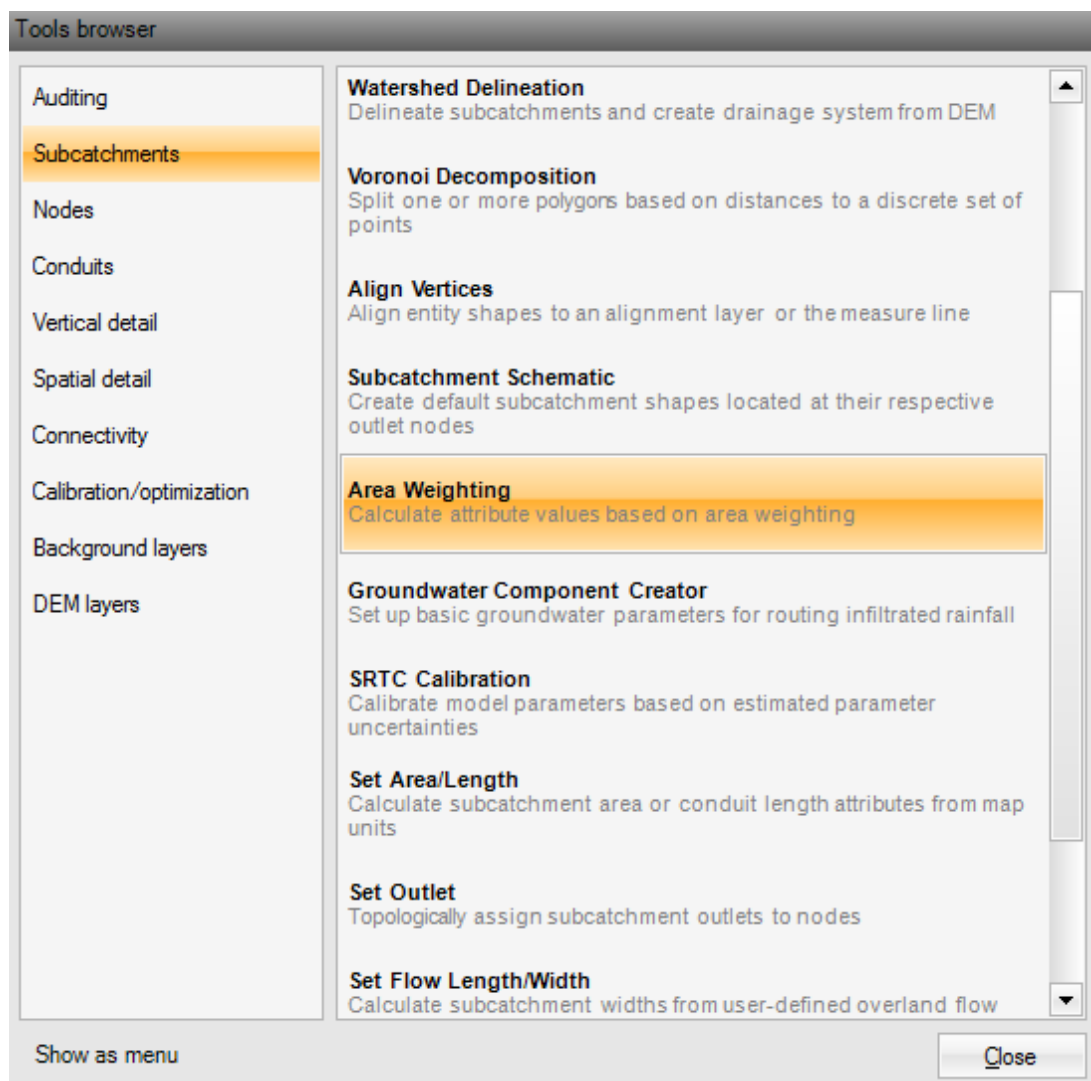


Figura 6.29 Janela de ferramentas do PCSWMM com destaque para a opção de cálculo de atributos.

Os parâmetros referentes aos poços de visita, às lagoas e aos condutos como altura do fundo e do topo, diâmetro, inclinação, rugosidade foram adicionados manualmente de acordo com o projeto da Topocart. A Figura 6.30 mostra algumas dessas informações.

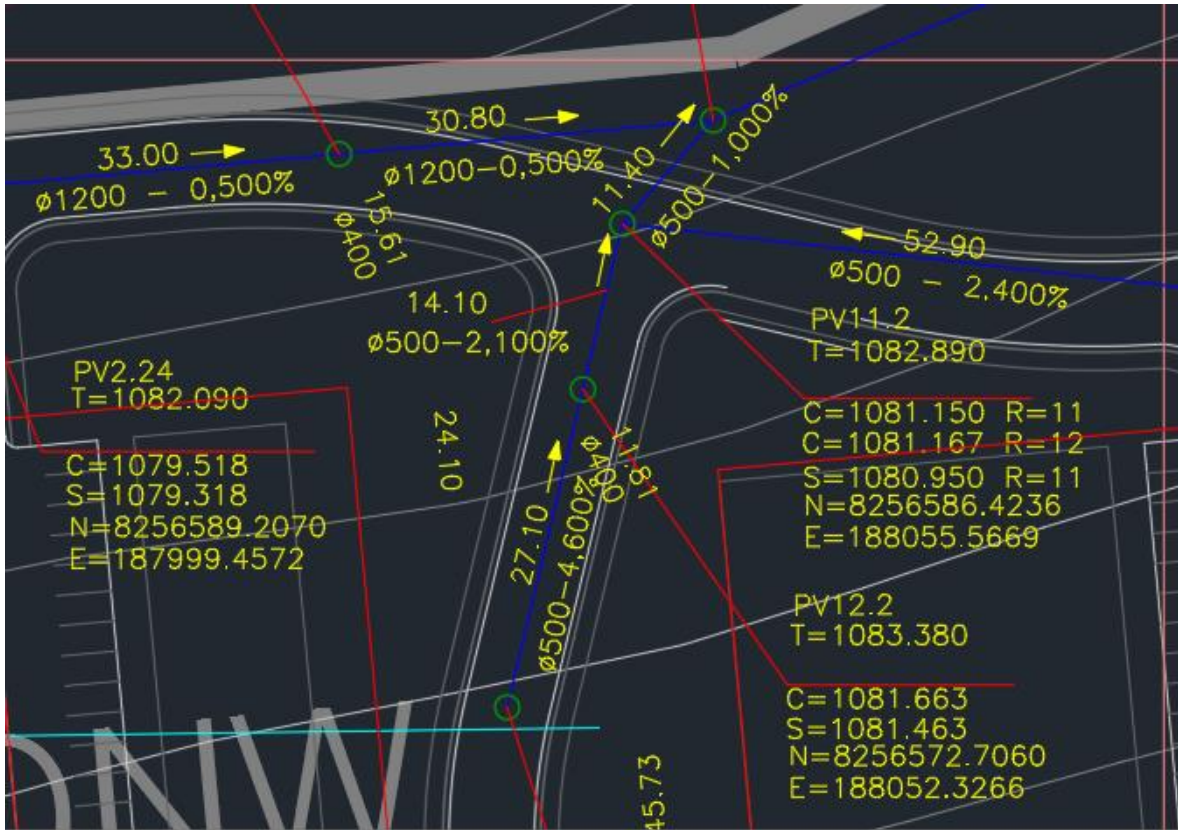


Figura 6.30 Informações do Projeto de Drenagem do Setor Noroeste.

Com todos os parâmetros da rede e das sub-bacias adicionados e ponderados, segue-se para a entrada dos dados de precipitação. Por meio da opção *Rain Gages* é possível adicionar as informações de chuva calculadas e modificar alguns parâmetros, como mostra a Figura 6.31.

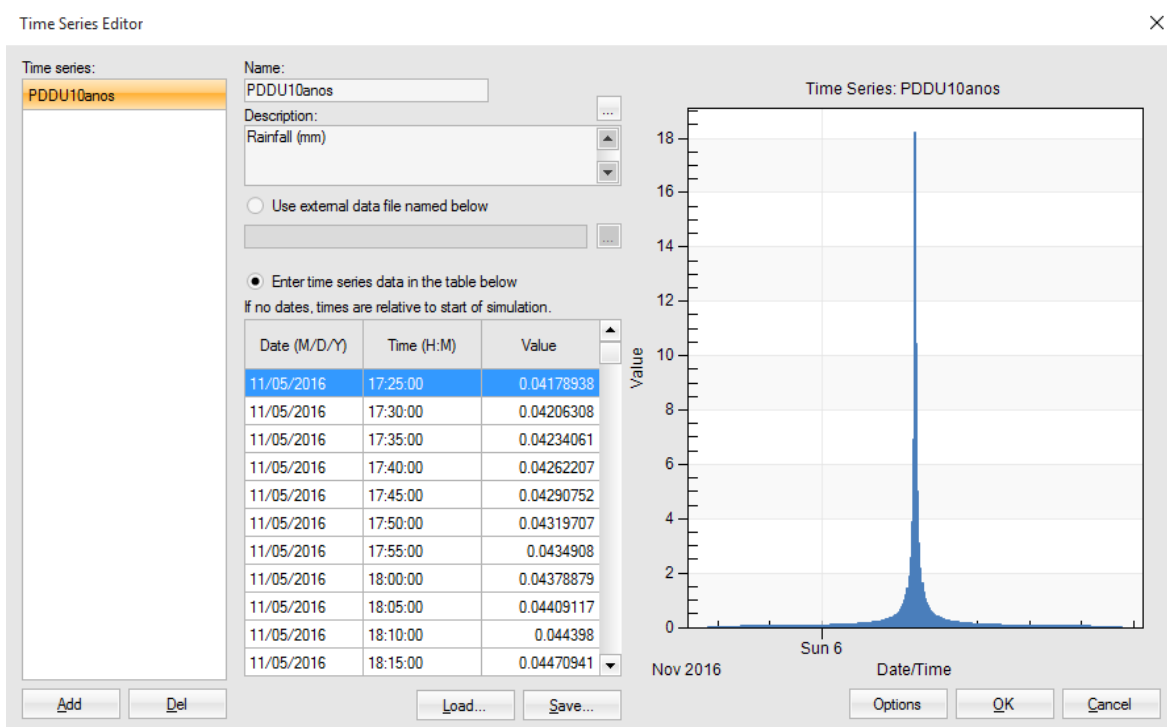


Figura 6.31 Editor dos parâmetros da chuva de projeto.

A chuva de projeto foi adicionada em intervalos de 5 minutos, após o carregamento das informações, faz-se a atribuição da chuva para cada sub-bacia. É importante ressaltar que essa atribuição pode ser feita manualmente para o caso de a simulação englobar mais de uma chuva de projeto simultaneamente dentro da área de interesse. Para o caso da simulação realizada para esse estudo, o programa atribuiu a precipitação para cada sub-bacia automaticamente.

Desta forma, o último fator relevante para a simulação é a compatibilização da data e hora da chuva calculada e da data e hora da simulação, essas devem ser iguais, uma vez que o programa não reconhecerá qualquer volume precipitado que não esteja englobado no período fixado da simulação. Além disso, para que o PCSWMM reconheça os parâmetros de CN adicionados, deve-se apontar a Curva Número como modelo de infiltração na janela *Simulation Options*.

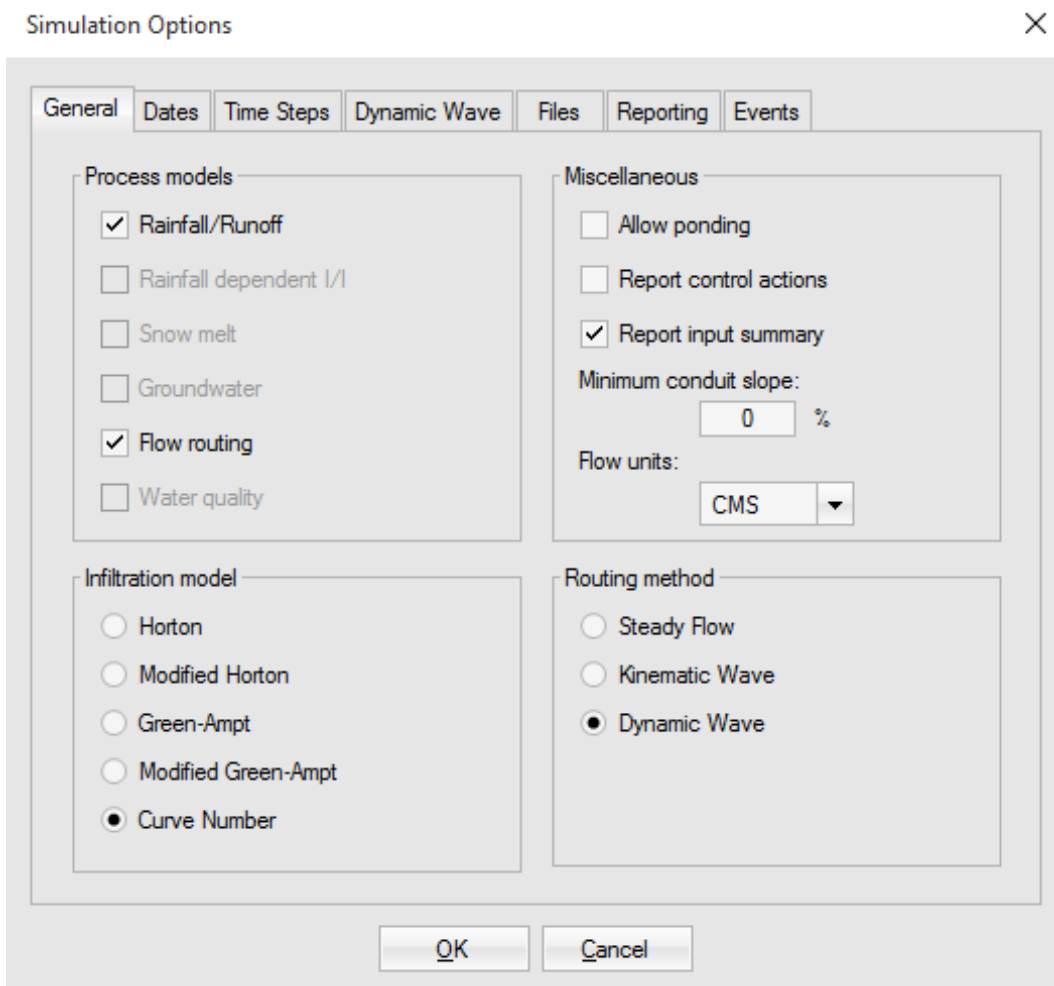


Figura 6.32 As opções de simulação do PCSWMM que permitem fixar o modelo de infiltração e a data da simulação, além de outros fatores.

Deste modo, é possível se iniciar a simulação dos cenários. O PCSWMM facilita a criação de cenários alternativos que modifiquem características pontuais de cada projeto por meio da opção de planejamento, deste modo, a simulação pode ser feita simultaneamente para vários cenários ao mesmo tempo desde que esses sejam indicados no momento de rodar o modelo.

#### 6.4.1 - Cenário de comparação da vazão de pico no período de pré-urbanização e ao longo do processo de ocupação até a atualidade

A primeira análise feita foi uma comparação entre os cenários de 2013, 2015 e setembro de 2016 com o cenário de 1964 (pré-urbanização). Desta forma foi possível ver a evolução do aumento da vazão de pico e comparar os valores atribuídos à presença da rede de drenagem com os valores referentes à área de estudo não ocupada. Os resultados observados encontram-se na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 Evolução da vazão ao longo da ocupação em comparação ao cenário pré-urbanizado.

Evolução da Vazão de Pico cenário 1964, 2013, 2015 e 2016		
Cenário	Vazão de Pico (m <sup>3</sup> /s)	Variação
1964	2,09	-
2013	3,285	57%
2015	4,347	108%
2016	5,028	141%

A comparação foi feita utilizando como base o cenário de 1964. O cenário de 2013, no começo da urbanização do Setor Noroeste, já apresenta um significativo aumento de 57% da vazão de pico, em relação ao cenário de pré-urbanização. Para os cenários de 2015 e setembro de 2016, o aumento da vazão de pico foi de 108% e 141%, respectivamente. Os resultados são coerentes, pois o processo de urbanização do setor ainda não está concluído e com o avanço do tempo, surgem novos empreendimentos, que acarretam na impermeabilização do solo e, assim, no aumento da vazão de pico.

A Figura 6.33 explicita, também, a forma como a vazão de pico aumenta ao longo da ocupação do Setor.

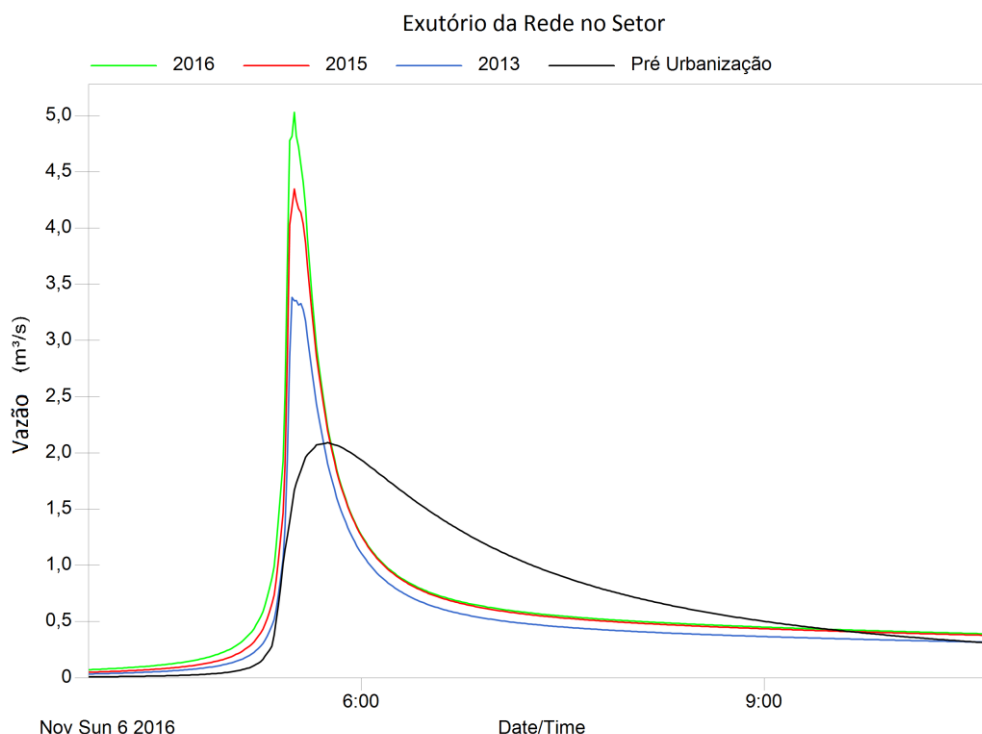


Figura 6.33 Gráfico comparativo de vazões no Exutório da Rede de Drenagem.

O ano de 2013 representa o início das implantações, neste ano foi concluída a obra de infraestrutura do sistema de drenagem do Noroeste. Entre os anos de 2015 e 2016 o aumento da vazão de pico não foi tão abrupto devido à recessão no mercado da construção civil, o que acarretou na diminuição de celeridade de conclusão de algumas obras. Nota-se a perda de amortecimento natural intrínseco ao cenário de pré-urbanização após a instalação da rede de drenagem. O gráfico disposto na Figura 6.33 é bastante relevante no sentido de ser possível acompanhar o aumento da vazão à medida que a ocupação dos novos loteamentos do Setor Noroeste se torna cada vez mais densa, que incorre na modificação dos parâmetros de uso do solo.

É interessante ressaltar que a vazão de pico do ano de 2016 calculada foi de 19,82 l/(s.ha) considerando a área da poligonal de estudo de 253,68 hectares. Esse valor está abaixo do limite estabelecido pela Resolução N° 9 da ADASA (2011) de 24,4 l/(s.ha), porém, a relevância dessa afirmação está condicionada à calibragem do modelo, que não pôde ser realizada.

#### **6.4.2 - Cenário de comparação da vazão de pico de pré-urbanização, do período atual e de uma estimativa futura da ocupação**

Dessa forma, outro cenário de comparação proposto para a análise do avanço no processo de urbanização foi entre o ano de 2016 e uma projeção futura estimada para a urbanização completa do Setor.

Tabela 6.4 Variação da vazão entre o período de pré-urbanização, o ano de 2016 e uma estimativa de ocupação futura.

<b>Ocupação atual em 2016, cenário pré-urbanização e previsão para um cenário futuro com a urbanização</b>		
<b>Cenário</b>	<b>Vazão de Pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Variação</b>
Pré	2,09	-
2016	5,028	141%
Futuro	7,179	243%

A Tabela 6.4 demonstra o aumento de 141% da vazão de pico do cenário representativo do ano de 2016 em relação ao do ano de 1964. Observa-se, também, um aumento de 243% quando comparada a estimativa futura com o cenário de pré-urbanização. Com a conclusão do processo de urbanização, diminuição das zonas permeáveis e aumento na contribuição à rede, a vazão de pico teve um aumento de 43% em relação à simulada para o cenário atual de ocupação. A Figura 6.34 demonstra graficamente esse aumento.

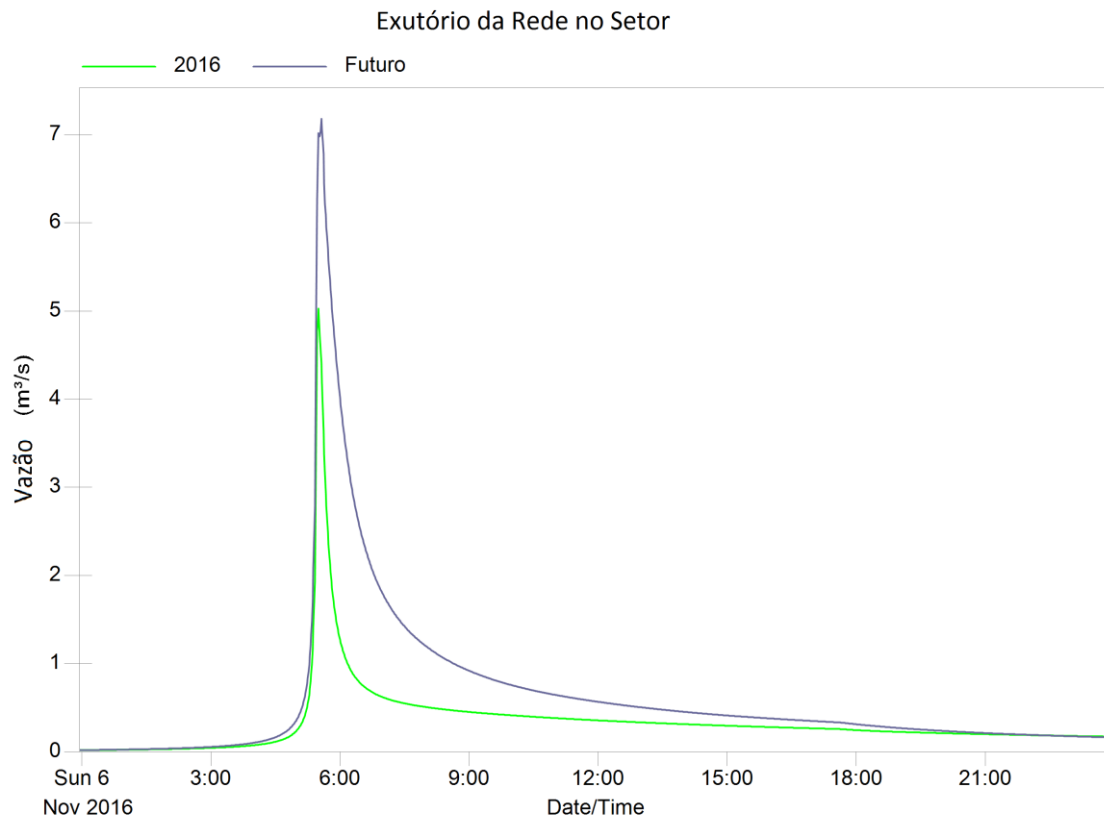


Figura 6.34 Gráfico comparativo da vazão em 2016 e do cenário futuro estimado.

Pode-se observar o aumento considerável da vazão de pico na situação estimada em que todo o projeto urbanístico previsto foi devidamente instalado e mantendo os parâmetros de operacionalidade dos dispositivos de infraestrutura do ano de 2016. Apesar de possíveis desvios de precisão na previsão de uso e ocupação simulada para o cenário futuro, é clara a influência do contínuo processo de urbanização do Setor Noroeste.

#### 6.4.3 - Cenário com a implementação de dispositivos LID para a Sub-bacia 1 sem a contribuição das demais sub-bacias

As medidas alternativas de drenagem implementadas no setor - especificamente as de controle na fonte - como citado anteriormente, não possuem garantia de uma operação eficiente, devido principalmente ao não seguimento das diretrizes construtivas estabelecidas no Termo de Referência da implantação, à falta de manutenção e ao acúmulo de sedimentos gerados pela má gestão dos canteiros de obra.

Assim, foi estipulado um cenário no qual essas medidas de *Low Impact Development* (LID) foram introduzidas para suavizar os impactos na drenagem. As medidas adotadas foram os reservatórios prediais com controle de saída e pavimentos permeáveis nos estacionamentos dos edifícios. Essas medidas foram estipuladas apenas para a Sub-bacia 1, com o intuito de



reduzir os erros atrelados e facilitar a simulação. Vale ressaltar que foram contabilizados reservatórios apenas para os blocos residenciais já finalizados e os parâmetros de uso do solo adotados para esse cenário foram referentes ao ano de 2016. Os parâmetros para pavimentos permeáveis foram estimados com base no projeto urbanístico disponibilizado, devido a dificuldade de obtenção de parâmetros construtivos dos pavimentos, utilizou-se a estimativa de eficiência de infiltração de até 60% de redução do escoamento nas áreas que receberam esses pavimentos. Para uma aproximação desse valor de redução foi feita uma edição no parâmetro Imperv. (%) no PCSWMM para um valor de 20% em complemento ao CN de áreas de média ocupação. Este parâmetro representa a permeabilidade inerente, essa sobreposição de valores de Imperv. (%) e do CN foi sugerida no fórum Open SWMM.

Os resultados dessa análise encontram-se na Tabela 6.5 e a Figura 6.35 demonstra graficamente os efeitos das medidas implementadas.

Tabela 6.5 Saída da Sub-bacia 1 com e sem equipamentos de drenagem sustentável com base no cenário de 2016.

<b>Saída da sub-bacia 1 - Com LID e Sem LID</b>		
<b>Cenário</b>	<b>Vazão de Pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Variação</b>
Sem LID	4,536	-
Com LID	3,755	-27%

O cenário com a presença das medidas alternativas apresentou uma redução de 27% da vazão de pico na Sub-bacia 1. A redução é coerente com a utilização desses dispositivos na proporção simulada. Os volumes dos reservatórios foram estimados em 8 m<sup>3</sup>, de acordo com o observado pelos autores nas visitas realizadas ao local.

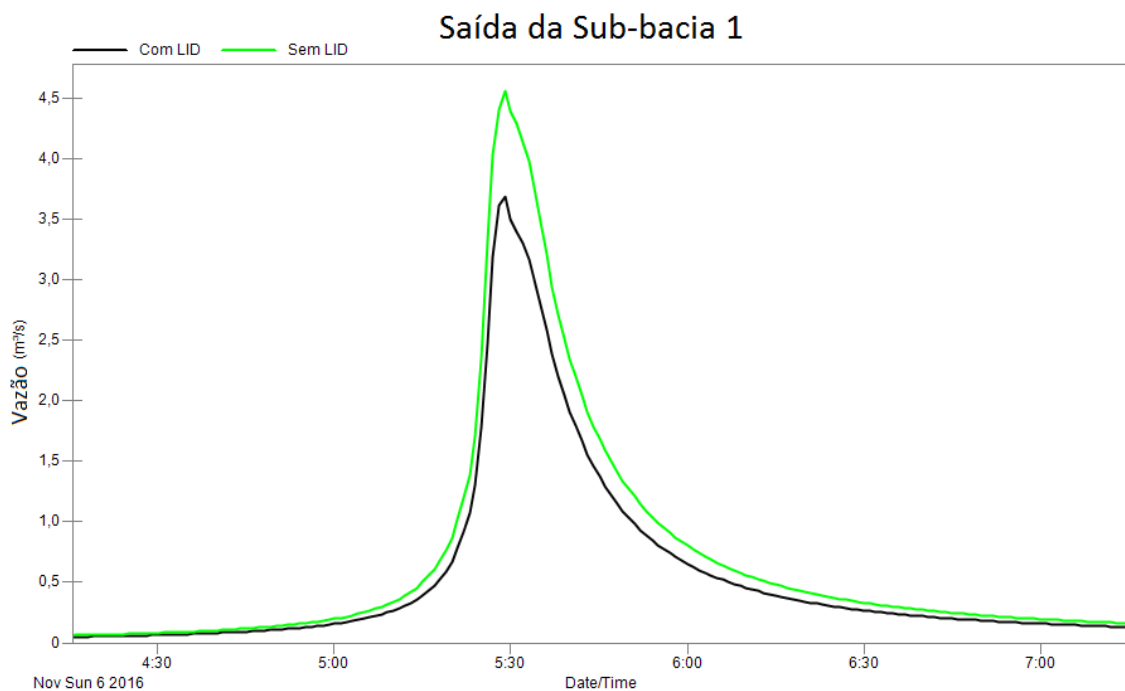


Figura 6.35 Comparação da saída da Sub-bacia 1 com e sem os dispositivos de LID. A redução no pico é notável para a aplicação de dispositivos de drenagem sustentável na Sub-bacia 1 para as áreas já implantadas, o que explicita os benefícios do projeto aprovado em relação à suavização do lançamento.

Vale ressaltar que para esse cenário foi utilizada apenas a Sub-bacia 1 e desta forma o exutório da Rede corresponde apenas à saída da Sub-bacia 1.

#### **6.4.4 - Contribuição da Sub-bacia 1 para a vazão total no exutório da Rede de Drenagem**

A Sub-bacia 1 é a única que não apresenta nenhum dispositivo de controle a jusante, sendo lançada diretamente à rede coletora, uma vez que as demais Sub-bacias conduzem suas vazões às lagoas de amortecimento em série para depois serem lançadas em direção ao corpo hídrico receptor.

Os exutórios das sub-bacias 2, 3, 4 e 5 são amortecidos pelas bacias de retenção, não sendo lançados para outras sub-bacias.

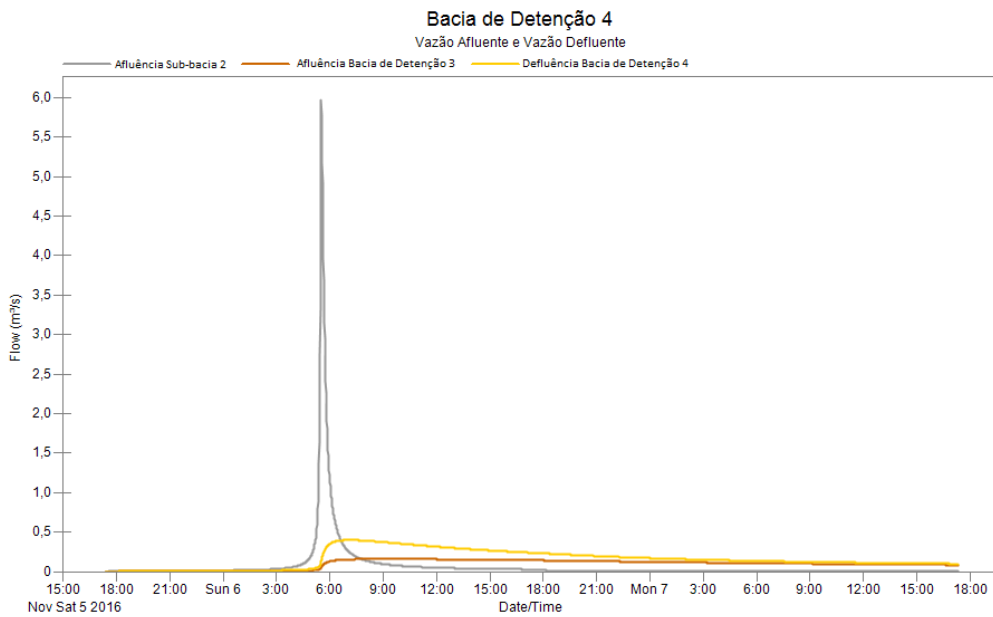


Figura 6.36 Vazões de Afluência e Defluência na Bacia de Detenção 4.

Os dados apresentados na Figura 6.36, demonstram graficamente a capacidade da Bacia de Detenção 4 de amortecer as vazões produzidas na Sub-bacia 2 e também de amenizar ainda mais as vazões já amortecidas pela Bacia de Detenção número 3.

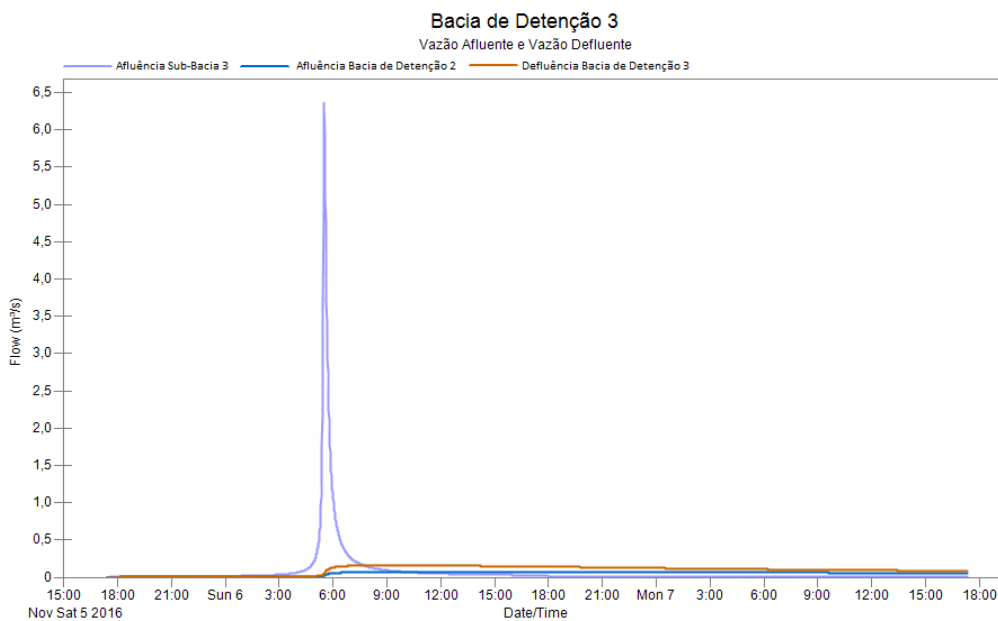


Figura 6.37 Vazões de Afluência e Defluência na Bacia de Detenção 3.

Os dados apresentados na Figura 6.37, mostram a capacidade da Bacia de Detenção 3 de amortecer as vazões produzidas na Sub-bacia 3 e também de amenizar ainda mais as vazões já amortecidas pela Bacia de Detenção número 2.

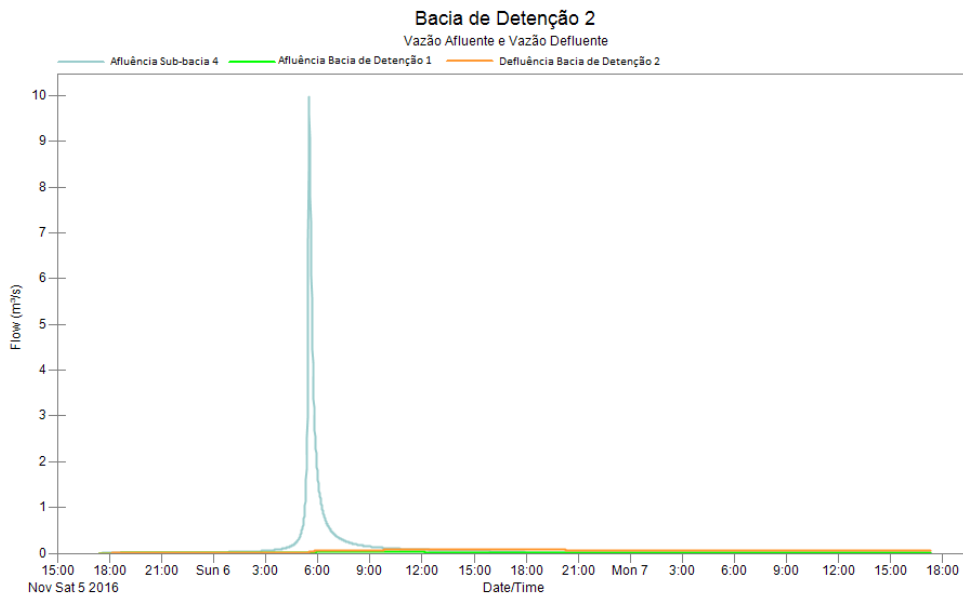


Figura 6.38 Vazões de Afluência e Defluência na Bacia de Detenção 2.

Os dados apresentados na Figura 6.38, mostram a capacidade da Bacia de Detenção 2 de amortecer as vazões produzidas na Sub-bacia 4 e também de amenizar ainda mais as vazões já amortecidas pela Bacia de Detenção número 1.

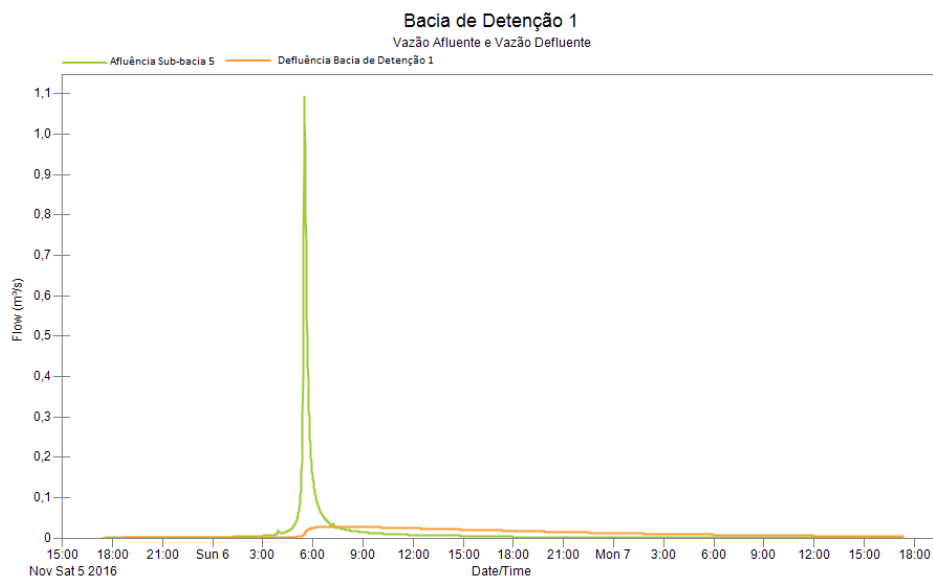


Figura 6.39 Vazões de Afluência e Defluência na Bacia de Detenção 1.

Os dados apresentados na Figura 6.39, demonstram graficamente a capacidade da Bacia de Detenção 1 de amortecer as vazões produzidas na Sub-bacia 5.

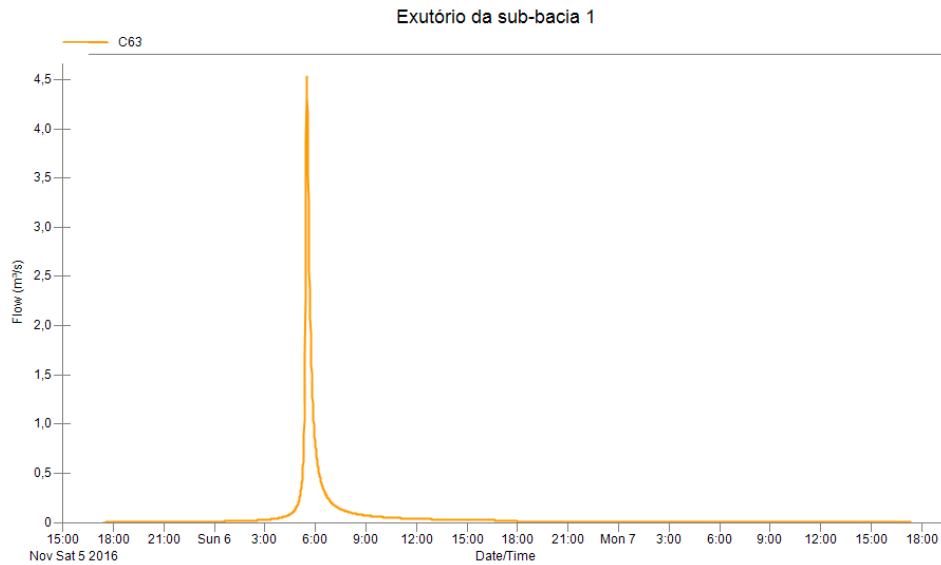


Figura 6.40 Exutório da Sub-bacia 1 imediatamente antes da junção com a saída da Bacia de Detenção 4.

Na figura 6.40, estão representados graficamente os dados de vazão da Sub-bacia 1. As vazões produzidas nessa Sub-bacia não são amortecidas por nenhuma Bacia de Detenção.

A vazão representada na Figura 6.41 é correspondente ao exutório da rede para todo o Setor, recebendo contribuições de todas as sub-bacias. Da Sub-bacia 1 diretamente e das demais sub-bacias de forma amortecida por suas respectivas bacias de detenção.

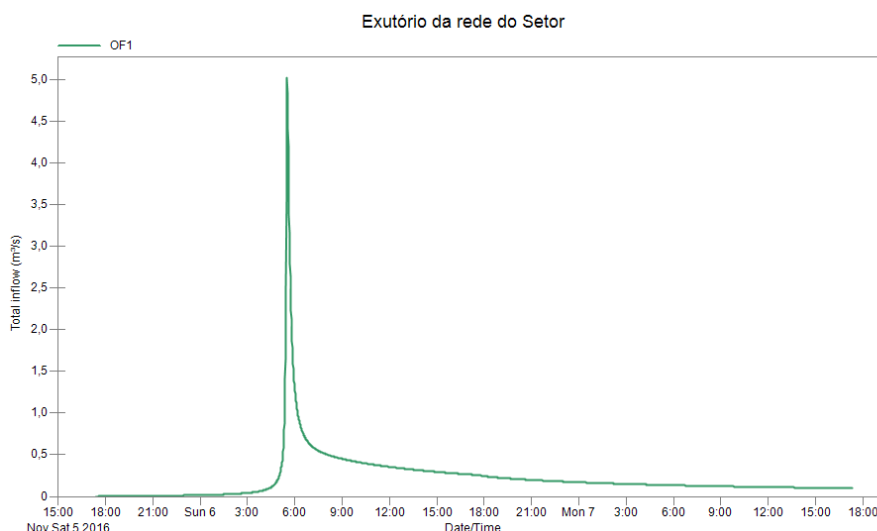


Figura 6.41 Vazão no exutório da rede do Setor Noroeste, resultado para todas as sub-bacias.

A Tabela 6.6 sintetiza as informações das vazões de picos coletadas para cada bacia de detenção e da sub-bacia 1. As vazões defluentes de pico das bacias de detenção aumentam a cada trecho, isso é justificado pelo fato desses dispositivos estarem conectados em série. A vazão no exutório da sub-bacia 1 não possui nenhuma medida projetada para amortização, por isso a vazão afluente é igual a defluente.

Tabela 6.6 Vazões de pico em cada Bacia de Detenção e na Sub-bacia 1.

Origem	Vazão Afluente Sub-bacia (m³/s)	Vazão Afluente Bacia de Detenção a Montante (m³/s)	Vazão Afluente Total (m³/s)	Vazão Defluente (m³/s)
Bacia de Detenção 1	1,094	-	1,094	0,02783
Bacia de Detenção 2	9,981	0,02783	10,00883	0,07278
Bacia de Detenção 3	6,372	0,07278	6,44478	0,159
Bacia de Detenção 4	5,976	0,159	6,135	0,3986
Exutório sub-bacia 1	4,536	-	4,536	4,536
			<b>Total:</b>	5,19421

As vazões do exutório da Sub-bacia 1 juntam-se com as vazões de saída da Bacia de Detenção 4 (as vazões de saída das outras bacias de detenção e, conseqüentemente das demais sub-bacias, são lançadas pela saída da Bacia 4 já amortizadas) e são direcionadas ao exutório.

É notável que a vazão de pico no exutório tem como contribuição principal a Sub-bacia 1 (cerca de 87,3% da vazão total), pois essa não possui dispositivo para amortecimento da rede. As demais sub-bacias tem suas vazões direcionadas para bacias de detenção, logo, há um amortecimento significativo das vazões de pico, bem como o aumento do tempo até que esse seja alcançado.

O fato de a Sub-bacia 1 não possuir um dispositivo de amortecimento dos volumes precipitados coletados evidencia como o pensamento higienista ainda é influente à cultura de projetos de drenagem brasileira. Como a primeira Sub-bacia se encontra mais próxima ao exutório de lançamento, prioriza-se o afastamento rápido das águas dessa região, enquanto as demais vazões coletadas no restante do bairro são suavizadas, ou seja, existe uma preocupação de um rápido afastamento das águas mais próximas à jusante, enquanto, com as águas a montante, há uma preocupação no que diz respeito ao seu amortecimento.

#### **6.4.5 - Cenário com a implantação de uma bacia de retenção para amortecer as vazões coletadas na Sub-bacia 1**

Dessa forma, um cenário proposto para análise, foi a implementação de uma bacia de retenção ao final da Sub-bacia 1. Essa bacia de retenção funcionaria como um dispositivo de amortecimento a jusante, a vazão de saída desta lagoa de amortecimento foi estimada com base na Resolução Nº 9 da ADASA (2011) e os parâmetros de projeto.

Optou-se por realizar esse cenário tendo por base a ocupação atual do Noroeste e os resultados podem ser conferidos na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 Amortecimento da vazão de pico na saída da rede de todo o Setor com a instalação de uma lagoa de amortecimento para a vazão coletada na Sub-bacia 1.

<b>Ocupação atual sem bacia de retenção e com bacia de retenção para a sub-bacia 1</b>		
<b>Cenário</b>	<b>Vazão de Pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Variação</b>
Sem bacia	5,028	-
Com bacia	1,528	-70%

A vazão de pico da Sub-bacia 1 simulada para o cenário com a bacia de retenção apresentou uma redução de 70% em relação ao cenário de 2016 sem o dispositivo, o que pode ser visualizado na Figura 6.42.

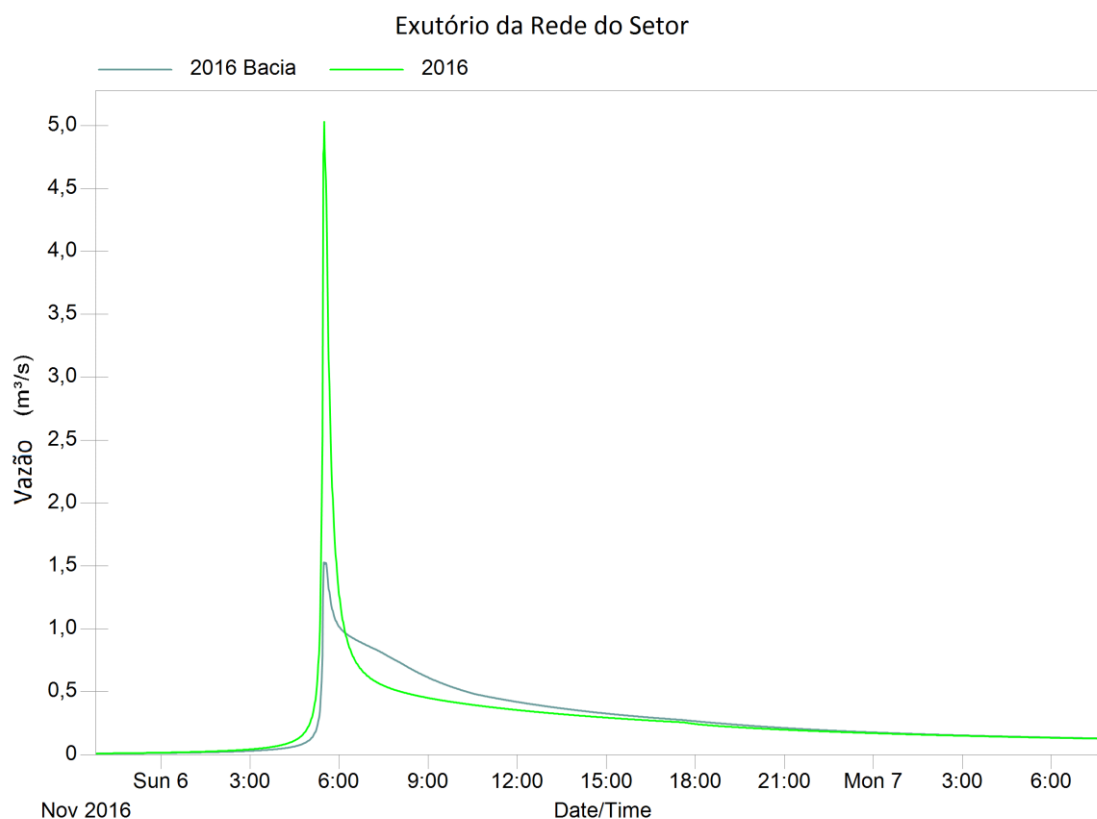


Figura 6.42 Saída da Sub-bacia 1 com e sem lagoa de amortecimento para suas vazões coletadas.

O cenário com a lagoa de amortecimento instalada para a vazão coletada na Sub-bacia 1 antes do lançamento para o corpo hídrico apresenta uma redução extremamente significativa no seu pico. Observa-se uma distribuição muito mais regular da água que escoar na rede, obtida graças ao caráter de armazenamento das lagoas e do controle de saída de vazão, que estipula o regime com o qual o volume coletado será conduzido.

A Sub-bacia 1 é responsável por uma parcela de 87,3% da vazão observada no exutório da rede devido ao nível de urbanização na qual se encontra e à ausência de amortecimento do que é coletado na fonte.

As lagoas de amortecimento são de fundamental importância quando se tem como objetivo o amortecimento das vazões de drenagem. Por isso, para testar a eficiência dessas bacias, criou-se um cenário no qual a bacia de retenção 4 não possui controle de saída. Quando não ocorre o controle do volume que sai da lagoa, o amortecimento é prejudicado e não apresenta sua eficiência máxima de projeto.



Os resultados foram comparados com o cenário real, no qual a bacia possui um controle de saída devidamente projetado como pode ser visto na Tabela 6.8 e, graficamente, na Figura 6.43.

Tabela 6.8 Análise do amortecimento na vazão efluente devido ao controle de saída bacia.

Bacia de detenção nº 4 sem e com controle de saída		
Cenário	Vazão de Pico (m <sup>3</sup> /s)	Variação
Com Controle	0,3986	-82%
Sem Controle	2,213	-

As bacias de detenção com controle de saída apresentam uma redução de 82% na vazão de efluente de pico em relação ao cenário sem controle de saída.

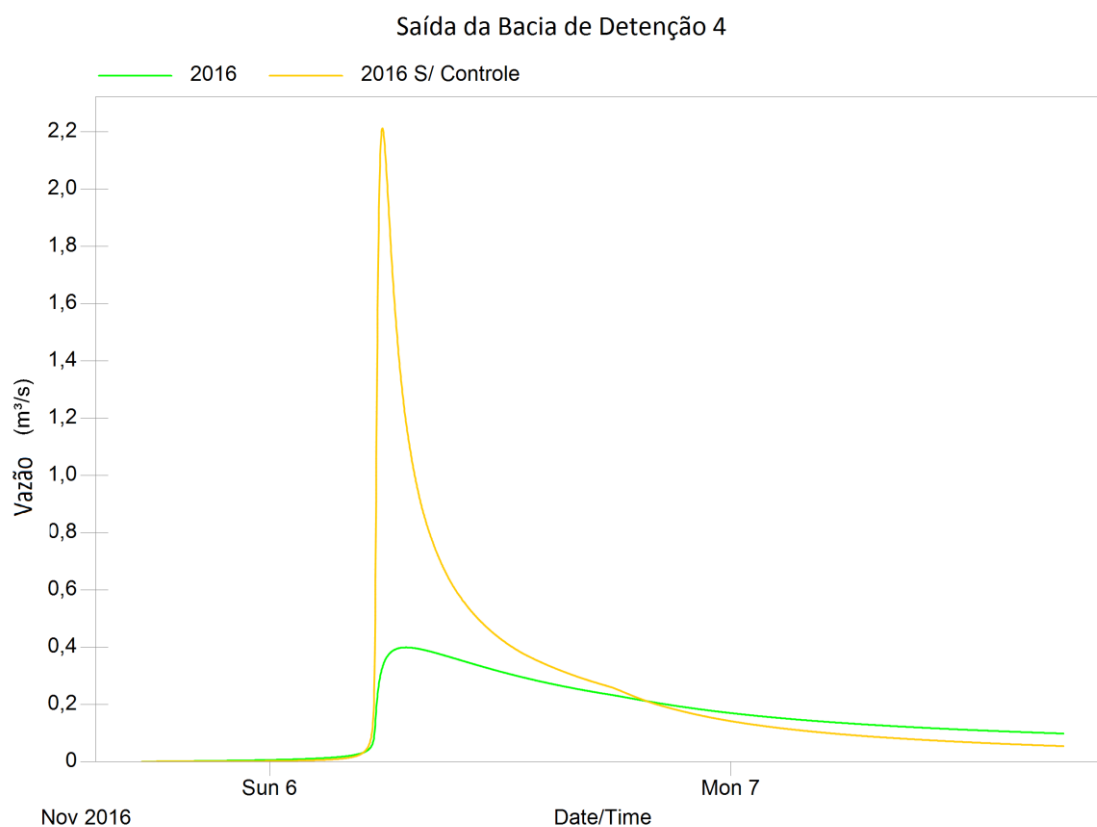


Figura 6.43 Comparativo da saída da lagoa de amortecimento 4 com e sem controle de saída.

A Figura 6.43 apresenta as vazões que se juntarão à coletada na Sub-bacia 1, vê-se que, sem o controle de saída, haveria um considerável aumento na vazão de saída da rede e o valor absoluto da vazão de pico no exutório seria próxima aos 7 m<sup>3</sup>/s. É válido ressaltar que, mesmo sem o controle de saída, as bacias ainda amortecem a vazão produzida. A vazão afluente a bacia de detenção número 4 no horário de pico é de 6,2 m<sup>3</sup>/s para o cenário sem

controle de bacia. Já a defluência de pico é de 2,213 m<sup>3</sup>/s, representando uma redução de 64% e comprovando a eficiência da bacia mesmo sem o controle de saída. Essa eficiência sem controle se dá pelo grande volume da lagoa 4.

Na Figura 6.43 pode-se ver a regularização da vazão de saída da lagoa 4 em relação ao tempo de ocorrência e da intensidade do pico.

#### **6.4.6 - Problemas encontrados**

Observou-se, durante as simulações realizadas, a ocorrência de sobrecargas em alguns pontos no que diz respeito ao cenário representativo do ano de 2016, 2016 com bacia de detenção na Sub-bacia 1 e alguns pontos de inundação no cenário futuro estimado.

Os nós que apresentaram sobrecarga no cenário de 2016 e 2016 com bacia foram: J138, J157, J37, J38 e J551. A Figura 6.44 apresenta uma animação gerada no PCSWMM que explicita o momento de sobrecarga do nó J551 em 2016.

Este tipo de situação pode ser solucionável de diversas maneiras, sendo uma delas o aumento da inclinação do conduto C494 que se encontra imediatamente após o nó J551. Observa-se, na animação, que a topografia do terreno desfavorece o sentido natural da drenagem nesse ponto e a rede teve de ser projetada para vencer esta mudança.

A ocorrência de extravasamento de água nos nós J138, J157, J37, J38 e J551 já era esperada para o cenário futuro estimado devido à ocorrência de sobrecargas mesmo com a urbanização não concluída. Além destes, os nós J6, J8 e J9 também apresentaram pontos de inundação. A animação correspondente ao extravasamento de água no nó J9 na Figura 6.45.

Vale ressaltar que o cenário com os equipamentos de drenagem sustentável implementados não apresentou nenhum nó com sobrecarga na Sub-bacia 1, o que demonstra que a rede foi projetada contando com o funcionamento eficiente de todos os dispositivos de LID.

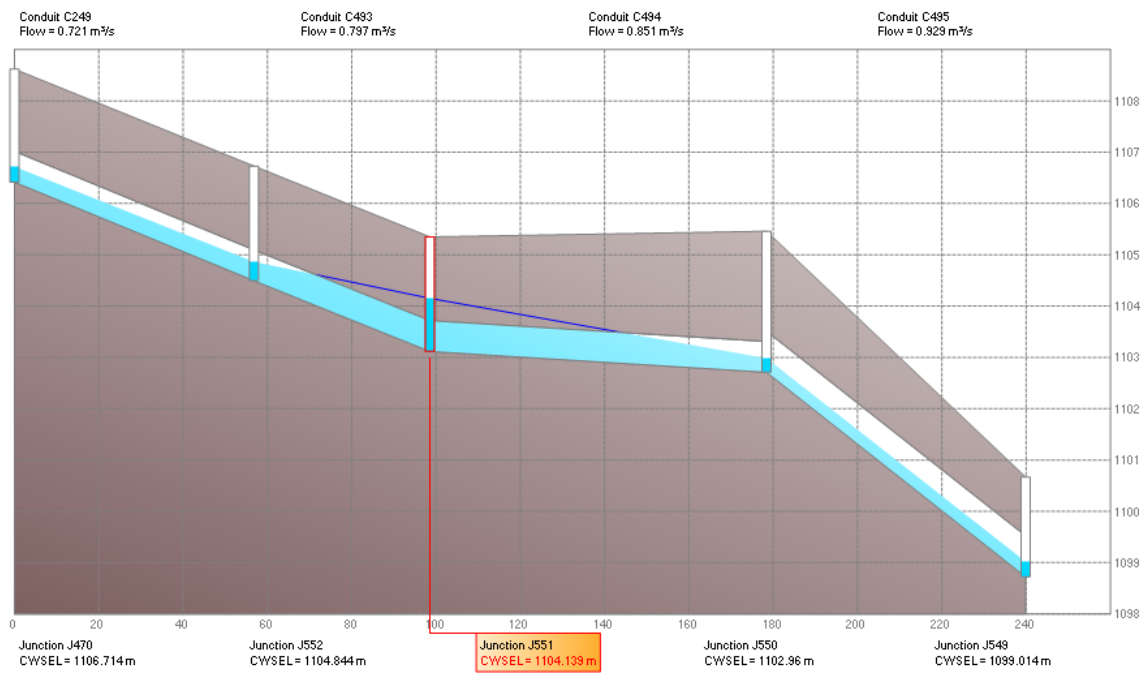


Figura 6.44 Sobrecarga do poço de visita J551.

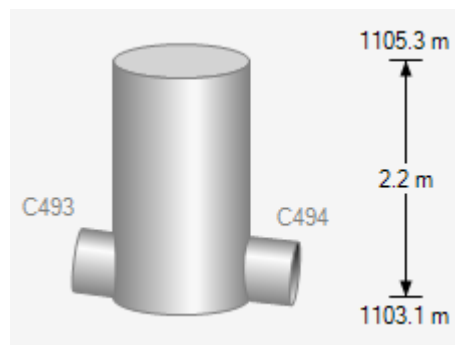


Figura 6.45 Parâmetros geométricos do Poço de Visita J551.

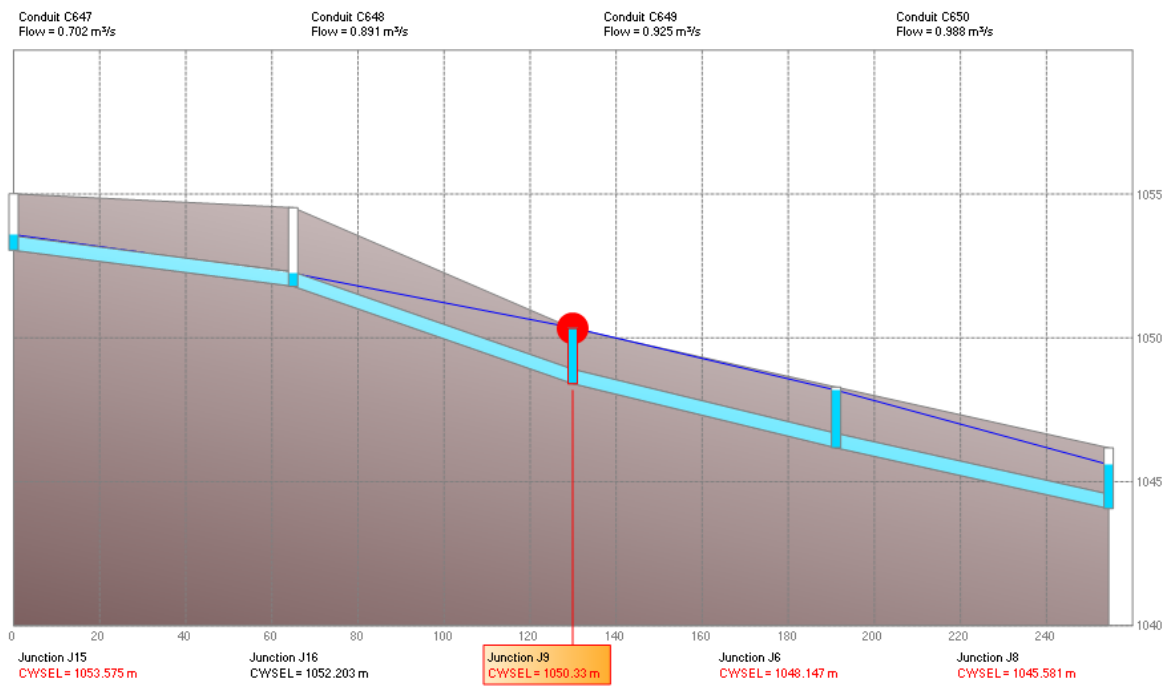


Figura 6.46 Ponto de inundação do poço de visita J9 no cenário futuro estimado.

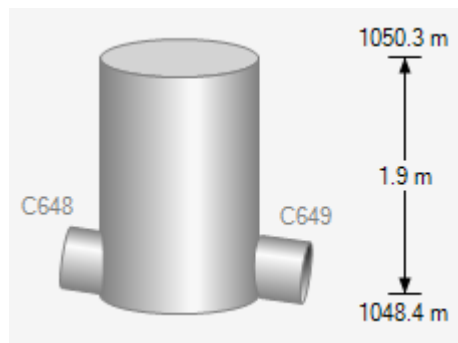


Figura 6.47 Parâmetros geométricos do Poço de Visita J9.

## 7 - CONCLUSÕES

A drenagem de águas pluviais é uma das quatro vertentes do saneamento ambiental e está diretamente atrelada à qualidade de vida das populações. Pelas simulações realizadas, foi possível evidenciar as ações e propriedades que mais interferem na drenagem de uma área urbanizada. Dentre essas evidências, é possível citar, principalmente, o planejamento do uso e ocupação do solo, juntamente com outros fatores como características do solo, hidrológicas e topográficas da região.

Os sistemas clássicos de drenagem ainda são priorizados em âmbito nacional, mas as técnicas alternativas mostram-se efetivas e a difusão desses dispositivos alternativos é de suma importância para proporcionar ambientes urbanos sustentáveis e com qualidade de vida necessários para amparo ao crescimento populacional nas áreas urbanas. O uso de dispositivos que priorizam a infiltração reduz significativamente os impactos decorrentes da urbanização na drenagem de águas pluviais. As bacias de retenção como dispositivos de controle a jusante; pavimentos permeáveis e reservatórios de amortecimento são soluções relativamente simples que possibilitam um amortecimento significativo das vazões decorrentes de precipitações.

O Setor Habitacional Noroeste, apesar de ser considerado, inicialmente, um bairro sustentável e de todas as medidas alternativas no âmbito da drenagem que foram propostas, aparenta não ter seguido todas as diretrizes de implementação do projeto. Muitas das proposições não foram instaladas ou são de desconhecimento quanto a sua real eficiência, como as valetas de infiltração e outros dispositivos de LID. Além do fato de não haver qualquer condição que garanta o funcionamento adequado e eficiente dos dispositivos instalados, como pavimentos permeáveis, reservatórios prediais de coleta de águas pluviais e trincheiras de infiltração.

É notável o impacto da urbanização na drenagem urbana. Comparando os resultados obtidos para vazão de saída em 1964 e a estimativa futura, essas alterações atingiram a ordem de 243% para mais, o pico foi adiantado e acentuado, causando um desbalanceamento hidrológico considerável, resultante da ação antrópica desordenado sobre o meio urbano. Isso ocorre, principalmente, pela alteração no uso e ocupação do solo e, conseqüente, impermeabilização da área. O Setor Habitacional Noroeste está no processo de expansão urbana. Nos últimos anos houve um aumento na ocupação do setor e esse processo, provavelmente, permanecerá durante algum tempo até a concretização do bairro.

O software PCSWMM mostrou-se útil e prático, além disso, a disponibilização da licença de utilização do modelo por parte da ChiWater para fins educacionais é fundamental para a difusão da cultura de modelagem hidrológica no âmbito acadêmico. Mesmo não havendo uma calibração da modelagem, os resultados obtidos podem ser considerados coesos (em termos de variação) devido à apresentação de resultados de acordo com o observado em trabalhos apresentados na literatura referente ao comportamento hidrológico de áreas recém urbanizadas. O PCSWMM apesar de facilitar a manipulação de dados pré-processados, exige bastante cuidado na sua inserção, uma vez que a correção de parâmetros hidráulicos e físicos dentro da interface do programa é de difícil execução. Como o dimensionamento dos sistemas de drenagem é feito em softwares terceiros, existe uma perda de informação inerente a importação de parâmetros em formatos diferentes dos utilizados no PCSWMM, a qual deve-se tomar cuidado.

Com as simulações foi possível perceber que o sistema de drenagem projetado pela Topocart (baseada em Termo de Referência da Novacap) é eficiente no cumprimento da Resolução Nº 09 da ADASA de 2011 no que diz respeito à suavização dos efeitos da urbanização do Setor Noroeste na quantidade de água que é lançada no corpo receptor, com destaque positivo para as quatro lagoas de amortecimento em série que recebem a vazão de quatro das cinco Sub-bacias da poligonal do bairro.

Porém, a ineficiência dos dispositivos de drenagem sustentável projetados para o Setor aliados à falta de fiscalização por parte da Novacap de suas próprias exigências para aprovação dos projetos transforma a drenagem pluvial do Noroeste em apenas mais uma proposta higienista. Uma vez que na teoria os dispositivos de drenagem deveriam funcionar de modo a aproximar a paisagem urbana das características de pré-urbanização e levar em consideração a qualidade ambiental da água lançada no Lago Paranoá, mas na prática apenas agem no sentido de evacuar as águas coletadas rapidamente para o exutório da rede, se preocupando somente com o amortecimento das vazões de regiões mais a montante. A atual necessidade desse amortecimento também é fato questionável, uma vez que a área a jusante e o corpo hídrico receptor é o Lago Paranoá que, justamente pelo fato de ser um lago, possui função natural de amortecimento de vazões.

Desta forma, os principais problemas observados atualmente são de provável responsabilidade da administração pública no que diz respeito à execução ou fiscalização da

manutenção dos dispositivos, principalmente as bocas de lobo, os reservatórios e os pavimentos permeáveis nos estacionamentos de blocos residenciais e comerciais.

Vale ressaltar que os reservatórios prediais foram projetados para reutilizarem as águas coletadas nas áreas comuns dos blocos residenciais e comerciais, porém apenas bombeiam a água reservada para a rede.

A falta de cumprimento, por parte das empresas de construção civil na região, das diretrizes ambientais referentes ao acometimento de agregados e volumes escavados pode ser apontado como um fator agravante da quantidade de sedimentos carreados ou pontos de coleta obstruídos. O provável lançamento desses sedimentos ao Lago Paranoá é um descompasso ambiental grave e pode ser responsável pelos registros de assoreamento do corpo hídrico próximo à Ponte do Bragueto, atenuado pelo fato de que o Lago será usado como fonte de abastecimento para uma grande parte da população do Distrito Federal. Faz-se necessária a implementação de medidas corretivas e preventivas de controle de qualidade das águas pluviais coletadas no Setor Noroeste em caráter de urgência. O tratamento das vazões, bem como a remoção da elevada carga de sedimentos conduzidos, antes do lançamento no Lago era uma das diretrizes de projeto e não foi implementada. A concepção de uma rede, que conta com tratamento antes de seu lançamento, na prática não aconteceu e os efeitos negativos decorrentes podem ser ambientalmente e financeiramente preocupantes. A falta de um controle rigoroso de sedimentos por parte da administração pública é gritante no Setor.

Este estudo se propôs a expor a influência da alteração do uso e ocupação do solo decorrente do processo planejado de urbanização e avaliar a evolução das vazões coletadas do Setor Habitacional Noroeste por meio da simulação matemática de diferentes cenários. Além da análise do processo de urbanização, foi possível simular dispositivos e cenários e estimar a eficiência da implementação de métodos de drenagem sustentável. Deve-se estimular a elaboração de estudos que possam metrificar a grande preocupação acerca da qualidade das águas direcionadas ao corpo receptor desta região e que possam servir como parâmetros confiáveis para o processo de tomada de decisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADASA. Governo do Distrito Federal. **Resolução Nº 9 de 08 de abril de 2011**. ADASA, Brasília, 2011.
- AYRES, F., FILHO, G., MARTINS, I., MACHADO, N. Geoprocessamento como ferramenta no licenciamento ambiental de postos de combustíveis. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia/MG, Volume 20, n.1, p. 87-89. Jun. 2008.
- BAHIENSE, J. **Avaliação De Técnicas Compensatórias Em Drenagem Urbana Baseadas No Conceito De Desenvolvimento De Baixo Impacto, Com O Apoio De Modelagem Matemática**.135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- BAPTISTA, L., F., S., GONÇALVES, L., M., BARBASSA, A., P., FELIPE., M., C., TECEDOR, N. **Parâmetros Urbanísticos Contemporâneos na Aplicação e Concepção do LID (Low Impact Development)**. Bento Gonçalves. ABRH, 2013.
- BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre. ABRH, 2011.
- BOTELHO, M., H., C. **Agua de chuva: Engenharia das aguas pluviais nas cidades**. 2. ed. Sao Paulo: Edgard Blücher, 1998. 237 p.
- CAMPANA, N., TUCCI, C., E., M. **Urban Drainage in Specific Climates**. Vol. 1. Cap. 8 International Hydrological Programme, 2000.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. Oficina de Textos. São Paulo, 2014. 372 p.
- CITY OF CHARLOTTE STORM WATER SERVICES. **Photo Book of Storm Water Features**. Version 1.2. Charlotte-Macklenburg, 2006.
- COLLISCHONN, W., DORNELLES, F. **Hidrologia Para Engenharia e Ciências Ambientais**. 1. ed. Porto Alegre. ABRH, 2013. 336 p.
- COSTA, M.E.L. **Monitoramento e modelagem das águas da drenagem urbana na bacia do lago Paranoá**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-148/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013. 179p.



DEL MAR. **Interim: Standard Urban Stormwater Mitigation Plan**. City of Del Mar, 2008.

DURRANS, S.R. **Stormwater Conveyance Modeling and Design**. Pennsylvania, USA. Bentley Institute Press, 2007. 688 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa; 1999. 412 p.

FISRWG. **Overview of Basic Stormwater Concepts**. Disponível em: <[http://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Overview\\_of\\_basic\\_stormwater\\_concepts](http://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Overview_of_basic_stormwater_concepts)> Acesso em: 06/06/2016, 20h30min.

FLAGSTAFF **Low Impact Development: Guidance Manual for Site Design and Implementation**. City of Flagstaff: Stormwater Management Section, 2009.

GARCIA, J. I.; PAIVA, E. M. C. D. Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela – RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 11, n.4, p. 99-108, 2006.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL/INSTITUTO DE PLANEJAMENTO URBANO E TERRITORIAL DO DISTRITO FEDERAL. **Plano Diretor de Ordenamento Territorial Urbano do Distrito Federal – PDOT**. Brasília. Codeplan, 1996.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Plano de Ocupação da Área de Expansão Urbana Noroeste**. Brasília, 2000.

HUBER, W.C.; DICKINSON, R.E. **Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual**. U.S. Environmental Protect Agency. Athens, Georgia, 1992.

KER, J.C. **Latossolos do Brasil: Uma revisão**. Geonomos, 5(1):17-40, 1997.

MAIDMENT, D., R. **Environmental modeling with GIS**. Cap. 14. New York, Oxford University Press, 1993.

MELLER, A. **Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistema de Drenagem em Santa Maria-RS**. Santa Maria: UFSM – PPGEC. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, 2004.

MENEZES FILHO, F., C., M., TUCCI, C., E., M. **Alteração Na Relação Entre Densidade Habitacional X Área Impermeável**: Porto Alegre-RS. REGA – Vol. 9, no. 1, p. 49-55, jan/jun. 2012.

MUNDOGEO. **Mapeamentos de Uso e Ocupação do Solo**. Disponível em:  
<<http://mundogeo.com/blog/2009/07/09/mapeamento-de-uso-e-ocupacao-do-solo/>> Acesso em: 10 de outubro de 2016, 23:10.

NCA ENGENHARIA, ARQUITETURA E MEIO AMBIENTE. **Gerenciamento da Implementação do Plano de Gestão Ambiental de Implantação – PGAI do Setor de Habitações Coletivas Noroeste**. Terracap. Brasília, 2012.

NEVES, M., G., F., P., TUCCI, C., E., M. Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana: Aspectos Conceituais. RBRH — **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 13 n.3 Jul/Set 2008, 125-135.

OPENSWMM. SWMM Knowledge Base. Permeable Pavement. Disponível em <<https://www.openswmm.org/Topic/6477/permeable-pavement>> Acesso em 12/11/2016, 21:46.

PAULA, A. C. V. (2015). **Drenagem urbana – Análise de problemas de novos loteamentos – Estudo de caso no Setor Habitacional Vicente Pires**. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 47p

PINTO, N. S., HOLTZ, A., C. T., MARTINS, J., A., GOMIDE, F., L., S. **Hidrologia Básica**. São Paulo. Edgard Blücher, 1976. 304p.

PONCIANO, J. L. C. (2016). **Águas Pluviais: Análise De Problemas De Novos Loteamentos, Estudo De Caso Do Setor Habitacional Arniqueira– DF**. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 78p

PREFEITURA DE SÃO PAULO. IP-06/2004 Dimensionamento De Pavimentos Com Blocos Intertravados De Concreto. 2004.

ReCESA. **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte, 2007. 52 p.

RENNÓ, C., D., SOARES, J., V. Introdução à Modelagem Dinâmica Espacial. Cap. 2. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, 2003.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação.** São Paulo, 2005.

SILVEIRA, A. L. L. **Drenagem Urbana: Aspectos de Gestão.** Disponível em: <<ftp://ftp.cefetes.br/cursos/transportes/Zorzal/Drenagem%20Urbana/Apostila%20de%20drenagem%20urbana%20do%20prof%20Silveira.pdf>> Acesso em: 06/06/2016, 02h30.

STEYAERT, L., T. **Environmental modeling with GIS.** Cap. 3. New York, Oxford University Press, 1993.

STORM WATER MANAGEMENT MODEL – USER’S MANUAL. **EPA SWMM 5.0 Modelo de Gestão de Drenagem Urbana: Manual do Usuário.** Tradução pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, Brasil. PROCEL SANEAR, 2012. 280 p.

SUDERHSA. **Manual de Drenagem Urbana Região Metropolitana de Curitiba – PR.** Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Governo do Estado do Paraná. 2002.

TAVANT, D. Análise dos Desenvolvimentos Urbanos de Baixo Impacto e Convencional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 17 n.4, p. 17-28, 2012.

TERRACAP. **Termo de Referência – PGAI do Setor de Habitações Coletivas Noroeste.** Brasília, 2012.

TERRACAP. **Termo de Referência – Relatório de Impacto nos Sistemas de Transporte e Trânsito.** Brasília, 2012.

TC/BR – Tecnologia e Consultoria Brasileira S/A. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental da Área de Expansão Urbana Noroeste.** Terracap, 2005.

TOPOCART. **Plano de Drenagem de Águas Pluviais – Área de Expansão Noroeste.** Novacap, 2012.

TUCCI, C., E., M. **Água no Meio Urbano.** Cap. 14. UFRGS, 1997.

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre/RS, Volume 2, n.2m p. 5-12, 1997.

TUCCI, C., E., M., PORTO, R., L. **Urban Drainage in Specific Climates.** Vol. 1. Cap. 4 International Hydrological Programme, 2000.

TUCCI, C., E., M. Drenagem Urbana. **Cienc. Cult.** vol.55 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2003

TUCCI, C., E., M., BERTONI, J., C. **Inundações Urbanas na América do Sul.** ABRH. Porto Alegre, 2003.

TUCCI, C., E., M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas.** Ministério das Cidades: Global Water Partnership World Bank. Unesco 2005.

TUCCI, C., E., M. **Inundações Urbanas.** ABRH. Porto Alegre, 2007. 393p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação.** 4 ed. UFRGS. Porto Alegre, 2013. 943p.

VERTESSY, R., A.; HATTON, T., J.; O'SHAUGHNESSY, P., J.; JAYASURIYA, M., D., A. **Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model.** J. Hydrology, 1993.