

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE VALAS DE  
DETENÇÃO NA AVENIDA SEGISMUNDO  
PEREIRA, BACIA DO CÓRREGO JATAÍ, NA  
CIDADE DE UBERLÂNDIA/ MG**

**MOISÉS KENIEL GUILHERME DE LIMA**

**UBERLÂNDIA/MG, JULHO/2017**



**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**Moisés Keniel Guilherme de Lima**

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE VALAS DE DETENÇÃO  
NA AVENIDA SEGISMUNDO PEREIRA, BACIA DO  
CÓRREGO JATAÍ, NA CIDADE DE UBERLÂNDIA/ MG**

Projeto de Pesquisa apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira**

Uberlândia/MG, julho de 2017

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

L732 Lima, Moisés Keniel Guilherme de, 1988-  
2017 Análise da implantação de valas de detenção na Avenida  
Segismundo Pereira, bacia do córrego Jataí, na cidade de  
Uberlândia/ MG [recurso eletrônico] / Moisés Keniel Guilherme de  
Lima. - 2017.

Orientador: Carlos Eugenio Pereira.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Pós-graduação em Engenharia Civil.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.133>  
Inclui bibliografia.

1. Engenharia civil. I. Pereira, Carlos Eugenio, 1974-, (Orient.).  
II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em  
Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGE**

**ATA Nº:** 192/2017

**CANDIDATO:** Moisés Keniel Guilherme de Lima

**Nº. Matrícula:** 11512ECV008

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira

**TÍTULO:** "Análise da implantação de valas de retenção na Avenida Segismundo Pereira, Bacia do Córrego Jataí, na cidade de Uberlândia/MG".

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Engenharia Urbana, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

**LINHA DE PESQUISA:** Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

**PROJETO DE PESQUISA:** Infraestrutura Urbana

**DATA DA DEFESA:** 05 de setembro de 2017

**LOCAL:** Sala de Reuniões Prof. Márcio Antônio Ribeiro da Silva, bloco 1Y.

**HORÁRIO INÍCIO/TÉRMINO:** 14:00h - 15h 50min.

Reuniu-se na **Sala de Reuniões Prof. Márcio Antônio Ribeiro da Silva, bloco 1Y - Campus Santa Mônica** da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do PPGE, assim composta: Professores Doutores: **Prof. Dr. André Luiz de Oliveira – FECIV/UFU; Jean Carlo da Silva – UNIUBE e Carlos Eugênio Pereira** orientador do candidato. Ressalta-se que todos os membros da banca e o aluno participaram in loco.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa **Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira** apresentou a Comissão Examinadora e concedeu ao discente a palavra para a exposição do trabalho. A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o candidato aprovado. Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU. Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos e foi lavrada a presente ata que após lida e aprovada foi assinada pela Banca Examinadora.

Professor Orientador: **Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof. Dr. Jean Carlo da Silva – UNIUBE**

Membro interno: **Prof. Dr. André Luiz de Oliveira – FECIV/UFU**

Uberlândia, 05 de setembro de 2017.



# **A**GRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que em sua infinita misericórdia me permitiu adquirir novos conhecimentos e chegar até aqui.

Agradeço à minha esposa e meu filho amado, Polyana e Arthur, a quem dedico este projeto. Estes que com carinho, paciência e muito amor foram meus apoiadores e minha base.

Aos meus pais que com sacrifício me criaram, e com carinho me ensinaram o caminho que devo andar.

À minha irmã Thaís que com sabedoria e inteligência tanto me ajudou, e em momento algum me deixou desistir.

Aos meus amigos que tanto contribuíram com este trabalho, em especial a Fernanda Fernandes, o Leonardo Pontes e o Arthur, que de forma altruísta dispensaram parte do seu tempo para a conclusão do presente trabalho.

E àquele que escolheu dedicar sua vida aos outros, por meio da docência, mas que não se esquivou de ajudar o próximo em tudo que for preciso, meu querido professor Dr. Carlos Eugênio Pereira. Ao senhor desejo toda proteção e iluminação divina.

Obrigado.

Lima, M.K.G. Análise da implantação de valas de retenção na Avenida Segismundo Pereira, bacia do córrego Jataí, na cidade de Uberlândia/ MG. 94 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

## RESUMO

O presente trabalho propôs a aplicação de uma infraestrutura verde, vala de retenção, na Avenida Segismundo Pereira, na cidade de Uberlândia/ MG. Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica acerca dos temas hidrologia, planejamento urbano e estudos de casos. Por meio de estudos de casos e publicações recentes observou-se que infraestruturas verdes possuem diversas funções na cidade, podendo citar-se funções ligadas à infraestrutura, lazer, paisagem, bem-estar e saúde. Apresentaram-se modelos de quantificação de chuvas de projetos, bem como equações aplicáveis à cidade de Uberlândia/ MG. Por meio de modelagem, utilizando o programa computacional livre HEC-HMS, obteve-se hidrogramas sem a aplicação de valas de retenção e com aplicação das mesmas. Comparou-se influência da aplicação da estrutura proposta na drenagem urbana da área. Os resultados apontaram redução nas vazões de pico da área estudada.

**Palavras-chave:** Estrutura verde – Bacia de retenção – Drenagem Urbana

Lima, M.K.G. Analysis of Ditch of Detention Implantations in the Segismundo Pereira Avenue, Jataí's Basin of Corrego, in the city of Uberlândia/MG. 94 p. Masters Dissertation, Civil Engineering College, Public University of Uberlândia, 2017.

## **ABSTRACT**

The presente paperwork propose the application of a green infrastructure, ditch of detention , in Segismundo Pereira, in the city of Uberlândia, Minas Gerais. At first, made a bibliographic review about Hidrologics's theme, Urbanism Planning and studies of cases. Through of cases's studies and current articles, it was possible to notice that green's infrastructures has a lot of services at the cities, as infrastructures, laser, paisagism, well being and health. This paperwork shows model rainfall quantification of projects and applied equations to Uberlândia city as well. By means of modeling , using free softwares, as HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center), got hydrograms with and without ditch of detention applications. Was made a comparative of application's influence of urban drainage on propose area. The results showed reduction on flow rate top of studied area.

Keywords: Green Structures - Ditch of Detention - Urban Drainage

# SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

## SÍMBOLOS

$\alpha$  - Média aritmética da distribuição de Gumbel  
 $\beta$  - Parâmetro adimensional da distribuição de Gumbel  
 $\mu$  - Parâmetro adimensional da distribuição de Gumbel  
A - Área da bacia hidrográfica  
C - Coeficiente de escoamento superficial  
CN - Número da curva ou coeficiente de deflúvio  
I - Intensidade média de precipitação  
P - Altura da precipitação  
Pe - Precipitação efetiva  
Q - Vazão  
Qp - Vazão de pico  
S - Declividade da bacia  
t - Tempo de duração da chuva  
tc - Tempo de concentração

## SIGLAS

ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos  
BRT – Transito rápido de ônibus (*Bus Rapid Transit*)  
CAD - desenho assistido por computador (*Computer aided desing*)  
CF – Constituição da República Federativa do Brasil  
CN – Número da curva (*curve number*)  
CWAA - Aliança Americana para a Água Limpa (*Clean Water America Alliance*)  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDF – Intensidade Duração e Frequência  
MDT – Modelo Digital de Terreno  
MG – Minas Gerais  
OD – Origem-destino  
PEP - Plano de Emergência Pluviométrica

PMU – Prefeitura Municipal de Uberlândia

ROTIS - Sistema de Informações de Tráfego Rodoviário (*System of Road Traffic Information*)

SCS – Serviço de conservação do solo (*Soil Conservation Service*)

SETRAN - Secretaria de Trânsito e Transportes

SIT - Sistema Integrado de Transporte

SMO - Secretaria Municipal de Obras

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency*)



# LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Jardim de chuva – <i>Allen St, Bethlehem, PA, USA</i> .....	45
Foto 2 – Canteiros pluviais em Portland, Oregon.....	46
Foto 3 – Vista aérea da bacia de retenção do Parque do Sabiá, Uberlândia, 2016.....	47
Foto 4 – Biovaleta em <i>Broadview, Illinois, USA</i> .....	50
Foto 5 - Av. Gov. Rondon Pacheco em 29/05/2013.....	61
Foto 6 - Av. Gov. Rondon Pacheco em 29/05/2013.....	61
Foto 7 - Avenida Segismundo em evento de chuva típico .....	70
Foto 8 - Estação executada no BRT da Avenida Segismundo Pereira .....	79
Foto 9 - Canteiro na Avenida Segismundo Pereira.....	83

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Hidrograma típico, incluído escoamento de base .....	18
Figura 2 - Curvas de probabilidade de 50% de ocorrência para quatro quartis de Huff (1970) ....	25
Figura 3 - Características do balanço hídrico numa bacia urbana.....	28
<b>Figura 4 - Amortecimento em reservatórios urbanos.....</b>	<b>37</b>
Figura 5 - Características das alterações de uma área rural para urbana .....	40
Figura 6 – Bacia de retenção .....	47
Figura 7 - Bacia de detenção .....	48
Figura 8 - Bacia de infiltração.....	49
Figura 9 - Esquema de uma biovaleta.....	50
Figura 10 - Vala de infiltração .....	51
Figura 11 - Vala de retenção.....	51
Figura 12: Localização do rio Cheonggyecheon , em Seul.....	53
Figura 13: Antes e depois da restauração .....	54
Figura 14: New York High Line .....	58
Figura 15: Distribuição do espaço verde em Hangzhou, China .....	59
Figura 16 - Mapa de localização da área de estudo .....	63
Figura 17 - Delimitação da área de estudo e sub-divisões adotadas.....	72
Figura 18 - Subdivisão da área de estudo - área 1 .....	73
Figura 19 - Subdivisão da área de estudo - área 2 .....	74
Figura 20 - Subdivisão da área de estudo - área 3 .....	75
Figura 21 - Subdivisão da área de estudo - área 4 .....	76
Figura 22: Localização Corredor Estrutural Leste .....	77
Figura 23: Trechos com perfis tipos no Corredor Estrutural Leste .....	78
Figura 24: Perfil projetado da via no trecho 1 .....	78
Figura 25 - Modelagem da área de estudo no programa HEC-HMS.....	81
Figura 26 - Inserção dos reservatórios no modelo.....	82
Figura 27 - Perfis Transversais da via (Típico) existente e proposto .....	84
Figura 28 - Detalhes da vala de detenção .....	86

## **L**ISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Hidrograma para período de retorno de 10 anos .....	87
Gráfico 2 - Hidrograma para período de retorno de 20 anos .....	87
Gráfico 3 - Hidrograma para período de retorno de 100 anos .....	88

# LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Distribuição de cada quartil.....	25
Quadro 2 – Medidas estruturais básicas de controle na drenagem .....	34
Quadro 3 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas .....	38
Quadro 4 - Resumo das características da vala de retenção .....	85

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores do parâmetro CN para bacias rurais.....	19
Tabela 2: Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.....	20
<b>Tabela 3: Relação entre durações de chuvas.....</b>	<b>22</b>
Tabela 4 - Alturas pluviométricas médias do Posto do Parque do Sabiá e da Estação de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia.....	65
Tabela 5 - Intensidades médias de precipitação do Posto do Parque do Sabiá e da Estação de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia .....	66
Tabela 6 - Cálculo do tempo de concentração .....	67
Tabela 7 - Comparativo das vazões de pico em diferentes períodos de retorno na área estudada	89



# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	3
<b>RESUMO</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	6
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	15
1.1. OBJETIVOS .....	16
1.2. JUSTIFICATIVA.....	16
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	17
2.1. HIDROGRAMA DE CHEIA .....	17
2.2. RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO TOTAL E EFETIVA.....	18
2.3. DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL .....	21
2.4. RELAÇÃO ENTRE DURAÇÕES DAS CHUVAS .....	22
2.5. EQUAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA .....	23
2.6. DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DE CHUVAS .....	24
2.7. MÉTODO SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS).....	26
2.8. VAZÃO MÁXIMA.....	26
2.9. HIDROLOGIA URBANA .....	27
2.9.1. CICLO HIDROLÓGICO .....	27
2.10. MORFOLOGIA URBANA.....	28
2.11. ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	30
2.12. ENCHENTES URBANAS .....	31
2.13. DRENAGEM URBANA.....	31
2.13.1. MEDIDAS DE CONTROLE NA DRENAGEM .....	33
2.13.2. MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS.....	33
2.13.3. MEDIDAS ESTRUTURAIS .....	33
2.13.4. RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS .....	37
2.13.5. URBANIZAÇÃO x DRENAGEM URBANA.....	38
2.14. INFRAESTRUTURA VERDE NO CENÁRIO URBANO .....	41
2.14.1. JARDINS DE CHUVA .....	44
2.14.2. CANTEIRO PLUVIAL.....	45
2.14.3. LAGOA PLUVIAL OU BACIA DE RETENÇÃO.....	46
2.14.4. BACIA DE DETENÇÃO.....	48
2.14.5. BIOVALETAS .....	49
2.15. GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	51
2.16. ESTUDO DE CASO 01: PLANO BÁSICO DA RESTAURAÇÃO DO RIO CHEONGGYECHEON .....	53
2.17. ESTUDO DE CASO 02: ESPAÇO VERDE URBANO, SAÚDE PÚBLICA E JUSTIÇA AMBIENTAL: O DESAFIO DE FAZER CIDADES “SÓ VERDE O SUFICIENTE” .....	56
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	60
3.1. ÁREA E UNIVERSO DE ESTUDO .....	60
3.2. ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS .....	65
3.3. VAZÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	66
3.4. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO .....	67
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	69

4.1.	ÁREA DE ESTUDO .....	69
4.2.	SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO .....	80
4.3.	INFRAESTRUTURA VERDE.....	82
4.4.	HIDROGRAMAS .....	87
<b>CAPÍTULO 5</b> .....		90
5.1.	CONCLUSÕES .....	90
5.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	90
<b>CAPÍTULO 6</b> .....		91
6.1.	REFERÊNCIAS .....	91

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Desde a segunda metade do século XX, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, as cidades brasileiras apresentam uma intensificação no que diz respeito à urbanização, como consequência de um crescimento significativo da população urbana. Esse processo foi acentuado principalmente na década de 80, gerando uma população carente em infraestrutura (IBGE – A, 2003).

Os efeitos desse avanço são notados em todo o aparelhamento urbano com relação a recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacais e drenagem pluvial. As consequências são muito relevantes à sociedade e exemplos disso são as enchentes devido a urbanização, que colocam em risco a segurança dos cidadãos.

O sistema de urbanização requer uma gestão eficiente do planejamento de drenagem e projetos de engenharia. No Brasil, as enchentes são decorrentes de uma administração inadequada devido à falta de mecanismos de controle da ampliação das cheias. (TUCCI, 1995)

Entre os anos de 2000 e 2010, segundo dados do IBGE (2010), a cidade de Uberlândia apresentou um aumento populacional de 1,20% bem como um crescimento demográfico urbano de 1,21% e da área da cidade, obtendo como resultado uma substituição dos espaços naturais por construídos. Tal substituição implicou em uma elevada taxa de impermeabilização do solo, que contribui para uma diminuição da parcela infiltrada das águas pluviais, gerando assim um aumento na parcela escoada, que por sua vez sobrecarrega o sistema de drenagem urbana.

Segundo o Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (2016), diversas chuvas com períodos de retorno altos ocorreram na cidade de Uberlândia nos últimos 20 anos. Tais precipitações interferem diretamente na economia, na segurança e no planejamento da cidade. Os impactos foram significativos de tal forma que a administração pública municipal

elaborou, em 2010, o Plano de Emergência Pluviométrica – PEP. Conhecidos os processos e suas consequências, é notória a necessidade de planejamento de estruturas de drenagem urbana que conciliem a segurança da população ao ciclo hidrológico.

## **1.1.OBJETIVOS**

O presente trabalho propõe a análise da influência do acréscimo de bacias de retenção, detenção e infiltração, bem como da implantação de técnicas de infraestrutura verde, em áreas públicas associados ao sistema de drenagem urbana. Essa análise será aplicada em um trecho da bacia hidrográfica do córrego Jataí, na avenida Segismundo Pereira, na cidade de Uberlândia/ MG.

## **1.2.JUSTIFICATIVA**

A cidade de Uberlândia apresentou altos índices pluviométricos em um curto período e tal fato ocasionou grandes volumes de escoamento, conforme dados do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (2016). Uma das causas apontadas como contribuintes do aumento da parcela escoada das precipitações ocorridas sobre a cidade está o alto índice de impermeabilização do solo, bem como a redução de cobertura vegetação. Em conformidade ainda com o explicitado nas Diretrizes Estratégicas Para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT/ CGE, 2001), citado por ESTEVES e MEDIONDO (2003), no Brasil são despendidos recursos superiores a 1 bilhão de dólares com enchentes urbanas.

O problema de enchentes atinge a cidade tanto na área social, uma vez que coloca em risco a vida dos cidadãos, quanto na área financeira por causar danos materiais e gerar novos gastos com reformas. Dessa forma, o presente trabalho propõe a implantação de uma infraestrutura verde no sistema de drenagem urbana da cidade como medida alternativa, observando sua viabilidade técnica, assim como a eficiência de tais sistemas. Além disso, a solução apresentada alia paisagismo a um desenvolvimento sustentável.

# **CAPÍTULO 2**

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo será tratado o referencial teórico do trabalho. Abordar-se-á o tema drenagem urbana, contextualizando-se a influência do crescimento urbano nos recursos hídricos, para uma melhor compreensão dos problemas de drenagens no cenário urbano, bem como estudo de casos, por meio de artigos, de propostas semelhantes no cenário mundial.

Serão abordados ainda neste capítulo os modelos hidrológicos a serem utilizados. Assim pretende-se estabelecer as bases teóricas para o desenvolvimento do presente trabalho.

### **2.1.HIDROGRAMA DE CHEIA**

A relação, em gráfico, entre o escoamento e o tempo para um determinado evento de chuva é chamada hidrograma. O hidrograma é composto por uma parte em ascensão, um pico e outra parte em declínio, e segundo Gribbin (2009), esta é uma característica comum a todos os hidrogramas. O hidrograma é a representação da água que precipitou sobre a bacia, contudo observa-se que nem toda precipitação se transforma em escoamento superficial. Parte da precipitação é infiltrada no solo, evaporada ou até evapotranspirada, e a parcela restante, aquela que se transforma em escoamento, dá-se o nome de precipitação efetiva.

Fatores como, quantidade de chuva, padrão de chuva, tempo de concentração e características físicas da bacia de drenagem diferenciam os hidrogramas, embora todos tenham a mesma forma geral.

Existem diversos métodos para o cálculo de hidrogramas para uma bacia de drenagem, porém têm duas categorias gerais nas quais os métodos de cálculos se enquadram: hidrograma de medição direta e hidrograma sintético. A medição direta é comumente utilizada em grandes bacias, onde uma ou mais estações de medição são implantadas e registram hidrogramas reais para diversas precipitações, gerando dados da bacia estudada. Após a obtenção de dados faz-se um tratamento estatístico e então produz-se um hidrograma geral aplicável àquela bacia. O

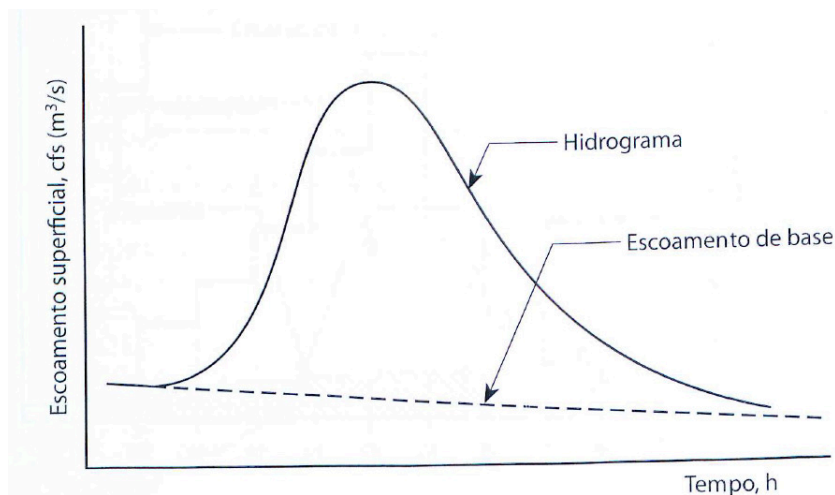


hidrograma sintético é usado geralmente em bacias de pequenas dimensões, e que não possuem dados de escoamento registrados.

Tanto os hidrogramas de medição direta, quanto os sintéticos baseiam-se no conceito do hidrograma unitário. O hidrograma unitário é, segundo Gribbin (2009), resultante de uma unidade de precipitação efetiva caindo sobre uma bacia em uma unidade de tempo.

Na análise do hidrograma, comumente, separa-se o escoamento superficial do escoamento subterrâneo (escoamento de base) por meio de técnicas de separação, como observado no hidrograma típico indicado na Figura 1.

Figura 1 - Hidrograma típico, incluído escoamento de base



Fonte: Gribbin (2009)

Nesse hidrograma, para separação, utiliza-se uma reta a partir do ponto no qual se inicia o ramo ascendente até o ponto de maior curvatura no lado de recessão. A área entre a curva do hidrograma e a contribuição subterrânea (escoamento de base) representa o volume do escoamento superficial direto, enquanto a área abaixo da linha do escoamento de base representa a contribuição subterrânea.

## 2.2.RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO TOTAL E EFETIVA

Kohler e Richards (1962 *apud* Tucci 2012) verificaram a relação entre precipitação total e a precipitação efetiva, durante uma cheia. Comparado com o método apresentado pelo SCS (Soil Conservation Service) os autores apresentaram a Equação 2.1:

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \quad (2.1)$$

Onde, “P<sub>ef</sub>” é a precipitação efetiva, “run off” ou chuva excedente, “P” é a precipitação analisada, “S” capacidade máxima de retenção de chuva da camada superior do solo. A Equação 2.6 só é válida se P > 0,2.S. Quando P < 0,2.S, Q = 0. A Equação 2.2 é utilizada para a determinação da capacidade máxima (S) de retenção de chuva da camada superior do solo, na qual CN é o número de curva (*curve number*), determinado pela Tabela 1 e Tabela 2.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2.2)$$

Tabela 1: Valores do parâmetro CN para bacias rurais

USO DO SOLO	SUPERFÍCIE	TIPOS DE SOLOS			
		A	B	C	D
<b>SOLO</b>	COM SULCOS RETILÍNEOS	77	86	91	94
<b>LAVRADO</b>	EM FILEIRAS RETAS	70	80	87	90
<b>PLANTAÇÕES</b>	EM CURVAS DE NÍVEL	67	77	83	87
<b>REGULARES</b>	TERRACEADO EM NÍVEL	64	76	84	88
	EM FILEIRAS RETAS	64	76	84	88
<b>PLANTAÇÕES</b>	EM CURVAS DE NÍVEL	62	74	82	85
<b>DE CEREAIS</b>	TERRACEADO EM NÍVEL	60	71	79	82
	EM FILEIRAS RETAS	62	75	83	87
<b>PLANTAÇÕES</b>	EM CURVAS DE NÍVEL	60	72	81	84
<b>DE LEGUMES</b>	TERRACEADO EM NÍVEL	57	70	78	89
<b>OU</b>	POBRES	68	79	86	89
<b>CULTIVADOS</b>	NORMAIS	49	69	79	94
	BOAS	39	61	74	80
<b>PASTAGENS</b>	POBRES, EM CURVAS DE NÍVEL	60	72	81	84
	NORMAIS, EM CURVAS DE NÍVEL	25	59	75	83
	BOAS, EM CURVAS DE NÍVEL	6	35	70	79
<b>CAMPOS</b>	NORMAIS	30	58	71	78
<b>PERMANENTES</b>	ESPARSAS, DE BAIXA TRANSPIRAÇÃO	45	66	77	83
	NORMAIS	36	60	73	79
	DENSAS, DE ALTA TRANSPIRAÇÃO	25	55	70	77

Continuação Tabela 1					
<b>CHÁCARAS</b>	NORMAIS	56	75	86	91
<b>ESTRADAS DE TERRA</b>	MÁS	72	82	87	89
	DE SUPERFÍCIE DURA	74	84	90	92
<b>FLORESTAS</b>	MUITO ESPARSAS, BAIXA TRANSPIRAÇÃO	56	75	86	91
	ESPARSAS	46	68	78	84
	DENSAS, ALTA TRANSPIRAÇÃO	26	52	62	69
	NORMAIS	36	60	70	76

Fonte: Tucci (2012)

Tabela 2: Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	TIPOS DE SOLO			
	A	B	C	D
ZONAS CULTIVADAS: SEM CONSERVAÇÃO DO SOLO	72	81	88	91
COM CONSERVAÇÃO DO SOLO	62	71	78	81
PASTAGENS OU TERRENOS EM MÁS CONDIÇÕES	68	79	86	89
BALDIOS EM BOAS CONDIÇÕES	39	61	74	80
PRADO EM BOAS CONDIÇÕES	30	58	71	78
BOSQUES OU ZONAS COBERTURA RUIM	45	66	77	83
FLORESTAIS: COBERTURA BOA	25	55	70	77
ESPAÇOS ABERTOS, REVALDOS, PARQUES, CAMPOS DE GOLF, CEMITÉRIOS, BOAS CONDIÇÕES				
COM RELVA EM MAIS DE 75% DA ÁREA	39	61	74	80
COM RELVA DE 50 A 75% DA ÁREA	49	69	79	84
ZONAS COMERCIAIS E DE ESCRITÓRIOS	89	92	94	95
ZONAS INDUSTRIAIS	81	88	91	93
ZONAS RESIDENCIAIS				
LOTES DE (m <sup>2</sup> )	% MÉDIA IMPERMEÁVEL			
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
PARQUES DE ESTACIONAMENTO, TELHADOS, VIADUTOS, ETC	98	98	98	98

<b>Continuação Tabela 2</b>				
ARRUAMENTO E ESTRADAS				
ASFALTADA E COM DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS	98	98	98	98
PARALELEPÍPEDOS	76	85	89	91
TERRA	72	82	87	89

Fonte: Tucci (2012)

O valor do número de curvas CN retrata as condições de cobertura e solo, variando desde uma cobertura muito impermeável até uma cobertura muito permeável. O valor de CN, tanto para bacias rurais e urbanas, depende do tipo de solo. Os tipos de solos identificados nas tabelas 1 e 2 são, segundo Tucci(2012):

- Solo A: Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração, em geral solos arenosos profundos com pouca argila e silte;
- Solo B: Solos menos permeáveis do que o solo tipo A, solos arenosos menos profundos e com permeabilidade superior à média;
- Solo C: Solos que geram escoamento acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média. Contém percentagens consideráveis de argila;
- Solo D: Solos contendo argilas expansíveis e pouco profundas com muito baixa capacidade de infiltração, gerando assim maior escoamento superficial.

### **2.3.DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL**

Eventos raros ou extremos têm grande importância na hidrologia, e as estimativas e probabilidades de ocorrência desses eventos são fundamentais para o planejamento e desenvolvimento de atividades ligadas à engenharia civil, visto que as mesmas estão sujeitas a efeitos de eventos adversos. Segundo Fisher-Tippett (1928 apud SANSIGOLO, 2008), foram definidos três tipos possíveis de distribuição desses valores extremos, são elas: Gumbel (TIPO I), Fréchet (TIPO II) e Weibull (TIPO III).

De acordo com Hershfield e Kohler (1960, apud SANSIGOLO, 2008), a distribuição de Gumbel é a mais adequada para estimar os eventos extremos ligados à precipitações com variadas durações e é utilizada para análise de frequência de enchentes e chuvas máximas. Segundo Houghtalen, Hwang e Akan (2013), a função densidade de probabilidade para essa distribuição é:

$$f_X(x)=(y) \{ \exp [-y(x-u)-\exp[-y(x-u)]] \} \quad (2.3)$$

Na qual  $y$  e  $u$  são parâmetros intermediários, definidos como:

$$y = \frac{\pi}{s \times \sqrt{6}} \quad (2.2) \quad \text{e} \quad u = m - 0,45 \times s \quad (2.4)$$

Sendo que  $m$  e  $s$  representam a média e o desvio padrão da amostra, respectivamente.

## 2.4.RELAÇÃO ENTRE DURAÇÕES DAS CHUVAS

A previsão da frequência de ocorrência local de chuvas máximas é possível ser feita por meio da análise de distribuição de Gumbel. No entanto, há uma escassez quanto ao conhecimento suas características pelo fato das mesmas serem obtidas de pluviogramas, os quais nem sempre estão disponíveis. Geralmente os dados disponíveis em pluviômetros são relativos a uma chuva de duração de 24h, e por meio do estabelecimento de relações de intensidade-duração-frequência é possível a fragmentação das durações em períodos menores. (VILLELA e MATTOS, 1975 *apud* CARDOSO, 1998).

Independente do período de retorno, as chuvas máximas de 24h tendem a relações constantes ( $r$ ), expressas pela Equação 2.5:

$$r_{\frac{t1}{t2}} = \frac{\text{precipitação de duração } t1}{\text{precipitação de duração } t2} \quad (2.5)$$

A Tabela 3 mostra a relação entre as chuvas no Brasil e alguns valores para os Estados Unidos para o método de Denver e U.S.W. Bureau. Os valores para o Brasil foram elaborados por Magni (1984 *apud* Tomaz 2002).

Tabela 3: Relação entre durações de chuvas

RELAÇÃO	BRASIL	ESTADOS UNIDOS	ESTADOS UNIDOS
5min/30min	0,34	0,37	0,42
10min/30min	0,532	0,57	0,63
15min/30min	0,693	0,72	0,75
20min/30min	0,817		0,84
25min/30min	0,918		0,92
30min/1h	0,74	0,79	



<b>Continuação Tabela 3</b>		
1h/24h	0,573	
2h/1h	1,119	
6h/24h	0,78	
8h/24h	0,821	
10h/24h	0,855	
12h/24h	0,883	
24h/1dia	1,14*	1,13

\*Valor Cidade de São Paulo

FONTE: Adaptado de Tucci (2012)

Analisando a Tabela 3, é notável que as relações de diferentes durações são bastante próximas e, portanto aplicáveis também para outros lugares.

## 2.5.EQUAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

A medição da precipitação é feita de forma pontual por meio de pluviógrafos e pluviômetros, que possuem área de captação reduzidas, cerca de 200 ou 400 cm<sup>2</sup> (SUDERHSA, 2002). Os dados pluviométricos e pluviográficos constituem fontes indispensáveis de informações para qualquer característica de chuva pontual considerada no projeto.

Para o desenvolvimento do estudo da drenagem de água pluvial, deve-se sintetizar os dados obtidos por meio de informações pluviográficas, na forma de relações de intensidade-duração-frequência, chamadas de curvas IDF, as quais fornecem a intensidade da chuva para uma duração e período de retorno específico.

Segundo o Manual de drenagem urbana (SUDERHSA, 2002):

“As precipitações de projeto podem ser constantes ou variadas ao longo de sua duração. A precipitação de projeto constante é normalmente aplicada a projetos de microdrenagem (áreas menores que 2 km<sup>2</sup>) definida para aplicação do Método Racional. A precipitação de projeto variada no tempo (hietograma de projeto, onde as lâminas de precipitação variam de Dt para Dt ao longo da duração D) é adequada para projetos de redes pluviais de macrodrenagem (áreas superiores a 2 km<sup>2</sup>), a partir da aplicação de um Hidrograma Unitário.”

Através dessas curvas, é possível também obter-se a lâmina ou altura de precipitação por meio da multiplicação da intensidade, obtida da IDF, pela sua duração correspondente.

A cidade de Uberlândia/ MG possui alguns postos pluviométricos, entre eles um situado no Parque do Sabiá e outro na Universidade Federal de Uberlândia, ambos localizados à microbacia do córrego do Jataí, área de estudo do presente trabalho. Justino (2004), utilizando o método de distribuição de Gumbel, analisou a frequência de chuvas empregando 19 séries anuais dos citados postos, apresentando, assim, a Equação 2.6 para chuvas com durações menores ou iguais a 120 minutos na cidade de Uberlândia.

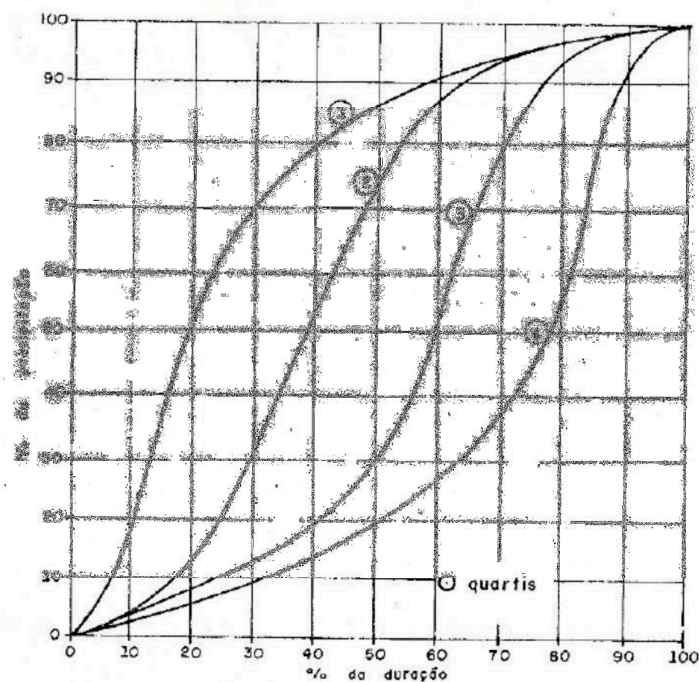
$$I = \frac{28,97 * T_R^{0,159}}{(t+14)^{0,825}} \quad (2.6)$$

Na qual, “T” é a intensidade da precipitação em mm/h, “Tr” representa o período de retorno em anos e a duração da chuva é dada por “t” em minutos.

## **2.6.DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DE CHUVAS**

Huff (1970 apud Tucci 2012) realizou estudo em que utilizou os registros de 11 anos de 49 postos do estado de Illinois nos Estados Unidos, para determinar as características da distribuição temporal. Huff (1970) classificou as precipitações em quatro grupos, cada precipitação intensa teve sua duração total dividida em quatro partes, denominadas quartis, e cada quartil foi classificado de acordo com a precipitação máxima que caiu. Para cada quartil foi realizada uma análise estatística obtendo-se sua distribuição temporal. A Figura 2 mostra as curvas obtidas por Huff (1970) com probabilidade de 50% para cada quartil.

Figura 2 - Curvas de probabilidade de 50% de ocorrência para quatro quartis de Huff (1970)



Fonte: TUCCI (2012)

Utilizando-se, então, o gráfico de distribuição temporal de chuvas pelo método de Huff é possível estabelecer, para cada percentual de duração de chuva, o percentual de chuva acumulada total e o percentual de chuva acumulado por intervalo de tempo.

O Quadro 1 mostra os valores em percentagem para cada quartil:

Quadro 1: Distribuição de cada quartil

% Tempo	Quartil 1	Quartil 2	Quartil 3	Quartil 4
0	0	0	0	0
5	16	3	3	2
10	33	8	6	5
15	43	12	9	8
20	52	16	12	10
25	60	22	15	13
30	66	29	19	16
35	71	39	23	19
40	75	51	27	22
45	79	62	32	25
50	82	70	38	28
55	84	76	45	32
60	86	81	57	35
65	88	85	70	39
70	90	88	79	45

Continuação Quadro 1				
75	92	91	85	51
80	94	93	89	59
85	96	95	92	72
90	97	97	95	84
95	98	98	97	92
100	100	100	100	100

Fonte: Adaptada de Tomaz (2002)

Segundo Tomaz (2002), Huff em 1990 classificou como pequenas bacias aquelas menores que 1036 km<sup>2</sup>. Para estas, demonstrou o tempo de chuva para cada quartil:

- Primeiro quartil: Chuvas menores ou iguais a 6hs de duração;
- Segundo quartil: chuvas de 6h, 1h e 12h;
- Terceiro quartil: chuvas entre 12h, 1h e 24h;
- Quarto quartil: chuvas maiores que 24h.

## 2.7.MÉTODO SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)

O método do Soil Conservation Service (SCS) foi desenvolvido pelo serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América. Tal método fundamenta-se em um parâmetro que busca descrever o tipo de uso de solo e a condição da superfície do terreno, em relação ao potencial de gerar escoamento superficial. Tal parâmetro é o *curve number* (CN), o qual varia entre zero e 100, visto que zero representa uma bacia de condutividade hidráulica infinita e 100 é o valor de uma bacia cujo terreno encontra-se totalmente impermeável.

Assim tal método, associado ao mapa de uso e ocupação do solo permite a identificação do CN referente a bacia estudada.

## 2.8.VAZÃO MÁXIMA

A vazão máxima é o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. Hidrograma é a sequência temporal de vazões relacionadas a risco de ocorrência. (TUCCI, 2012).

A vazão máxima é utilizada na previsão de enchentes e nos projetos de obras hidráulicas tais como condutos, canais, bueiros etc. Já o hidrograma analisa o volume, sua distribuição

temporal e o pico. O hidrograma é necessário para o dimensionamento de obras hidráulicas como reservatório e ensecadeiras e drenagem urbana de áreas maiores que 2 km<sup>2</sup>.

Sokolov et al (1975 *apud* TUCCI 2012) diz que quando uma grande inundação pode causar danos à vida e à propriedade, a cheia de projetos deve ser estimada com base na precipitação máxima provável. Quando há menor potencial de dano, as cheias são definidas com base nos aspectos econômicos e político-sociais.

A vazão máxima pode ser estimada com base no ajuste de uma distribuição estatística, na regionalização de vazões e nas precipitações (TUCCI, 2012).

A vazão máxima com base em série histórica faz uso de séries amostrais, podendo ser tais amostras anuais ou parciais. As series anuais são as vazões máximas ocorridas em cada ano. As séries parciais são os valores máximos em uma vazão selecionada.

## **2.9.HIDROLOGIA URBANA**

A Hidrologia é ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas (CHOW, 1959 *apud* TUCCI, 2012). A Hidrologia Urbana estuda a ocorrência da água em bacias urbanizadas, com foco nos efeitos causados pelo uso e ocupação do solo.

### **2.9.1. CICLO HIDROLÓGICO**

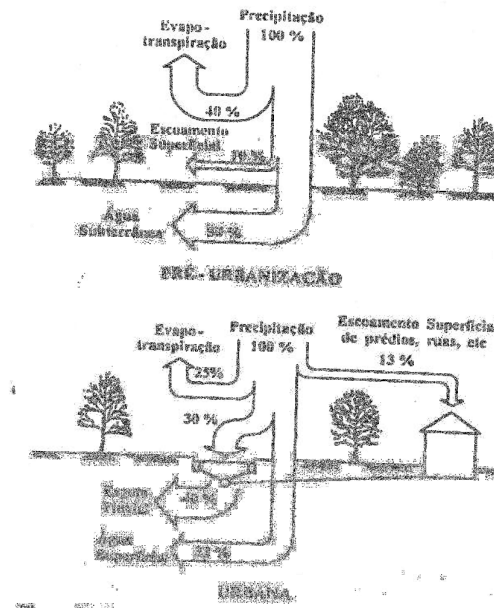
Segundo Tucci (1995), o ciclo hidrológico pode ser entendido como o “fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar, associada à gravidade e à rotação da Terra”. Gribbin (2009), comenta que apesar de complexo em seu funcionamento, o ciclo hidrológico pode ser explicado em seis etapas:

- A água evapora dos oceanos e lagos da terra;
- A água evaporada forma nuvens;
- As nuvens deslocam-se pela atmosfera em padrões climáticos globais;
- O vapor da água se condensa e se precipita na forma de chuva, neve ou granizo;
- A chuva chega ao solo e escoar por ele até pequenos córregos;
- Os córregos escoam para os rios e, finalmente, para os oceanos e os lagos.

Observa-se que o caminho natural da água, após precipitada, são córregos, rios ou lagoas. Gribbin (2009) indica que os córregos e rios são alimentados pela chuva de três maneiras: pelo escoamento superficial, pelo escoamento de água no subsolo e pelo lençol freático.

Gribbin (2009) destaca que o constante escoamento aos cursos d'água devido ao fornecimento de água do subsolo é denominado escoamento de base, enquanto a onda rápida decorrente do escoamento sobre o solo é chamada escoamento superficial. Na Figura 3 está indicado um esquema das características do balanço hídrico numa bacia urbana.

Figura 3 - Características do balanço hídrico numa bacia urbana.



Fonte: TUCCI (1995)

Tucci (1995) observa que o balanço hídrico é alterado com a urbanização, de forma que o escoamento superficial é aumentado, enquanto a recarga natural dos aquíferos e a evapotranspiração é reduzida. Tais alterações se dão em grande parte pela alta taxa de impermeabilização do solo e pela redução do tempo de concentração da bacia, ligada diretamente ao conceito de drenagem higienista (rápido escoamento das águas pluviais).

## 2.10. MORFOLOGIA URBANA

Segundo Lamas (1993), a morfologia é a ciência responsável pelo estudo das formas, interligando-as com os fenômenos que as originaram; e a morfologia urbana refere-se ao

estudo da configuração e da estrutura exterior de uma cidade. Assim, a Morfologia Urbana é o estudo da forma do meio urbano nas suas partes físicas exteriores e na sua produção e transformação no tempo.

A forma urbana por sua vez pode ser entendida como o modo como se organizam os elementos morfológicos que constituem e definem o espaço urbano. Lamas (1993) destaca quatro importantes aspectos: quantitativos, de organização funcional, figurativos e qualitativos. Esses aspectos qualitativos serão os analisados nesse trabalho e se referem ao tratamento dado aos espaços, o que interfere no conforto do usuário. A forma como se relacionam os diversos espaços urbanos garantem ou não a qualidade do espaço urbano.

Liu e Wong (2014) analisaram, por meio de simulações computadorizadas, doze ruas idênticas dispostas paralelamente, submetidas a uma carga de vento transversal ao eixo das ruas. Na primeira rua simulou-se uma fonte poluidora, tal como veículos; e por meio de métodos numéricos o transporte dos poluentes gerados na primeira rua. Os autores concluíram que a morfologia experimentada, comum aos meios urbanos modernos, gerou uma diminuição da velocidade dos ventos nas ruas após à primeira rua, o que ocasionaria uma menor retirada de poluentes das ruas seguintes.

Liu e Wong (2014) reforçam o apontado por Lamas (1993) no que tange aos aspectos qualitativos, uma vez que o espaço urbano gera uma rugosidade à cidade, de forma que até mesmo os ventos são alterados pela morfologia urbana. Assim, uma morfologia composta por superfícies de concreto pode acelerar os ventos sobre o meio urbano, bem como uma superfície dotada de vegetação pode reduzir as velocidades incidentes e torna-los mais úmidos por exemplo.

O desenvolvimento urbano brasileiro, em apenas 40 anos, de 1940 até 1980, pautou-se na passagem de um país predominantemente rural para um país majoritariamente urbano. Esta rápida transformação, impulsionada pela migração de pessoas de baixa renda (ROLNIK, 2011), foi baseada em um modelo de desenvolvimento urbano que as privou de condições básicas de urbanidade, e não foram de fato inseridas nas cidades. Segundo Rolnik (2011), com o grande crescimento urbano, em curto período de tempo, as qualidades urbanísticas se acumularam em setores das cidades, de forma que apenas uma minoria da população possui acesso a elas.

Para Rolnik (2011), as cidades no Brasil são ambientes restritivos, de forma que as áreas urbanas de qualidade são restringidas às minorias de maior poder aquisitivo, gerando e incentivando a existência de ocupações irregulares e informais, o que por sua vez tornam as cidades ainda mais desprovidas de qualidade urbanística. Observa-se que existe uma relação entre a falta de um planejamento urbano adequado à realidade de cada cidade e a manutenção de suas desigualdades.

## **2.11. ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

O escoamento superficial é a ocorrência e o transporte de água na superfície terrestre. É a fase do ciclo hidrológico que o presente trabalho investiga e se refere à parcela que se desloca livremente pela superfície até um rio. (VILLELA & MATTOS, 1975)

Em escoamento superficial pode-se citar o hidrograma, por se tratar de um Gráfico que relaciona a vazão entre o escoamento e o tempo para um determinado evento de chuva (TUCCI, 2012).

O escoamento depende de vários fatores, entre os quais citam-se:

- **Relevo:** O relevo da bacia influencia na capacidade de drenagem e escoamento. A densidade de drenagem, declividade do rio ou bacia, capacidade de armazenamento são componentes do relevo que influenciam o escoamento. Existem bacias com grande declividade que apresentam boa drenagem e bacias com baixa declividade que tendem a ter grandes áreas de inundação e armazenam águas por longos períodos, como a região do Pantanal.
- **Cobertura da bacia:** A cobertura da bacia pode ser natural ou artificial. O tipo de cobertura pode retardar o escoamento e favorecer a evapotranspiração no ciclo hidrológico. Já em áreas urbanas impermeabilizadas há um aumento do escoamento e seu pico é atingido de forma mais rápida.
- **Modificações artificiais do rio:** São provocadas pela ação humana, entre as quais estão a canalização ou o represamento. A canalização de um rio aumenta o pico de vazão pela diminuição da seção transversal do escoamento. Já o seu represamento regulariza a vazão pela diminuição da velocidade com as barreiras construídas.



- Distribuição, duração e intensidade da precipitação: Estes fatores influenciam e são fundamentais no comportamento do escoamento. Por exemplo, as chuvas convectivas, por serem mais intensas, podem provocar grandes enchentes em bacias pequenas.
- Solo: O solo influencia no escoamento resultante de uma precipitação. O seu estado de umidade e saturação desempenha papel fundamental. Em bacias pequenas, grande parte do escoamento superficial ocorre sobre o solo. (TUCCI, 2012)

Dessa forma a análise do escoamento superficial, bem como o conhecimento dos aspectos que o influenciam, são necessários ao estudo das soluções relativas a cada situação.

## **2.12. ENCHENTES URBANAS**

As enchentes são provocadas por diversos fatores, entre eles a impermeabilização do solo e o aumento dos volumes escoados através de condutos e canais. Pode-se dizer que as enchentes na área urbana ocorrem quando a capacidade de infiltração da bacia é reduzida, o que acontece geralmente, pela alta taxa de impermeabilização do solo. (TUCCI, 1995)

## **2.13. DRENAGEM URBANA**

O termo drenagem urbana é entendido, em um sentido mais amplo, como “o conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável” (TUCCI, 2012).

Segundo Tucci (2012), as soluções aplicadas à drenagem urbana, para se tornarem eficazes, dependem de alguns fatores; entre eles devem ser estabelecidos os objetivos e os meios utilizados para alcançá-los. Além disso há outros fatores como a articulação de uma política de ocupação do solo com a de drenagem urbana; um planejamento que contemple medidas de curto, médio e longo prazos em toda a bacia; e o conhecimento e domínio da tecnologia adequada para o planejamento, projeto, construção e operação das obras. É importante ainda ressaltar que a organização de campanhas de educação e de esclarecimento da opinião pública é fator importante para uma solução adequada de drenagem urbana.

Tucci (2012) aponta que, durante muito tempo, o objetivo principal da drenagem urbana foi o de remover as águas pluviais em excesso da forma mais eficiente possível para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações. Observa-se que seguindo este pensamento, na

drenagem tradicional de águas pluviais urbanas, o escoamento superficial é captado e transferido de forma rápida a jusante da captação, assim o problema em diversas vezes apenas transferido de um local a outro. A abordagem da drenagem tradicional, então, limita-se à aspectos sanitários e de higiene, não priorizando os ambientais.

Já a drenagem urbana moderna possui como principal enfoque a manutenção e recuperação de ambientes saudáveis interna e externamente à área urbana, fugindo, assim, do chamado enfoque sanitário-higienista, e adotando o conceito com enfoque ambiental (TUCCI, 1995).

Segundo Tucci (1995), a drenagem urbana moderna está pautada nos seguintes princípios:

- Não transferir impactos para jusante;
- Não ampliar cheias naturais;
- Propor medidas de controle para o conjunto da bacia;
- Legislação e Planos de Drenagem para o controle e orientação;
- Constante atualização do planejamento por estudos de horizontes de expansão;
- Controle permanente do uso do solo e de áreas de risco;
- Competência técnico-administrativa dos órgãos públicos gestores;
- Educação ambiental qualificada para o poder público, para a população e para o corpo técnico.

Assim, a ideia do “livrar-se das águas pluviais o mais rápido possível” (enfoque sanitário-higienista) é abandonada e cede lugar à do “re-equilíbrio do ciclo hidrológico para mais perto do natural” ao se trazer o enfoque para os aspectos ambientais.

O enfoque sanitário-higienista está ainda muito presente em nossa sociedade. Em consequência à este posicionamento, as obras hidráulicas que surgiram foram as de escoamento rápido como condutos, canais e galerias, que em sua maioria geraram retificação dos córregos e rios urbanos. E a regra de livrar-se rapidamente das águas pluviais aplica-se à drenagem pública e também à drenagem de propriedades privadas. Em contrapartida, o enfoque da drenagem urbana moderna está diretamente ligado a gestão de impactos do meio urbano sobre o meio-ambiente hidrológico. Essa abordagem transcende um simples conjunto de diretrizes padrões, de forma que a abordagem sobre a drenagem deve ser complexa, incluindo aspectos técnicos de engenharia, urbanismo, sanitários, ecológicos, legais e econômicos.

### **2.13.1. MEDIDAS DE CONTROLE NA DRENAGEM**

As medidas de controle de inundação podem ser classificadas em estruturais e não-estruturais. As medidas estruturais podem ainda ser divididas em distribuídas ou na fonte, na microdrenagem e na macrodrenagem. (SUDERHSA, 2002)

Segundo Tucci (1995), as ações públicas para as soluções desses problemas no Brasil estão voltadas, na maioria das vezes, somente para as medidas estruturais. Ainda segundo Tucci (1995), as soluções, geralmente encontradas por parte do poder público, têm sido as redes de drenagem, que simplesmente transferem a inundação de um ponto para outro a jusante na bacia sem que avaliem os reais benefícios da obra. Dessa forma, as redes de drenagem resolvem apenas o problema local.

### **2.13.2. MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS**

São medidas, ações, com caráter preventivo. Entre estas medidas citam-se as leis de uso e ocupação do solo, a fiscalização das leis relativas às taxas de impermeabilização do solo, a educação ambiental, entre outras medidas. Estas ações abrangem os mecanismos de definição dos princípios básicos referentes à drenagem moderna mencionados anteriormente, as maneiras de respeitá-los, e a preparação da sociedade para que os mesmos venham a ser implantados e obedecidos (SUDERHSA, 2002).

O Manual de drenagem urbana da SUDERHSA (2002), aponta que os princípios básicos das medidas de controle não-estruturais podem ser divididos em dois tipos básicos: legislação e normas e procedimentos técnicos. Sendo, o primeiro, basicamente alusivo à legislação municipal (parcelamento do solo, uso e ocupação do solo, plano diretor, plano diretor de drenagem urbana, código de obras e demais legislações correlatas), e o segundo destinado aos agentes técnicos, para que a concepção da drenagem siga os princípios básicos.

### **2.13.3. MEDIDAS ESTRUTURAIS**

As medidas estruturais, geralmente, são aquelas em que a característica principal é o emprego de obras e técnicas da engenharia usadas para o controle de possíveis enchentes, como pode ser observado no Quadro 2. É válido ressaltar que este tipo de medida é aplicado em um cenário onde existe enchente, assim o seu caráter se torna corretivo, e não preventivo.

Quadro 2 – Medidas estruturais básicas de controle na drenagem

Obra	Característica Principal	Variantes	Função	Efeito
Pavimento Poroso	Pavimento com camada de base porosa como reservatório	Revestimento superficial pode ser permeável ou impermeável, com injeção pontual na camada de base porosa. Esgotamento por infiltração no solo ou para um exutório	Armazenamento temporário da chuva no local do próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas
Trincheira de infiltração	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Trincheira de infiltração no solo ou de retenção, com esgotamento por um exutório	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área adjacente
Vala de infiltração	Depressões lineares em terreno permeável	Vala de infiltração efetiva no solo ou vala de retenção sobre solo pouco permeável	Infiltração no solo, ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha
Poço de Infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Poço preenchido com material poroso ou sem preenchimento, revestido. Poço efetivamente de infiltração ou de injeção direta no freático	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado na área contribuinte ao poço
Microrreservatório	Reservatório de pequenas dimensões tipo 'caixa d'água' residencial	Vazio ou preenchido com material poroso. Com fundo em solo ou vedado, tipo cisterna	Armazenamento temporário do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas
Telhado reservatório	Telhado com função reservatório	Vazio ou preenchido com material poroso	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação
Bacia de detenção	Reservatório vazio (seco)	Reservatório sobre leito natural ou escavado. Com leito em solo permeável ou impermeável, ou com leito revestido	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Bacia de retenção	Reservatório com água permanente	Reservatório com leito permeável (freático aflorante) ou com leito impermeável	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Bacia subterrânea	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Reservatório vazio, tampado e estanque. Reservatório preenchido com material poroso	Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Condutos de armazenamento	Condutos e dispositivos com função de armazenamento	Condutos e reservatórios alargados. Condutos e reservatórios adicionais em paralelo	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial	Amortecimento do escoamento afluente à macrodrenagem
Faixas gramadas	Faixas de terreno marginais a corpos d'água	Faixas gramadas ou arborizadas	Áreas de escape para enchentes	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais

Fonte: SUDERHSA (2002)

As medidas de controle estruturais podem ser classificadas, conforme sua ação, em distribuídas ou na fonte, na microdrenagem e na macrodrenagem (TUCCI, 1995; SUDERHSA, 2002). As medidas de controle distribuídas ou na fonte são aquelas que atuam

no lote, nas praças e nos passeios. As medidas na microdrenagem atuam sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos. E as medidas na macrodrenagem atuam no controle dos principais rios urbanos.

Segundo Tucci (1995) as medidas de controle estruturais podem ainda ser organizadas, segundo sua ação no hidrograma, em:

- **Medidas de infiltração ou percolação:** objetivam possibilitar maior infiltração e percolação da água no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial.
- **Medidas de armazenamento:** através de reservatórios, que podem ser desde residenciais (1 a 3 m<sup>3</sup>), até terem porte para a macrodrenagem urbana (alguns milhares de m<sup>3</sup>). O efeito do reservatório urbano é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico de cheias nos canais e distribuindo a vazão no tempo.
- **Medidas de aumento da eficiência do escoamento:** através de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção.
- **Diques e estações de bombeamento:** solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuam espaço para amortecimento da inundação.

Segundo o Manual de Drenagem Urbana da SUDERHSA (2002), os principais dispositivos para criar maior infiltração são:

- **Planos de infiltração:** existem vários tipos, de acordo com a sua disposição local. Em geral, são áreas gramadas que recebem águas pluviais oriundas de áreas impermeáveis, como pátios ou telhados. Durante precipitações intensas, estas áreas podem ficar submersas, se a sua capacidade for muito inferior à intensidade da precipitação. Caso a drenagem transporte muito material fino, a capacidade de infiltração pode ser reduzida, o que pode ser evitado com limpezas periódicas dos planos de infiltração.
- **Valas de infiltração:** estes são dispositivos de drenagem lateral, muitas vezes utilizados paralelamente às ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais, entre outros. Estas valas concentram o fluxo das áreas adjacentes e criam condições

para uma infiltração ao longo do seu comprimento. Após uma precipitação intensa o nível sobe e, como a infiltração é mais lenta, mantém-se com água durante algum tempo. Portanto, o seu volume deve ser o suficiente para não ocorrer alagamento. Este dispositivo funciona, na realidade, como um reservatório de detenção, à medida que a drenagem que escoar para a vala é superior à capacidade de infiltração. Nos períodos com pouca precipitação ou de estiagem, ele é mantido seco. Este dispositivo permite, também, a redução da quantidade de poluição transportada a jusante.

- **Pavimentos permeáveis:** o pavimento permeável pode ser utilizado em passeios, estacionamentos, quadras esportivas e ruas de pouco tráfego. Em ruas de grande tráfego, este pavimento pode ser deformado e entupido, tornando-se impermeável. Este tipo de pavimento pode ser de concreto ou de asfalto e é construído da mesma forma que os pavimentos tradicionais, com a diferença que o material fino é retirado da mistura. Além destas superfícies tradicionais, existem os pavimentos construídos com módulos de blocos de concretos vazados.

Ainda segundo o Manual de drenagem (SUDERHSA, 2002), o armazenamento de água da chuva pode ser efetuado em telhados, em pequenos reservatórios residenciais, em estacionamentos e em áreas esportivas, entre outros. O armazenamento em telhados apresenta algumas dificuldades, que são a manutenção e o reforço das estruturas. Devido às características de clima brasileiro e aos materiais usualmente utilizados nas coberturas, esse tipo de controle dificilmente seria aplicável à nossa realidade. Já o armazenamento em lotes urbanos pode ser utilizado para amortecer o escoamento, em conjunto com outros usos, como abastecimento de água, irrigação de grama e lavagem de superfícies ou de automóveis.

Conforme analisado, segundo Canholi (2005), na maioria das vezes estas medidas apenas transferem a carga pluvial para locais mais a jusante, assim existe uma transferência do problema estudado, e não uma solução mais adequada. Em compensação, Araujo, Tucci e Goldenfum (2000) apontam que a tendência de enfoque na área de drenagem urbana é a utilização de dispositivos capazes de potencializar a infiltração e, conseqüentemente, retardarem o escoamento superficial, buscando a manutenção das condições do escoamento em bacias urbanas.

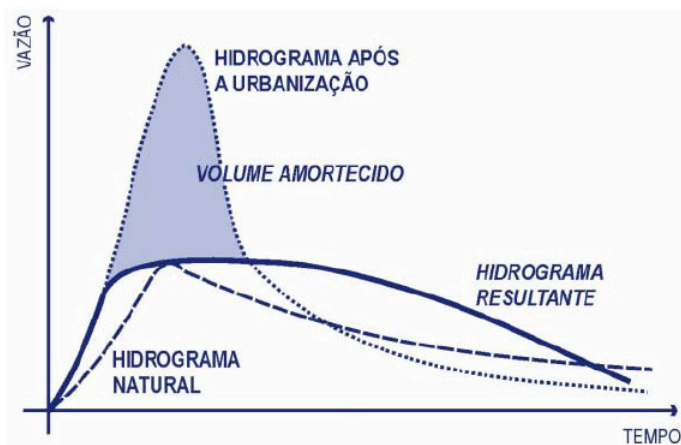
#### 2.13.4. RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

A retenção de águas pluviais tem por princípio o armazenamento temporário do escoamento superficial e posterior liberação controlada do volume retido, garantindo desta maneira uma redução e o controle da vazão afluente abrandando, desta maneira, os efeitos destrutivos do escoamento. Segundo Gribbin (2009), um reservatório de águas pluviais é o volume de água temporariamente armazenado em bacias de detenção durante um evento de chuva, as quais são utilizadas para reduzir a vazão máxima afluente. Gribbin (2009) cita ainda dois tipos de reservatórios de detenção, um feito por bacias alagadas, onde o volume acima do nível de água permanente é o volume armazenado; e o reservatório habitual, aquele que se constrói por meio de escavação em um determinado local. Um outro termo aplicado à retenção de águas pluviais é o termo bacias de detenção. Bacias de detenção, segundo Gribbin (2009).

Uma bacia de detenção possui a vantagem de atuar no controle de sólidos suspensos nas águas pluviais, bem como promoverem por meio da infiltração a recarga de aquíferos, por isso em algumas bibliografias o termo bacias de detenção é denominado bacias de detenção e infiltração.

Segundo Gribbin (2009), o uso de uma bacia de detenção no gerenciamento de águas pluviais objetiva amenizar efeitos adversos da ocupação urbana por meio do controle da vazão de pico, do volume decorrente do escoamento superficial, da qualidade das águas pluviais e promoção da recarga dos aquíferos pelas águas pluviais, conforme exposto pela Figura 4.

Figura 4 - Amortecimento em reservatórios urbanos.



FONTE: Manual de drenagem urbana (SUDERHSA, 2002)

A redução da vazão efluente máxima se dá pelo armazenamento temporário das águas pluviais na bacia de retenção, porém este é o efeito primário da bacia. O armazenamento, e o processo de liberação, geralmente realizado por orifícios e vertedores, tendem a reter os sólidos suspensos nas águas pluviais. É durante o armazenamento, caso a bacia seja permeável, que parte da água detida se infiltra no solo, o que leva ao controle do volume decorrente do escoamento superficial, bem como a recarga do aquífero.

Segundo Gribbin (2009), a maioria das bacias de retenção é projetada em modelo a céu aberto no solo, com ou sem reservatório de fundo, porém, quando não se dispõe de espaço adequado, a bacia de retenção pode ser composta por tubos de grandes diâmetros ou câmaras subterrâneas.

Um conceito que se deve trabalhar ainda é o de bacias de retenção local. Segundo Gribbin (2009), a retenção local serve para proteger áreas circunvizinhas dos efeitos da ocupação urbana. Observa-se que um escoamento mais intenso ocasiona danos às construções, assim uma bacia de retenção local visa uma proteção local, consequência de tal proteção local é o tamanho reduzido da bacia de retenção.

Pode-se citar ainda outras medidas de controle do escoamento superficial, como é o caso da utilização de pavimentos porosos, trincheiras de infiltração, poços de infiltração, micro reservatórios e telhados reservatórios, variações das bacias de retenção e infiltração.

### 2.13.5. URBANIZAÇÃO x DRENAGEM URBANA

Com a significativa taxa de crescimento da população, e por consequência o aumento das superfícies impermeáveis das áreas urbanas, observa-se, segundo Tucci(1995), alterações em alguns parâmetros tais como aumento das vazões máximas, redução do tempo de concentração e aumento do volume escoado, o que ocasiona inúmeras inundações nos centros urbanos. Além da impermeabilização das superfícies, o Quadro 3 aponta outras causas e os respectivos efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas.

Quadro 3 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas

CAUSAS	EFEITOS
IMPERMEABILIZAÇÃO	MAIORES PICOS E VAZÕES
REDES DE DRENAGEM	MAIORES PICOS A JUSANTE



<b>Continuação Quadro 3</b>	
LIXO	DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA
	ENTUPIMENTO DE GALERIAS E BUEIROS
REDES DE ESGOTOS 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

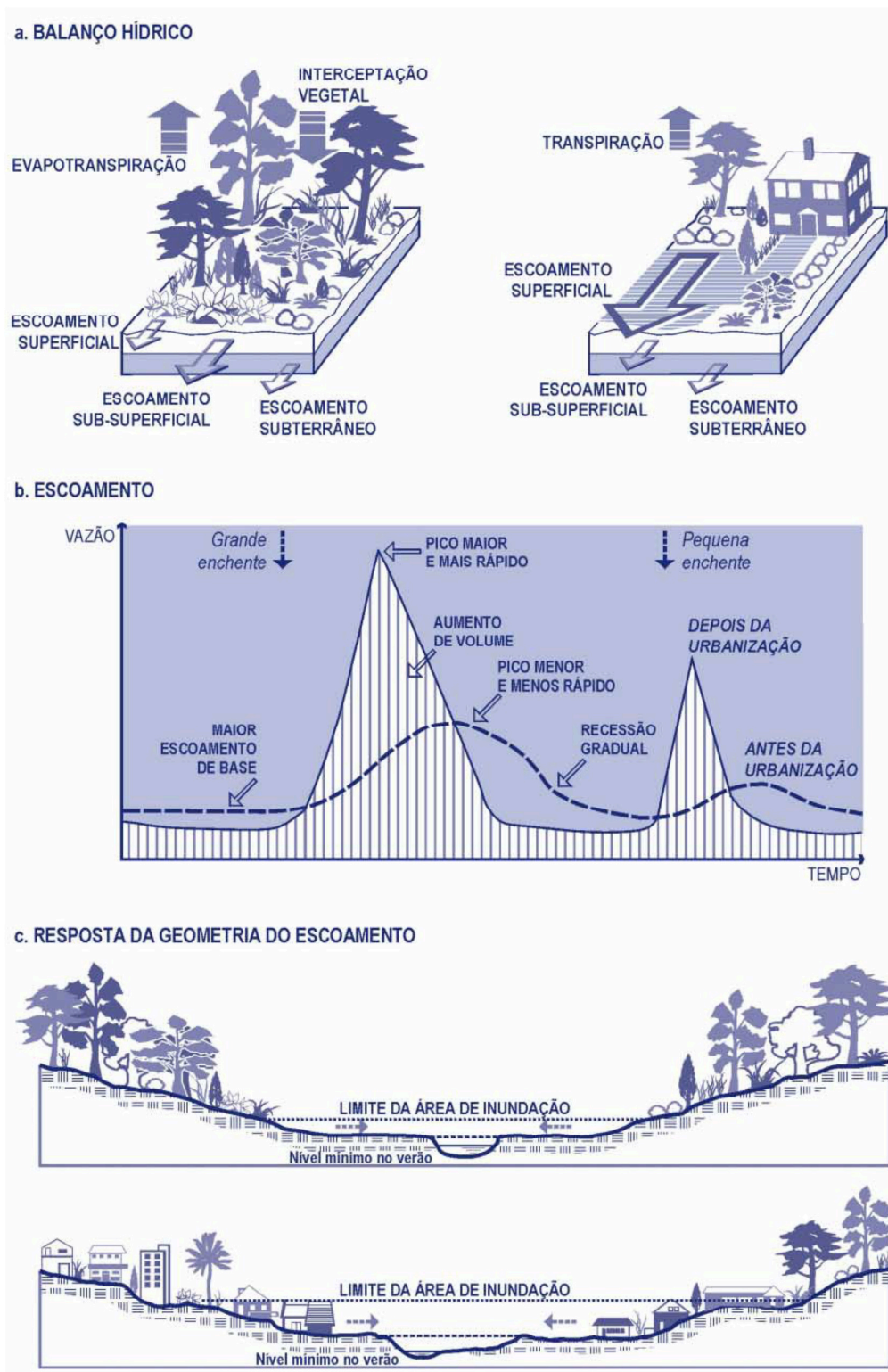
Fonte: Tucci (2012)

Segundo Tucci (2012), em casos extremos, o pico de cheia numa bacia urbanizada pode chegar a 6 vezes o pico de cheia nesta mesma bacia em condições naturais. Ele aponta que as consequências da urbanização sobre o clima, contrariamente aos impactos hidrológicos, são de pequena escala, mas podem a longo prazo, introduzir alterações significativas no balanço hídrico, com impactos inclusive sobre a qualidade das águas.

A urbanização acarreta também impactos como a ocupação extensa e adensada, dificultando a construção de canalizações e eliminando áreas de armazenamento, o que afeta diretamente o ciclo hidrológico. (TUCCI, 2012)

A Figura 5 apresenta algumas mudanças ocorridas em função da alteração do tipo de ocupação de uma área, especificamente da ocupação rural para uma ocupação urbana, com aumento da área impermeável da bacia ocupada, redução da área verde e consequente aumento da parcela escoada superficialmente e aumento da área de inundação.

Figura 5 - Características das alterações de uma área rural para urbana



Fonte: Schueler (1987)

Como mencionado anteriormente, e observado na Figura 5, a introdução da superfície impermeável implica num pico maior e mais rápido das cheias, gerando assim o aumento considerável no volume quando comparado à superfície permeável, anterior à urbanização.

## **2.14. INFRAESTRUTURA VERDE NO CENÁRIO URBANO**

O controle de águas pluviais pode ser feito de diversas maneiras, por meio de medidas estruturais, de caráter corretivo por meio do emprego de técnicas da engenharia, e por meio de medidas não-estruturais, ações preventivas por meio das leis, por exemplo.

O conceito de infraestrutura verde está intimamente ligado ao controle de águas pluviais. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency* – USEPA) e a Aliança Americana para a Água Limpa (*Clean Water America Alliance* - CWAA), infraestrutura verde é “um conjunto de técnicas, tecnologias, abordagens de gestão e práticas que podem ser usados para eliminar ou reduzir a quantidade de águas pluviais”.

Segundo Almeida et al. (2014), a infraestrutura verde é uma rede ecológica urbana que reestrutura a paisagem e imita os processos naturais, a fim de manter ou restaurar a função do ecossistema urbano. Desta maneira, a infraestrutura verde ajuda a prevenir ou minimizar inundações e ilhas de calor, bem como reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Segundo Norton et al. (2015), a infraestrutura verde pode ser definida como uma rede de espaços verdes planejados ou não, e que abrange as esferas pública e privada, gerenciada de forma a garantir uma gama de benefícios. Assim, uma variedade de estruturas pode compor uma infraestrutura verde, como a própria vegetação nativa remanescente, parques, jardins públicos e privados, campos de golfe, a vegetação urbana, telhados verdes, fachadas verdes e jardins de chuvas, entre outros exemplos.

Pode-se atribuir às teorias práticas acerca do planejamento urbano surgidas no século XX as raízes do conceito de infraestrutura verde, incluído as visões do arquiteto e paisagista Frederick Law Olmsted (NEWEL et al., 2013), conhecido por criar diversos parques, entre eles o *Central Park* de Nova Iorque. Tal conceito foi de fácil aceitação no planejamento

urbano, contudo o termo passou a ter diversas definições, mostrando-se um conceito ambíguo, adotado por diferentes áreas do conhecimento (NEWEL et al., 2013).

Diversas são as formas de se utilizar infraestruturas verdes no projeto de drenagem pluvial, entre elas citam-se os jardins de chuva, pavimentos permeáveis e reservatórios de contenção e retenção de águas pluviais. Um estudo realizado por Baptiste, Foley e Smardon (2015) levantou, por meio de uma pesquisa porta-a-porta, a vontade e o conhecimento da população de dois bairros do subúrbio de Syracuse, na cidade de Nova York, nos Estados Unidos da América, acerca de infraestruturas verdes. Os resultados desta pesquisa apontaram que os moradores possuem grande conhecimento acerca das técnicas de infraestruturas verdes, bem como mostraram-se altamente interessados na implantação destas infraestruturas em seus bairros.

Baptiste, Foley e Smardon (2015) mostram ainda que a utilização de infraestrutura verde acrescenta ao local melhorias estéticas, aumento dos espaços verdes urbanos, melhora do microclima, bem como a qualidade de vida dos moradores. O estudo apontou também obstáculos à implantação de infraestruturas verdes, entre eles a falta de compreensão e conhecimento do que a infraestrutura verde é, e os benefícios que ela oferece, a falha em demonstrar por meio de dados a relação entre custo e benefícios, bem como desempenho, destas infraestruturas, a insuficiência do conhecimento técnico e experiência por parte dos profissionais, bem como a falta de design e melhores práticas de gestão destas áreas.

O estudo realizado por Baptiste, Foley e Smardon (2015), concentrou-se na barreira relativa à falta de compreensão do que é a infraestrutura verde e seus benefícios. Observou-se no estudo que os moradores acreditam na existência de um problema de gestão de águas pluviais na área estudada, que eles são capazes de ajudar a reduzir esse problema e que infraestrutura verde é eficaz para redução do mesmo. O estudo também apontou que a maioria dos moradores possui de moderada a alta disponibilidade para implantação de medidas de infraestrutura verde. Segundo os pesquisadores, estes resultados se dão devido ao nível de escolaridade dos entrevistados, associado diretamente ao acesso à informação acerca de diversos assuntos, dentre eles o de implantação de estruturas verdes.

Para Almeida et al. (2014), a infraestrutura verde, enquanto estratégia para implantar espaços abertos urbanos, ultrapassa a mera decoração, atingindo funções relacionadas à gestão das

águas urbanas, ambientais, melhorando o conforto, a biodiversidade e a imagem do local onde são implantadas.

Newel et al. (2013) apontam que projetos de infraestrutura verde possuem diversas vantagens em potencial, entre elas a facilitação da gestão do escoamento urbano por meio da infiltração, recarga de águas subterrâneas, redução de ilhas de calor e ampliação do *habitat* urbano.

Infraestruturas verdes contribuem ativamente para a melhoria da paisagem urbana, e um dos benefícios da implantação de tais infraestruturas é a atenuação das altas temperaturas geradas nos centros urbanos, como mostrado em um estudo realizado por Norton et al. (2015).

Norton et al. (2015) colocam que a substituição de superfícies naturais e da vegetação por superfícies impermeáveis, complexas e tridimensionais, gera uma absorção de grandes quantidades de radiação solar durante o dia, que durante a noite é lentamente liberada para o meio, mantendo assim as áreas urbanas mais quentes do que a paisagem rural circundante. Norton et al. (2015) apontam ainda que com a impermeabilização da paisagem urbana, a precipitação é rapidamente drenada por meio de tubos e galerias, o que interfere diretamente no ciclo hidrológico, reduzindo a evapotranspiração, acarretando a redução da umidade do ar. Com a umidade do ar baixa a sensação de calor é aumentada, o que associada com as altas temperaturas da paisagem urbana pode gerar desconforto e complicações para a população.

Diversos são os estudos que apontam benefícios de infraestruturas verdes, tais como Chung, Hwang e Bae (2012), Newel et al. (2013), Wolch, Byrne e Newel (2014), Baptiste, Foley e Smardon (2015), Norton et al. (2015). É consenso entre estes estudos que o referido tema carece de orientações técnicas adequadas.

Norton et al. (2015) apontaram, em uma ordem hierárquica, cinco pontos importantes para a implantação de uma infraestrutura verde. Os passos adotados são: Identificação da área prioritária, identificação da infraestrutura existente na área escolhida, bem como identificação das áreas propensas à melhoria, maximizar o uso das áreas verdes existente, desenvolvimento de uma hierarquização de ruas para a implantação de infraestruturas verdes na área escolhida, e por fim a escolha da infraestrutura verde mais adequada ao local escolhido.

O primeiro passo, identificação da área prioritária, apresenta a intenção de Norton et al. (2015), a de começar o planejamento partindo do macro para o micro. Neste passo é importante ressaltar que a prioridade se dá por meio da exposição ao calor e da

vulnerabilidade de cada área. A vulnerabilidade está ligada a fatores como idade da população e renda familiar, de forma que a priorização de áreas é uma questão de justiça social e de saúde preventiva. Uma população de baixa renda geralmente possui pouco acesso às áreas verdes da cidade (Wolch, Byrne e Newel, 2014), e pessoas idosas, assim como crianças, são vulneráveis a altas temperaturas.

O segundo passo orienta ao planejador urbano que a estrutura da área verde deverá ser caracterizada por meio da identificação da infraestrutura verde, da identificação das formas dos edifícios e de estudos tridimensionais da área. O terceiro passo visa a melhoria da infraestrutura verde e das redes verdes existentes nas cidades. Esta melhora pode ser por meio da irrigação e do manejo adequado, por exemplo.

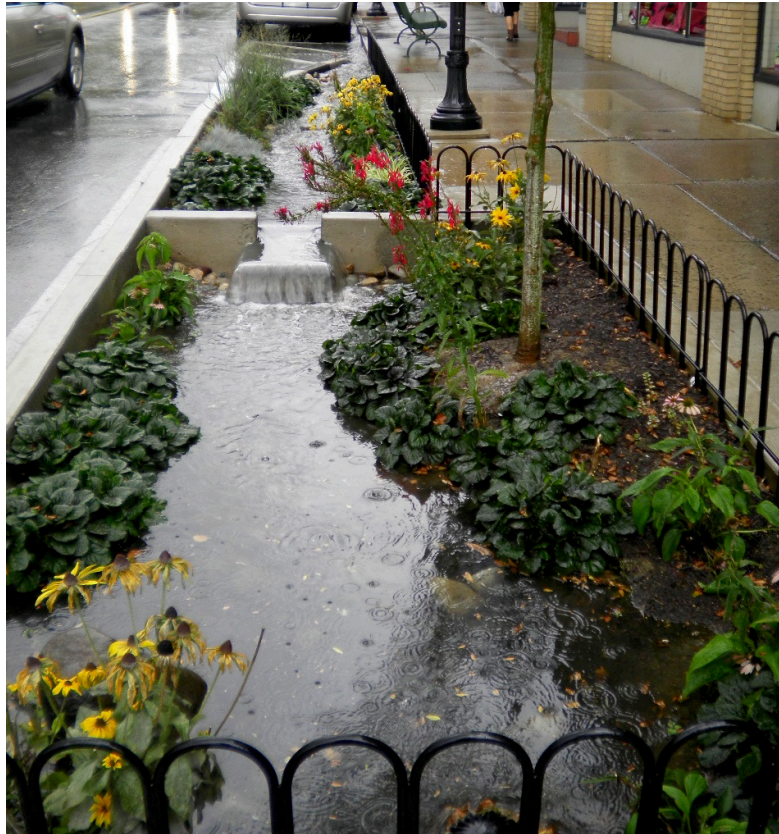
Segundo Norton et al. (2015), as ruas podem ser vistas como *canyons*, um piso e duas paredes, formadas pelo pavimento impermeável e pelos prédios, também impermeáveis. Estas estruturas são importantes para a determinação de diversas dinâmicas das cidades, entre elas o fluxo dos ventos e a dispersão de poluentes (LIU; WONG, 2014). Por fim, o quinto passo sugere a escolha da melhor infraestrutura verde para o local de intervenção. A escolha da infraestrutura verde depende da característica da área, sendo que para uma área uma árvore pode ser altamente eficaz, enquanto para outra, uma parede coberta por vegetação pode apresentar melhores resultados.

Newel et al. (2013) e Norton et al. (2015) apontam que as altas temperaturas em uma paisagem urbana podem ser mitigadas por meio da adoção de infraestruturas verdes, que são, além de elementos de melhoria visual do ambiente construído urbano, elementos de saúde preventiva e de justiça ambiental.

#### **2.14.1. JARDINS DE CHUVA**

Jardins de chuva, como indicado na Foto 1, são depressões topográficas preparadas para receberem de águas pluviais provenientes de telhados e demais áreas impermeáveis. Geralmente, trata-se o solo com compostos e demais insumos, que aumentam sua porosidade, enquanto microrganismos e bactérias no solo removem os poluentes difusos trazidos pelo escoamento superficial (CORMIER; PELLEGRINO, 2008). Ao acrescentar-se plantas, existe ainda o aumento da evapotranspiração, bem como o aumento da interceptação vegetal, que por sua vez reduz o escoamento superficial e aumenta o tempo de concentração da bacia.

Foto 1 – Jardim de chuva – *Allen St, Bethlehem, PA, USA*



Fonte: Rain Garden Photos (201-?)

Estas estruturas podem agir de maneira a gerar a purificação (sedimentação, filtração, absorção biológica), detenção e infiltração das águas pluviais.

#### **2.14.2. CANTEIRO PLUVIAL**

Canteiros pluviais (Foto 2) podem ser classificados como uma variação dos jardins de chuvas compactados em pequenos espaços urbanos (CORMIER; PELLEGRINO, 2008).



Foto 2 – Canteiros pluviais em Portland, Oregon



Fonte: Cormier e Pellegrino (2008)

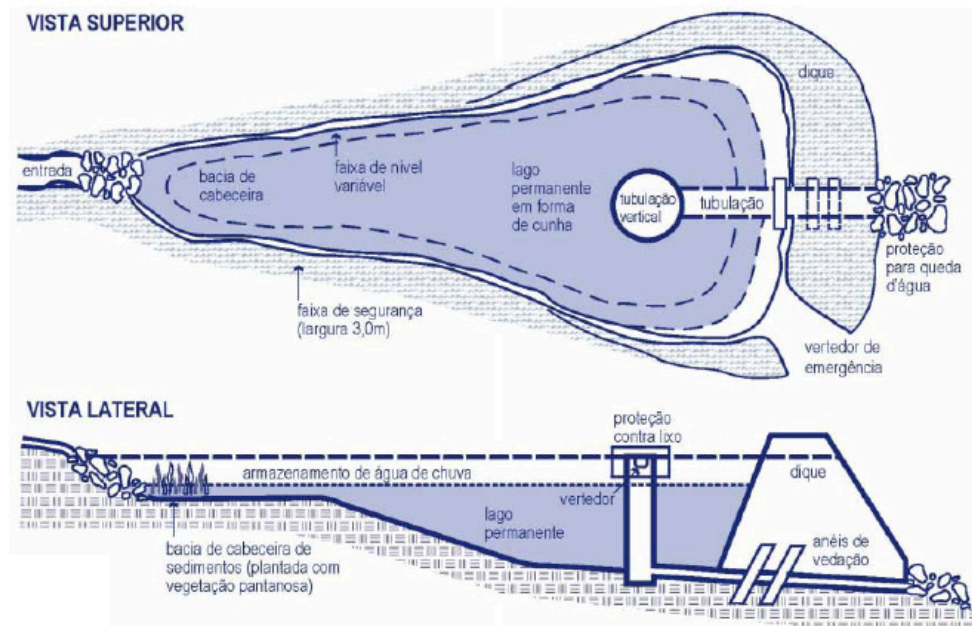
Seus benefícios são a detenção e filtragem preliminar de água, infiltração, diminuição do escoamento superficial (*runoff*), promoção da biodiversidade, moderação da ilha de calor, evapotranspiração, dentre outros benefícios.

### **2.14.3. LAGOA PLUVIAL OU BACIA DE RETENÇÃO**

As lagoas pluviais funcionam como bacias de retenção. As bacias de retenção, como indicado na Figura 6 e mostrada na Foto 3, são reservatórios construídos para não secar entre uma enxurrada e outra, retendo água permanentemente em uma parcela do seu volume (SCHUELER, 1987; TUCCI, 1995; SUDERHSA, 2002; CORMIER e PELLEGRINO, 2008).

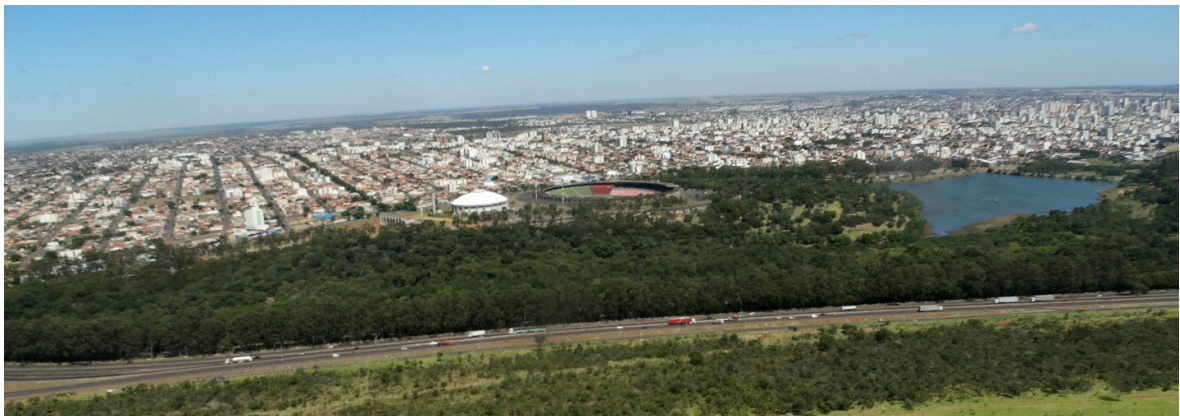


Figura 6 – Bacia de retenção



Fonte: Schueler (1987)

Foto 3 – Vista aérea da bacia de retenção do Parque do Sabiá, Uberlândia, 2016



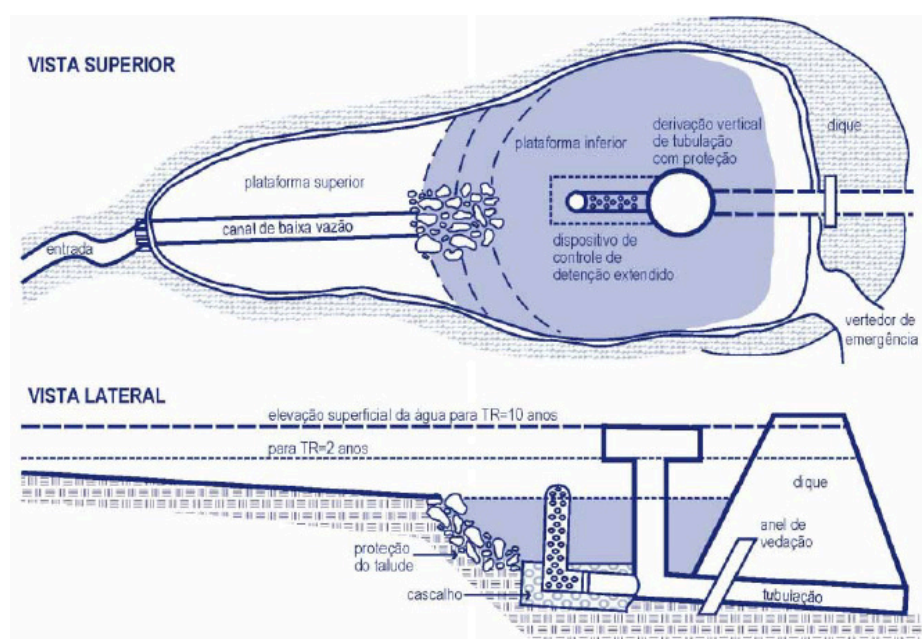
Fonte: Acervo do autor (2016)

A lagoa pluvial, ou bacia de retenção, são utilizadas, além do controle de cheias, para melhorar a qualidade da água das enxurradas. O reservatório permanece sempre com água, contudo seu dimensionamento deve considerar como parâmetro básico um tempo de residência entre 2 e 4 semanas (SUDERHSA, 2002). Estas estruturas contribuem para a purificação, por meio da sedimentação, filtração e absorção biológica, para retenção e infiltração, bem como para o paisagismo e lazer. Demandam áreas grandes para sua implantação, sendo normalmente inviáveis para locais altamente adensados.

#### 2.14.4. BACIA DE DETENÇÃO

As bacias de retenção (Figura 7) são reservatórios construídos para funcionarem secos durante as estiagens, e destinam-se a laminar os picos de escoamento superficial por meio da liberação lenta do volume armazenado (SCHUELER, 1987; TUCCI, 1995; SUDERHSA, 2002). Estas estruturas podem ser escavadas, utilizando-se espaços como praças por exemplo, ou pode-se utilizar o desnível do terreno, com a adição de barreiras (vertedores).

Figura 7 - Bacia de retenção



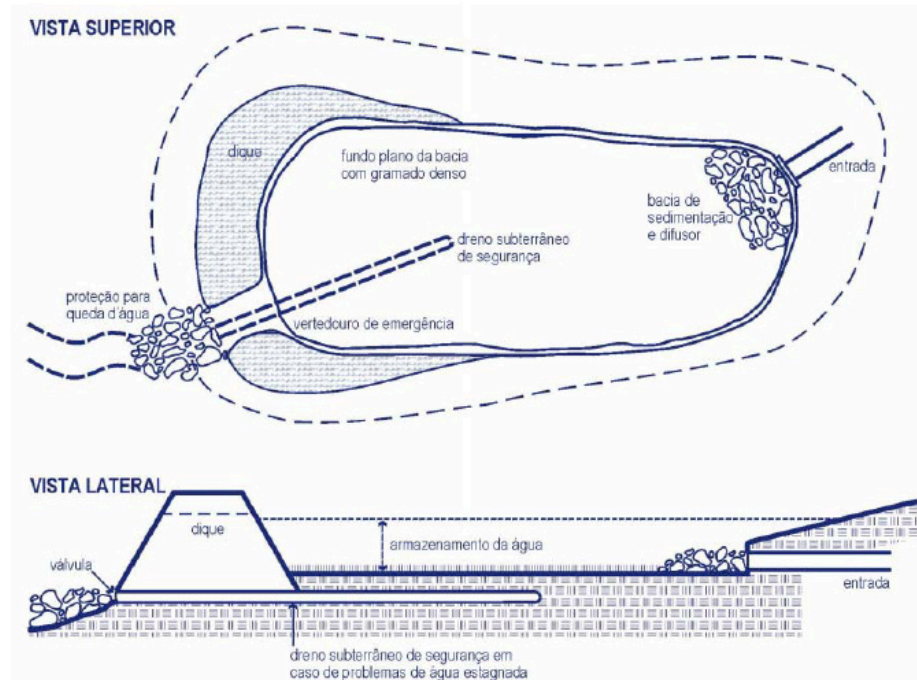
Fonte: Schueler (1987)

Estas bacias necessitam de estruturas auxiliares que impeçam a entrada de sedimentos e resíduos, como bacias de decantação e gradeamento instalados a montante. Na saída destas estruturas deve ser instalado, além de tubulações para tomada de água, estruturas para escoamento de volumes maiores aos de projetos, tais como extravasores.

Existe ainda uma variação desta estrutura, as chamadas bacias de infiltração (Figura 8), instaladas geralmente em terrenos isolados, com a função de infiltrar no solo o excesso pluvial. Possuem a diferença das bacias de retenção quanto à existência de disporem de dispositivos de saída para esvaziamento, e dreno enterrado junto ao leito, para preservação do fundo da bacia. Possuem como principais vantagens a preservação do balanço hídrico local, a

possibilidade de serem utilizadas como bacia de sedimentação e por possuírem um custo reduzido (SUDERHSA, 2002).

Figura 8 - Bacia de infiltração

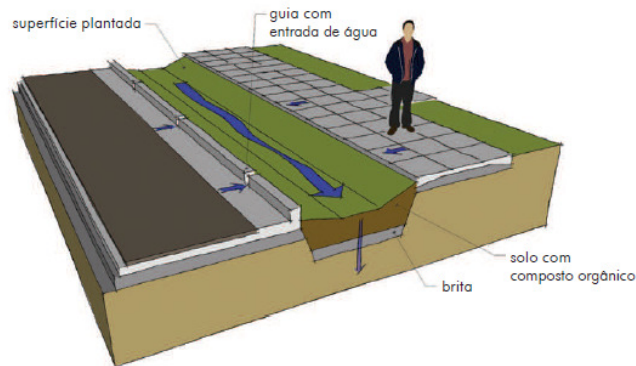


Fonte: Schueler (1987)

#### 2.14.5. BIOVALETAS

Segundo Cormier e Pellegrino (2008) as biovaletas, ou valetas de biorretenção vegetadas, como indicado na Figura 9 e na Foto 4, são semelhantes aos jardins de chuva, mas geralmente se referem a depressões lineares preenchidas com vegetação, solo e demais elementos filtrantes, que processam uma limpeza da água da chuva, ao mesmo tempo em que aumentam seu tempo de escoamento, dirigindo este para os jardins de chuva ou sistemas convencionais de retenção e detenção das águas.

Figura 9 - Esquema de uma biovaleta



Fonte: Cormier e Pellegrino (2008)

Foto 4 – Biovaleta em *Broadview, Illinois, USA*

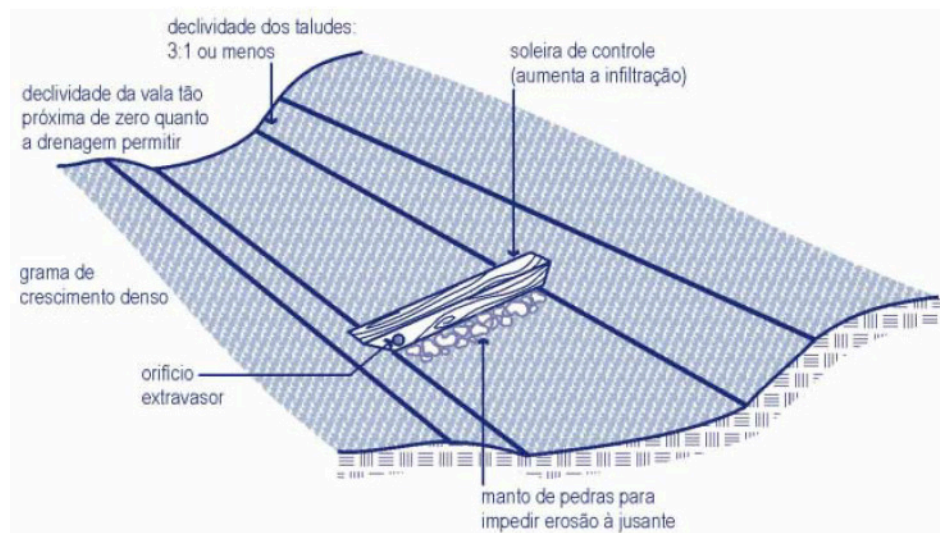


Fonte: Cormier e Pellegrino (2008)

As valetas de infiltração (Figura 10) são concebidas para funcionarem como pequenos canais, onde o escoamento pluvial é desacelerado e infiltrado parcialmente no percurso, com o excesso destinado à uma rede pluvial convencional (SUDERHSA, 2002). Existe ainda uma variante desta estrutura chamada de vala de retenção (Figura 11), que contém barragens em praticamente toda a seção transversal, controlados por orifícios, o que ajuda a reduzir o pico de escoamento.

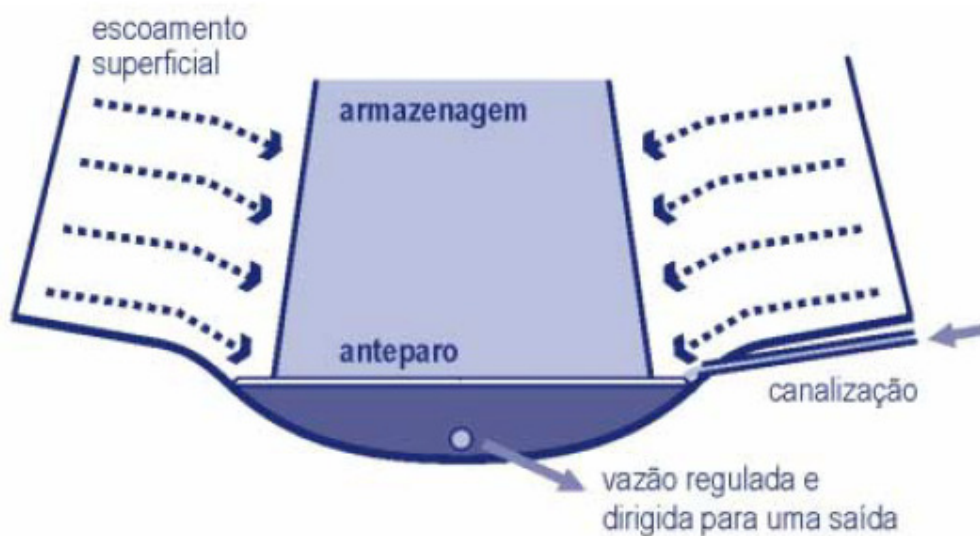


Figura 10 - Vala de infiltração



Fonte: Schueler (1987)

Figura 11 - Vala de retenção



Fonte: SUDERHSA (2002)

## 2.15. GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Em meados do século 20, muitos países passaram por um rápido processo de urbanização, assim a malha urbana se expandiu, o que levou a um aumento de superfícies impermeáveis. Com maiores áreas impermeáveis, aumentou-se o risco de inundações, visto que a parcela de água escoada aumenta devido à baixa, ou nenhuma, permeabilidade do solo. A abordagem

atual na gestão de águas pluviais, segundo Burns et al. (2012), está focada na rápida transmissão do escoamento gerado em grandes eventos de chuvas à jusante, que em muitos casos é transmitida diretamente aos corpos receptores com pouco ou nenhum tratamento. Desta maneira, toda poluição presente na superfície é transmitida ao corpo receptor, e o ciclo hidrológico é alterado.

Burns et al. (2012) sugerem que a gestão de águas pluviais urbanas deve enfatizar o reestabelecimento ou a proteção dos processos hidrológicos naturais em pequenas escalas, com o objetivo de restaurar regimes de fluxo natural em escalas maiores a jusante. Dussaillant, Wu e Potter (2004) apontam que a gestão tradicional de águas pluviais não atenua o esgotamento das águas subterrâneas, resultante da redução da recarga e da utilização de tais águas.

Burns et al. (2012) comparando abordagens convencionais de gestão de águas pluviais, como a adoção de sistemas de drenagem tradicionais, com uma abordagem alternativa apontaram que o potencial de retenção adequado de águas pluviais é maior em pequenas escalas. Estes sugerem que para que seja reestabelecido ou mantido os processos hidrológicos naturais, as soluções adotadas devem focar-se em retenção, utilização e infiltração das águas de chuvas.

Dussaillant, Wu e Potter (2004) apontaram que, em 2004, mais de 1,5 bilhão de pessoas em todo o mundo dependiam de águas subterrâneas como principal fonte de água potável. Estes colocam ainda que a gestão tradicional das águas pluviais não atenua o esgotamento das águas pluviais. Assim, os autores explicitam que a recarga artificial torna-se cada vez mais estratégias importantes na gestão das águas subterrâneas, contudo pesquisas neste sentido em áreas urbanas ainda são escassas.

A drenagem urbana, tratada apenas no âmbito técnico da engenharia já não mais atende todas as expectativas, uma vez que por meio da problemática ambiental, entre elas enchentes e inundações, a falência de tais propostas fica evidenciada. Segundo Pompêo (1999), deve-se focar o problema das cheias urbanas incorporando a dinâmica social e o planejamento multissetorial, com o objetivo de integrar e articular a sustentabilidade com o tratamento de enchentes urbanas e as políticas de saneamento e recursos hídricos.

As enchentes, de uma forma geral, são fenômenos naturais que ocorrem periodicamente nos cursos d'água devido a chuvas de grande intensidade. Em áreas urbanas podem ocorrer devido

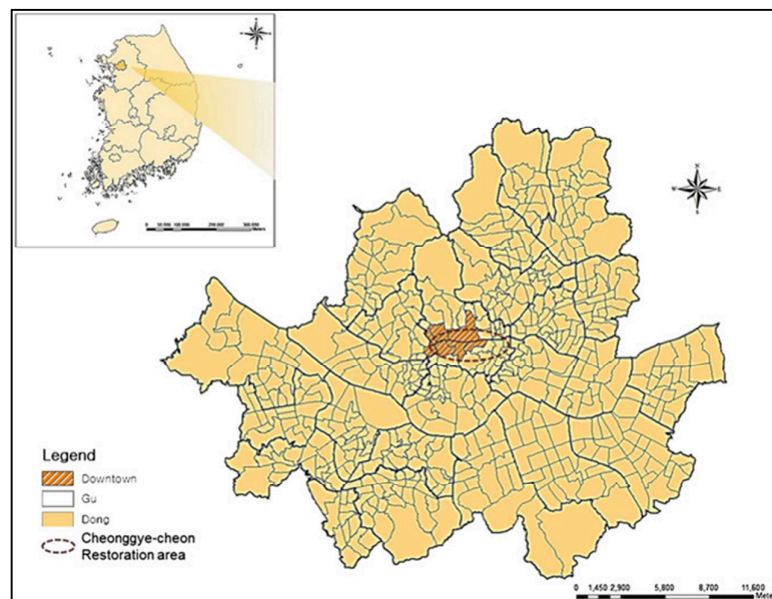
as chuvas intensas, de grandes períodos de retorno, pelo transbordamento de cursos d'água, e devido ainda à urbanização, visto que esta altera o ciclo hidrológico.

Segundo Pompêo (1999), o estudo da ocorrência de chuvas intensas é útil na busca de soluções apropriadas aos problemas de enchentes, porém as ações concretas se dão pelo estudo dos processos hidrológicos. A redução da cobertura vegetal, associada à impermeabilização do solo, resulta em diversas ocasiões o aumento do volume escoado superficialmente e a redução do tempo de concentração, o que proporciona ou agrava ainda mais o problema de enchentes urbanas.

## **2.16. ESTUDO DE CASO 01: PLANO BÁSICO DA RESTAURAÇÃO DO RIO CHEONGGYECHEON**

O rio Cheonggyecheon é um rio localizado em Seul, na Coreia do Sul, conforme Figura 12. Por muito anos este rio encontrou-se degradado, e canalizado, e acima do rio construiu-se uma via expressa de grande importância para a região central de Seul. Em julho de 2003 deu-se início a uma grande obra de restauração do rio Cheonggyecheon, conforme mostrado na Figura 13. A primeira parte da restauração consistiu na remoção da via expressa sobre o rio, a segunda na abertura do canal e exposição do rio e a terceira na restauração do rio.

Figura 12: Localização do rio Cheonggyecheon , em Seul



Fonte 1: Chung, Hwang e Bae (2012)

Figura 13: Antes e depois da restauração



Fonte 2: Chung, Hwang e Bae (2012)

Um estudo feito por Chung, Hwang e Bae (2012) analisa os impactos da redução da capacidade veicular da via acima do rio Cheonggyecheon por meio do estudo dos padrões de viagem e comportamento dos viajantes. O objetivo da pesquisa foi a análise dos impactos da eliminação de uma grande via expressa urbana e a redução do número de faixas de veículos e determinar mudanças comportamentais associados aos viajantes. A metodologia da pesquisa se deu por meio do monitoramento a curto e longo prazo do volume de tráfego e velocidade de deslocamento para determinar os impactos das reduções por meio de questionários sobre comportamento de viagens e análises de mudanças de transferência modal.

A pesquisa a curto prazo se deu por meio da elaboração de um questionário que foi distribuído para os moradores e trabalhadores da região potencialmente impactada pelo projeto de restauração, e por meio da análise de dados do Sistema de Informações de Tráfego Rodoviário (ROTIS), sistema oficial que calcula em tempo real os tempos de viagens através de sensores instalados em 20 mil táxis e em instalações de rua.



A pesquisa a longo prazo se deu de forma semelhante à de curto prazo, utilizou-se dados do Sistema ROTIS, dados dos passageiros de um metrô próximo à região estudada, bem como dados de origem-destino (OD) da região metropolitana para o centro. O OD é produzido e lançado oficialmente pelo governo de Seul a cada 05 anos, e é baseado em 3% da amostra de viagens, sendo que para a pesquisa de Chung, Hwang e Bae (2012) foram usados dados de 2002, anterior à reforma, e de 2006, logo após a conclusão da obra.

Pesquisou-se a relação entre perda de capacidade, mudança de comportamento do viajante e concomitantemente mudança de condição de tráfego. O estudo concentrou-se na mudança de comportamento voluntário do viajante, bem como na mudança de horários de viagens e mudanças de modal. Assim, a hipótese testada foi que embora a restauração do rio de Cheonggyecheon tenha reduzido a capacidade viária, em grande medida, as condições de tráfego nos horários de pico não se deterioraram seriamente devido aos ajustes dos viajantes, o que foi denominado por Chung, Hwang e Bae (2012) de “auto-complacência”.

As principais mudanças observadas foram que 6,2% dos entrevistados disseram ter mudado seu modo de transporte, que após a construção houve uma redução de 2,5% de usuários de automóveis e 1,6% de usuários de ônibus, bem como um aumento de 3,6% de usuários de metrô, e observou-se ainda que mais de 10% dos usuários mudaram seus horários de viagens.

Com base nos resultados do estudo Chung, Hwang e Bae (2012) concluíram que a ansiedade sobre os problemas de tráfego adicionais devido à diminuída capacidade das estradas era infundada, e que para evitar congestionamentos, voluntariamente após a perda da capacidade da via, o usuário mudou seu horário de partida, as rotas utilizadas e o modo de transporte.

Chung, Hwang e Bae (2012) observaram ainda que a velocidade média nas vias adjacentes à Cheonggyecheon piorou logo após o trabalho de restauração, no entanto estes efeitos desapareceram gradualmente, e a velocidade média aumentou em relação ao que era antes. O volume de tráfego rodoviário diminuiu gradualmente após o início do trabalho de restauração, e houve uma mudança na preferência pelo metrô.

## **2.17. ESTUDO DE CASO 02: ESPAÇO VERDE URBANO, SAÚDE PÚBLICA E JUSTIÇA AMBIENTAL: O DESAFIO DE FAZER CIDADES “SÓ VERDE O SUFICIENTE”**

Um estudo realizado por Wolch, Byrne e Newel (2014), com o intuito de oferecer uma síntese dos estudos anglo-americanos sobre o papel do espaço verde urbano na formação da saúde pública e da justiça ambiental, aponta que os espaços verdes urbanos são capazes de gerar a saúde pública, bem como promover atividades físicas, porém espaços verdes urbanos podem também gerar o que os pesquisadores nomearam de injustiça ambiental. Considera-se no estudo como áreas verdes os parques, florestas, telhados verdes, riachos e hortas comunitárias, entre outros.

Observou-se que nos Estados Unidos da América, as pessoas de cor e de baixa renda ocupam geralmente os centros das cidades, onde os espaços verdes são escassos e mal conservados, enquanto as famílias ricas, muitas vezes residem nas periferias suburbanas, onde o espaço verde é abundante, bem servidos e conservados. A esta situação deu-se o nome de injustiça ambiental.

Wolch, Byrne e Newel (2014) observaram também que a injustiça ambiental tornou-se uma prioridade no planejamento urbano, o que levou a implantação de novos espaços verdes nas cidades, porém a implantação de novos espaços verdes podem gerar um paradoxo do espaço verde urbano. O paradoxo do espaço verde urbano se dá pela valorização das regiões vizinhas às novas áreas verdes, ocasionando um aumento nos custos de habitação, levando à gentrificação, ou seja, uma valorização que gera a dificuldade de permanência da população de baixa renda, que acaba deslocando-se para áreas com problemas semelhantes à área que desocuparam antes da implantação, ou melhoramento, das áreas verdes.

O estudo relacionou ainda, segundo sua proposta de revisão dos estudos acerca dos espaços verdes urbanos, estudos acerca da saúde pública, entre eles cita-se estudos que apontam as áreas verdes, entre eles parques, como assistentes de atividades físicas. Observou-se que as atividades físicas em espaços verdes, ou exercício verde, acarreta benefícios para a saúde do corpo e para a saúde mental, ocasionando por exemplo aumento da autoestima e redução do estresse, bem como redução da obesidade.

O acesso aos espaços verdes urbanos nem sempre se dá de forma igualitária, seja na quantidade ou na qualidade. Populações de baixa renda e de minorias raciais e étnicas possuem menos acesso à espaços verdes, parques e programas recreacionais do que aqueles que são brancos (Wolch, Byrne e Newel (2014) apud Boone e outros(2009)). Observou-se ainda que em cidades estadunidenses embora negros sejam mais propensos a morarem próximos aos parques, os brancos possuem acesso à parques com maiores áreas, e de melhor qualidade.

O estudo faz ainda uma análise acerca da cidade de Hangzhou, na China, uma cidade com aproximadamente 6 milhões de habitantes, e que sofre, assim como a China, com diversos problemas relacionados à crescente e rápida urbanização. Um dos problemas gerados é a poluição generalizada, bem como estilos de vida mais sedentários, obesidade, diabetes e doença renal.

Wolch, Byrne e Newel (2014) observam que durante o século XX diversos parques foram criados na China, porém a maior parte deles foi reservada aos europeus, comerciantes ricos e dignatários, em suma à população de alta renda.

A cidade de Hangzhou é uma das cidades mais antigas da China, e que devido à acelerada urbanização é uma cidade altamente poluída e com temperaturas médias altas. O que diferencia Hangzhou neste cenário agressivo são os esforços de inovação e de recuperação dos espaços verdes. Cita-se entre tais esforços a demolição de antigos parques e a remontagem dos mesmos, bem como a criação de novos espaços verdes ao lado de vias principais e de linha ferroviárias, bem como a arborização de ruas da cidade. Tais esforços geraram reconhecimento à cidade, originando à mesma o posto de cidade jardim. Devido ao programa de criação de espaços verdes urbanos, Hangzhou conta com cerca de 40% da área da cidade ocupada por espaços verdes, conforme Figura 15, sendo que a cidade conta com uma relação de área verde de 15m<sup>2</sup> per capita, e cerca de 90% da população possui acesso fácil às áreas verdes.

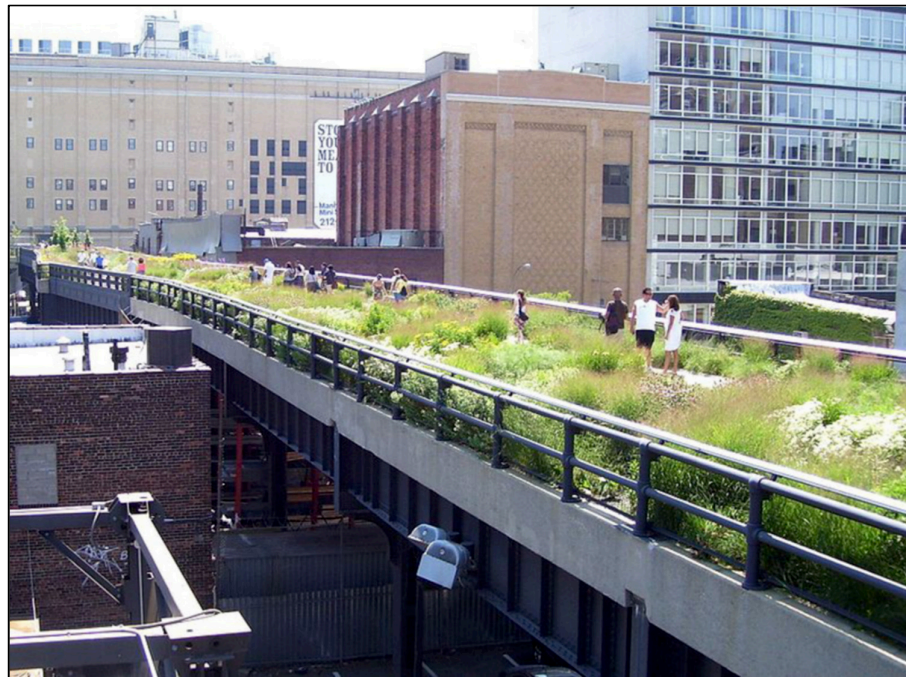
O presente estudo destacou a importância dos espaços verdes para a saúde pública, salientando que tais espaços podem fornecer serviços essenciais para o funcionamento ecológico urbano. O estudo realça ainda a importância da justiça ambiental, apontando algumas alternativas, tais como o reaproveitamento de estruturas para a expansão de áreas verdes, como é o caso da utilização de becos subutilizados, ruas e corredores de transportes

abandonados. Wolch, Byrne e Newel (2014) observam ainda que tais espaços colaboram para a infiltração de águas pluviais.

Uma alternativa para a expansão da área verde cuja repercussão é grande, foi a adotada no new York High Line, conforme Figura 14. A estrutura de uma antiga linha elevada de trens foi transformada em um parque, e atualmente serve como modelo para outras cidades, entre elas diversas cidades chinesas. A New York High Line, tornou-se um importante ponto turístico para a cidade de Nova York, atraindo uma grande variedade de pássaros, insetos e outros pequenos animais. O estudo aponta ainda que a New York High Line gerou o paradoxo do espaço verde, visto que a execução de tal projeto gerou a valorização das áreas no entorno.

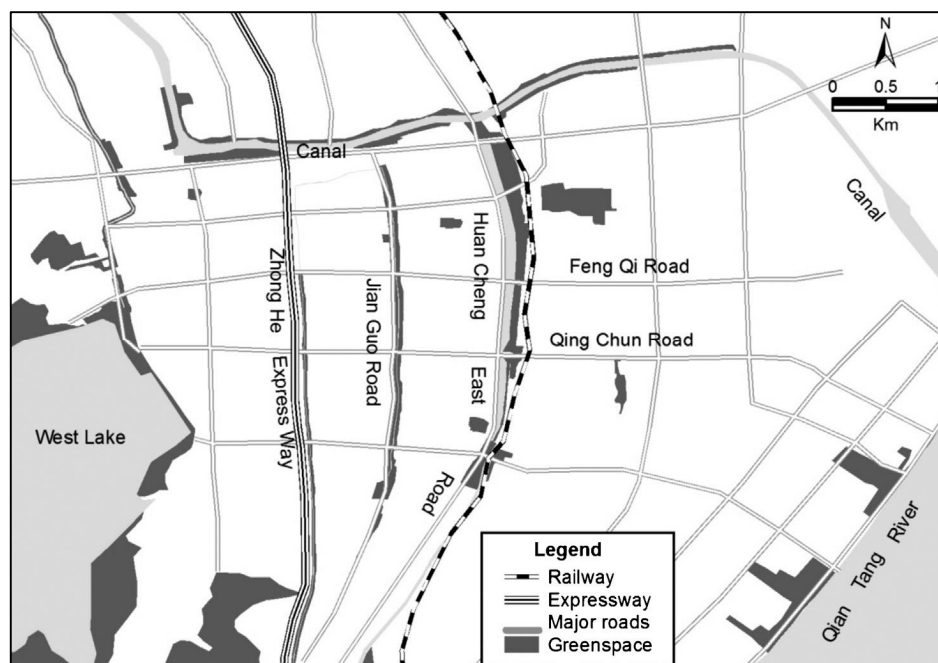
O estudo propõe que os espaços urbanos devem ser criados de forma a garantirem apenas o verde suficiente, ou seja, possibilitar o acesso aos espaços verdes garantindo a proteção das comunidades locais, evitando a gentrificação do espaço. Para tal os pesquisadores apontam que é necessário que por parte dos planejadores urbanos existam ações diferentes das propostas pelo urbanismo convencional, e que o planejamento e as intervenções sejam feitas em pequenas escalas, intervenções locais, que protejam as comunidades.

Figura 14: New York High Line



Fonte 3: Wolch, Byrne e Newel (2014)

Figura 15: Distribuição do espaço verde em Hangzhou, China



Fonte 4: Wolch, Byrne e Newel (2014)

# CAPÍTULO 3

## METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados a área e o universo de estudo, as fontes de coletas de dados, o tipo e o método de pesquisa, e as variáveis consideradas na pesquisa.

### 3.1.ÁREA E UNIVERSO DE ESTUDO

O Município de Uberlândia está localizado na Mesorregião do Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba, Estado de Minas Gerais, Região Sudeste do Brasil. As coordenadas geográficas, referenciadas na torre da caixa d'água do bloco II do centro administrativo Virgílio Galassi, são latitude 18°54'41,09582" S e longitude 48°15'21,63093 W, e altitude 864,80. O Município está inserido nas bacias hidrográficas dos rios Araguari e Tijuco. O clima é o tropical semiúmido, com ocorrência de invernos secos e verões quentes e úmidos. (UBERLÂNDIA, 2016).

Segundo dados do IBGE (2010), entre os anos de 2000 e 2010, a população uberlandense urbana cresceu 20,1%, a rural 36,9%, e a população total 20,5%, e no mesmo período houve um crescimento da densidade demográfica, que na cidade passou de 2232,8 hab/km<sup>2</sup> em 2000, para 2706,2 hab/km<sup>2</sup> em 2010.

Segundo dados do Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos, do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), diversas chuvas intensas ocorreram na cidade de Uberlândia nos últimos anos, entre elas destaca-se um evento ocorrido em 29/05/2013, que gerou diversos prejuízos à cidade. No citado evento houve uma precipitação de 120 mm em um único dia. Observa-se que a principal Avenida atingida foi a Avenida Governador Rondon Pacheco (Foto 5;Foto 6), que está construída sobre o córrego São Pedro, que por sua contém a bacia hidrográfica do córrego Jataí, área de estudo do presente trabalho.



Foto 5 - Av. Gov. Rondon Pacheco em 29/05/2013



Fonte: Portal G1 (2013)

Foto 6 - Av. Gov. Rondon Pacheco em 29/05/2013



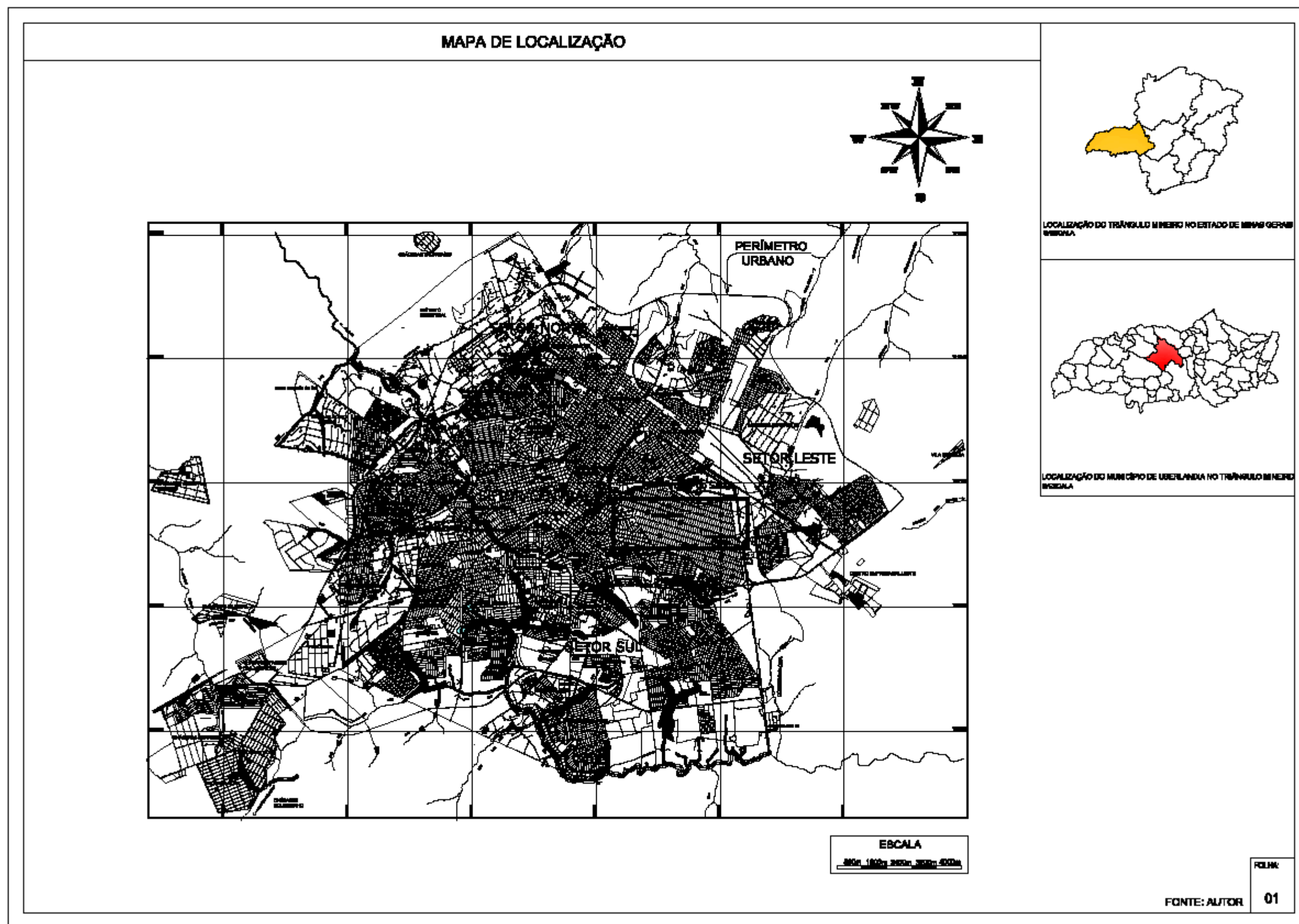
Fonte: Portal G1 (2013)

O presente trabalho concentra-se nas áreas de influência da bacia do córrego Jataí, localizado sob a Avenida Anselmo Alves dos Santos, Setor Leste, na cidade de Uberlândia/ MG, especificamente na região mais alta da bacia, localizada no bairro Santa Mônica, com

limitação pela Avenida Segismundo Pereira. A área é apresentada por meio de mapas auxiliares representados na Figura 16 que apresentam a localização da região estudada na Cidade de Uberlândia/ MG.



Figura 16 - Mapa de localização da área de estudo



A lei complementar n º 525 de 14 de abril de 2011 dispõe sobre o zoneamento do uso e ocupação do solo. Esta lei é responsável pelo ordenamento territorial no Município de Uberlândia/ MG, e segundo a presente lei, o ordenamento tem como objetivo a gestão eficiente e sustentável do uso do território, segundo o:

“Art.1º -

I – macrozoneamento municipal, que considere a inter-relação entre fatores naturais e antrópicos;

II – zoneamento urbano que defina e delimite zonas urbanas, de acordo com o grau de urbanização e características de uso e ocupação do solo.”

Esta lei divide a cidade em regiões, porções, com conceituação específica e sujeita a regimes urbanísticos próprios, denominadas zonas. Cada zona possui sua delimitação apontada em mapa, anexo I da lei, e limites descritos no anexo IV da mesma lei. Para cada zona existe uma intenção apresentada pelos planejadores da cidade, por exemplo a Zona Industrial, destinada a abrigar distritos industriais e polos empresariais, ou a Zona Residencial 2, que é destinada a acomodação da função habitacional e permite atividades de pequeno e médio porte.

O art. 38 da presente lei prevê que:

“Art.38º - As condições de absorção das águas pluviais nos lotes deverão ser preservadas, com a manutenção de no mínimo 20% (vinte por cento) da sua área, livre de impermeabilização e construções.

§ 1º - No caso da impossibilidade de cumprimento das exigências desse artigo, deverá ser previsto poço de infiltração ou outros mecanismos para escoamento das águas pluviais de forma a não comprometer o Sistema público de drenagem pluvial.

§ 2º - Ficam dispensadas as exigências deste artigo, as edificações com pavimentos abaixo do nível do logradouro.

§ 3º - Para lotes com área inferior a 200 m² ( duzentos metros quadrados), a taxa permeável deverá ser de 10% (dez por cento).

§ 4º - As edificações nos lotes com frente para a Av. Rondon Pacheco deverão receber tratamento especial para evitar inundação, devendo o nível do pavimento térreo estar na altura mínima de 1m (um metro) acima do nível do passeio público ou adotar alternativa eficaz. As demais regiões sujeitas a inundação serão informadas nas restrições urbanísticas pelo órgão do planejamento urbano.

Por meio do artigo 38, a lei obriga e responsabiliza o proprietário de imóvel no Município a reduzir o impacto gerado pela ocupação do lote. A princípio a lei obriga a manutenção de 20% de área do lote permeável, porém duas exceções são apontadas por citada lei, apresentadas pelos parágrafos 2º e 3º. O parágrafo 4º apresenta uma situação grave no município, as frequentes inundações na Av. Gov. Rondon Pacheco, por onde passa o canalizado e agora subterrâneo córrego São Pedro.

### 3.2.ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS

Para a determinação dos índices pluviométricos da bacia foram utilizados dados do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, que conta com uma base de dados pluviométricos aferidos desde 1996, bem como um estudo realizado por Justino (2004), que aplicou o Método das Relações de durações pela Distribuição de Gumbel para determinação da intensidade de chuva para uma bacia hidrográfica na cidade de Uberlândia/ MG. Justino (2004) resumiu em duas tabelas (Tabela 4;Tabela 5) as alturas pluviométricas médias e as intensidades médias de precipitações para a bacia hidrográfica estudada. Importante é ressaltar que ambos os postos de coleta de dados, Parque do Sabiá e estação de climatologia da Universidade Federal de Uberlândia, estão inseridos na bacia hidrográfica do córrego Jataí.

Tabela 4 - Alturas pluviométricas médias do Posto do Parque do Sabiá e da Estação de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia

Duração da chuva	Relação entre chuvas	ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO PARQUE SABIÁ						
		INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA ESTAÇÃO						
		UBERLÂNDIA - N° 83,527			Lat.: 18°55' S - Long.: 48°17' O			
		Altura pluviométrica média de Uberlândia/ MG (mm)						
		Período de retorno (anos)						
		2	5	10	15	20	25	50
5 minutos	0,34	14,05	17,46	19,72	20,99	21,88	22,57	24,68
10 minutos	0,532	21,99	27,32	30,85	32,84	34,24	35,31	38,62
15 minutos	0,693	28,64	35,59	40,19	42,78	44,6	46	50,31
20 minutos	0,817	33,77	41,96	47,38	50,44	52,58	54,23	59,31
25 minutos	0,918	37,97	47,14	53,24	56,67	59,08	60,93	66,65
30 minutos	0,74	41,33	51,35	57,99	61,74	64,36	66,38	72,6
1 hora	0,573	55,85	69,4	78,37	83,43	86,97	89,7	98,11
2horas	1,119	62,5	77	87,69	93,35	97,32	100,37	109,78
6 horas	0,78	76,03	94,47	106,68	113,57	118,39	122,1	133,55
8 horas	0,821	80,02	99,43	112,28	119,53	124,61	128,52	140,57
10 horas	0,855	83,34	103,55	116,93	124,48	129,77	133,84	146,39
12 horas	0,883	86,07	106,94	120,76	128,56	134,02	138,23	151,18
24 horas	1,14	97,47	121,11	136,77	145,6	151,78	156,54	171,21
1 dia *	1	85,5	106,24	119,97	127,72	133,14	137,32	150,19

Fonte: Justino (2004)

Tabela 5 - Intensidades médias de precipitação do Posto do Parque do Sabiá e da Estação de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia

Duração da chuva	Relação entre chuvas	ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO PARQUE SABIÁ							
		INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA ESTAÇÃO							
		UBERLÂNDIA - N° 83,527				Lat.: 18°55' S - Long.: 48°17' O			
		Intensidade pluviométrica média de Uberlândia/ MG (mm/min)							
		Período de retorno (anos)							
		2	5	10	15	20	25	50	100
5 minutos	0,34	2,81	3,492	3,944	4,198	4,376	4,514	4,936	5,36
10 minutos	0,532	2,199	2,732	3,085	3,284	3,424	3,531	3,862	4,19
15 minutos	0,693	1,909333	2,372667	2,679333	2,852	2,973333	3,066667	3,354	3,64
20 minutos	0,817	1,6885	2,098	2,369	2,522	2,629	2,7115	2,9655	3,22
25 minutos	0,918	1,5188	1,8856	2,1296	2,2668	2,3632	2,4372	2,666	2,89
30 minutos	0,74	1,377667	1,711667	1,933	2,058	2,145333	2,212667	2,42	2,63
1 hora	0,573	0,930833	1,156667	1,306167	1,3905	1,4495	1,495	1,635167	1,77
2 horas	1,119	0,520833	0,641667	0,73075	0,777917	0,811	0,836417	0,914833	0,99
6 horas	0,78	0,211194	0,262417	0,296333	0,315472	0,328861	0,339167	0,370972	0,4
8 horas	0,821	0,166708	0,207146	0,233917	0,249021	0,259604	0,26775	0,292854	0,32
10 horas	0,855	0,1389	0,172583	0,194883	0,207467	0,216283	0,223067	0,243983	0,26
12 horas	0,883	0,119542	0,148528	0,167722	0,178556	0,186139	0,191986	0,209972	0,23
24 horas	1,14	0,067688	0,084104	0,094979	0,101111	0,105403	0,108708	0,118896	0,13
1 dia *	1	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,1	0,1	0,11

Fonte: Justino (2004)

Observa-se que Justino (2004) apresenta dados de altura pluviométrica em mm, e intensidade pluviométrica em mm/minuto, contudo uma transformação de medidas para a intensidade pluviométrica necessária, visto que para simulações hidrológicas adotadas no presente trabalho a intensidade pluviométrica deve ser apresentada em mm/hora. Com auxílio do programa Excel realizou-se a conversão dos dados de período de retorno escolhidos.

### 3.3.VAZÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para a determinação da vazão máxima de escoamento superficial utilizou-se o método Racional, comumente utilizado para o cálculo de vazão máxima. A aplicação do método racional deve ser em pequenas bacias com áreas de drenagem menores que 3 km<sup>2</sup> (300 ha). O método é definido pela equação 4.1:

$$Q = 0,278.C.I.A \quad (4.1)$$

Na qual,

Q é a vazão de pico, em m<sup>3</sup>/s;

C é o coeficiente de escoamento superficial ou de runoff;

I é a intensidade média da chuva, em mm/h;

A é a área da bacia, em km<sup>2</sup>.

### 3.4. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Para a determinação do tempo de concentração, utilizou-se a equação de Picking, apresentada pela equação 4.2:

$$T_c = 5,3 \cdot \left( \frac{L^2}{I} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.2)$$

Na qual,

T<sub>c</sub> é o tempo de concentração em minutos;

L extensão do talvegue em km;

I a declividade média da bacia em m/m.

Programou-se uma tabela utilizando o programa Excel para obtenção dos valores do tempo concentração de cada área. A Tabela 6 apresenta os dados utilizados para o cálculo do tempo de concentração, na qual o período de retorno fora apresentado em anos, o tempo de concentração em minutos, a extensão do talvegue em quilômetros, e a declividade média da bacia em metros por metro.

Tabela 6 - Cálculo do tempo de concentração

TRECHO 1		
	DURAÇÃO DA CHUVA (1h)	
PERÍODO DE RETORNO (Anos)	20	100
T <sub>c</sub> (min)	26,78108799	26,78108799
L (km)	1,2901	1,2901
S (m/m)	0,0129	0,0129
TRECHO 2		
	DURAÇÃO DA CHUVA (1h)	
PERÍODO DE RETORNO (Anos)	20	100
T <sub>c</sub> (min)	24,10157057	24,10157057

Continuação Tabela 6		
L (km)	1,24187	1,24187
S (m/m)	0,0164	0,0164
TRECHO 3		
	DURAÇÃO DA CHUVA (1h)	
PERÍODO DE RETORNO (Anos)	20	100
Tc (min)	25,49720259	25,49720259
L (km)	1,66504	1,66504
S (m/m)	0,0249	0,0249
TRECHO 4		
	DURAÇÃO DA CHUVA (1h)	
PERÍODO DE RETORNO (Anos)	20	100
Tc (min)	12,46314765	12,46314765
L (km)	0,76325	0,76325
S (m/m)	0,0448	0,0448

Fonte: o autor (2017)

Observou-se tempos de concentração semelhantes entre os trechos, exceto no 4º trecho, que apresentou um tempo de concentração cerca de 50% menor em relação aos outros trechos, resultado esperado, uma vez que o mesmo possui comprimento inferior aos demais trechos.

# **CAPÍTULO 4**

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo serão apresentados o desenvolvimento da pesquisa, os resultados obtidos e discussões relevantes.

### **4.1.ÁREA DE ESTUDO**

A Figura 17 apresenta a delimitação da área de estudo e suas subdivisões. Optou-se por subdividir a área em 4 (quatro) regiões, numeradas obedecendo o fluxo de escoamento da bacia. Esta divisão foi adotada em virtude da inclinação de cada trecho, que gera interferência direta no tempo de concentração da área estudada.

Produziu-se mapas com a delimitação adotada de cada subdivisão, apresentadas pela Figura 18, Figura 19, Figura 20 e Figura 21. Adicionou-se ainda às figuras citadas informações relativas ao trecho, tais como área da subdivisão, comprimento do trecho, declividade média do trecho, largura média da via e largura útil do canteiro, comprimento útil dos canteiros e comprimento adotado para cálculo de concentração no trecho.

A Avenida Segismundo Pereira, área de estudo do presente trabalho, também sofre com constantes inundações (Foto 7), sendo que a região contribui diretamente nas vazões de pico da Avenida Governador Rondon Pacheco. A bacia na qual a área de estudo se localiza é a bacia hidrográfica do córrego São Pedro, com área de 15,5305 km<sup>2</sup> (VERGUTZ, 2016).

Foto 7 - Avenida Segismundo em evento de chuva típico



Fonte: o autor (2016)

A área de estudo está inserida, segundo a Lei Complementar nº 525/2011, na Zona Mista e no Setor de Vias Estruturais, que possuem predominância de atividades de habitação, comércio e serviços, com expressiva densidade habitacional. Esta área possui taxa de ocupação de até 80%, restando 20% de área permeável. Porém existe uma tendência observada *in loco* de impermeabilização do solo, o que reduz a área permeável da bacia estudada. O solo da região estudada é classificado como tipo D (VERGUTZ, 2016), segundo a classificação do SCS, que confrontado com as atividades predominantes da área, leva a utilização de um CN de valor 95, conforme exposto à Tabela 2.

Por meio de inspeção de um mapa planialtimétrico georreferenciado, em CAD (Computer aided desing ou desenho assistido por computador), fornecido pela Prefeitura Municipal de Uberlândia, identificou-se os limites da bacia hidrográfica do córrego Jataí, bem como definiu-se uma área para desenvolvimento do estudo. A delimitação da região de estudo considerou também o sentido de escoamento das águas pluviais, por meio de análise da topografia existente, bem como a localização infraestrutura verde proposta.

Optou-se por inserir valas de retenção no canteiro central da Avenida Segismundo Pereira (Figura 27;



Figura 28). Considerou-se ainda a recente implantação do Corredor Estrutural Leste (*Bus Rapid Transit* - BRT) no local.

Figura 17 - Delimitação da área de estudo e sub-divisões adotadas

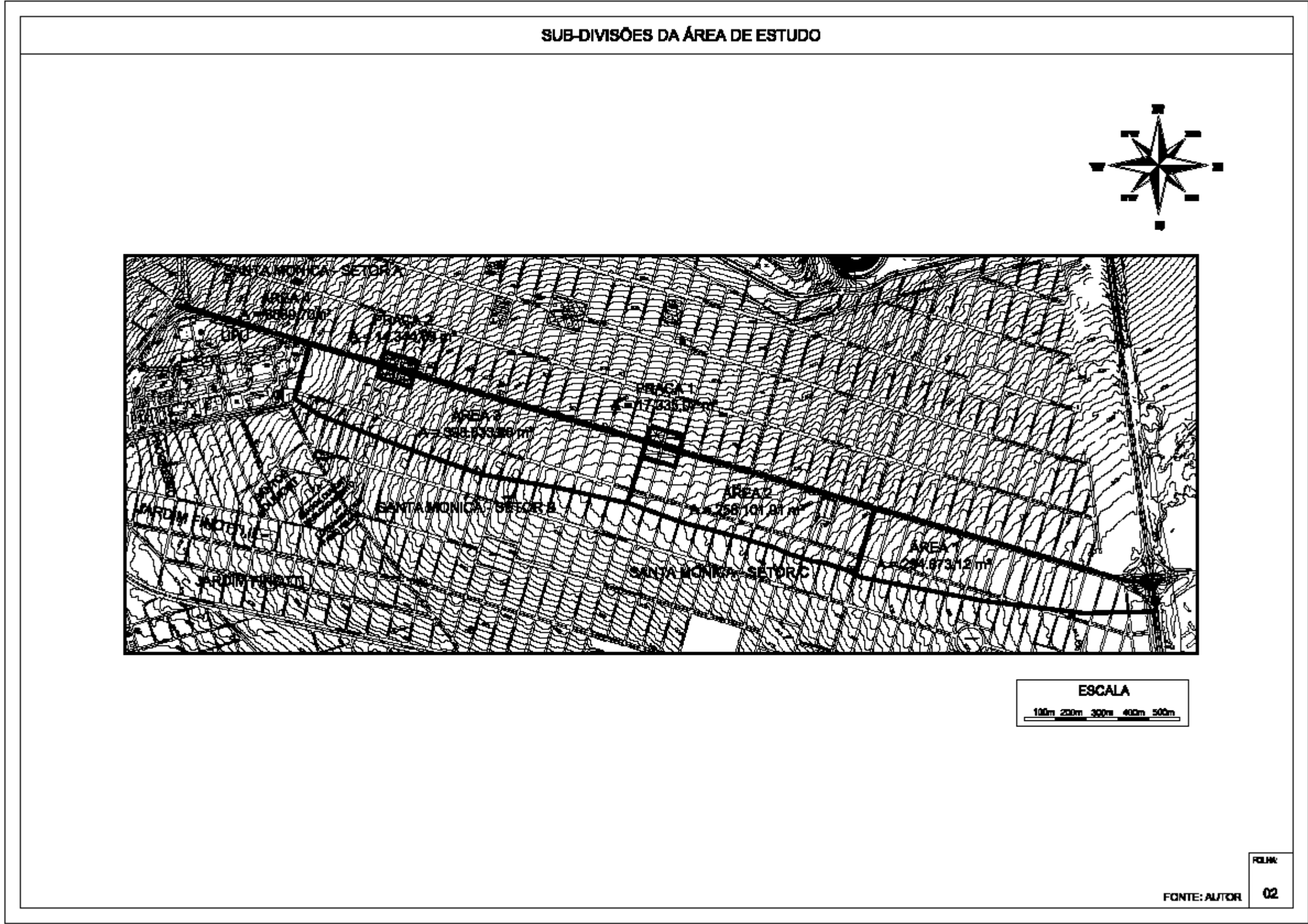
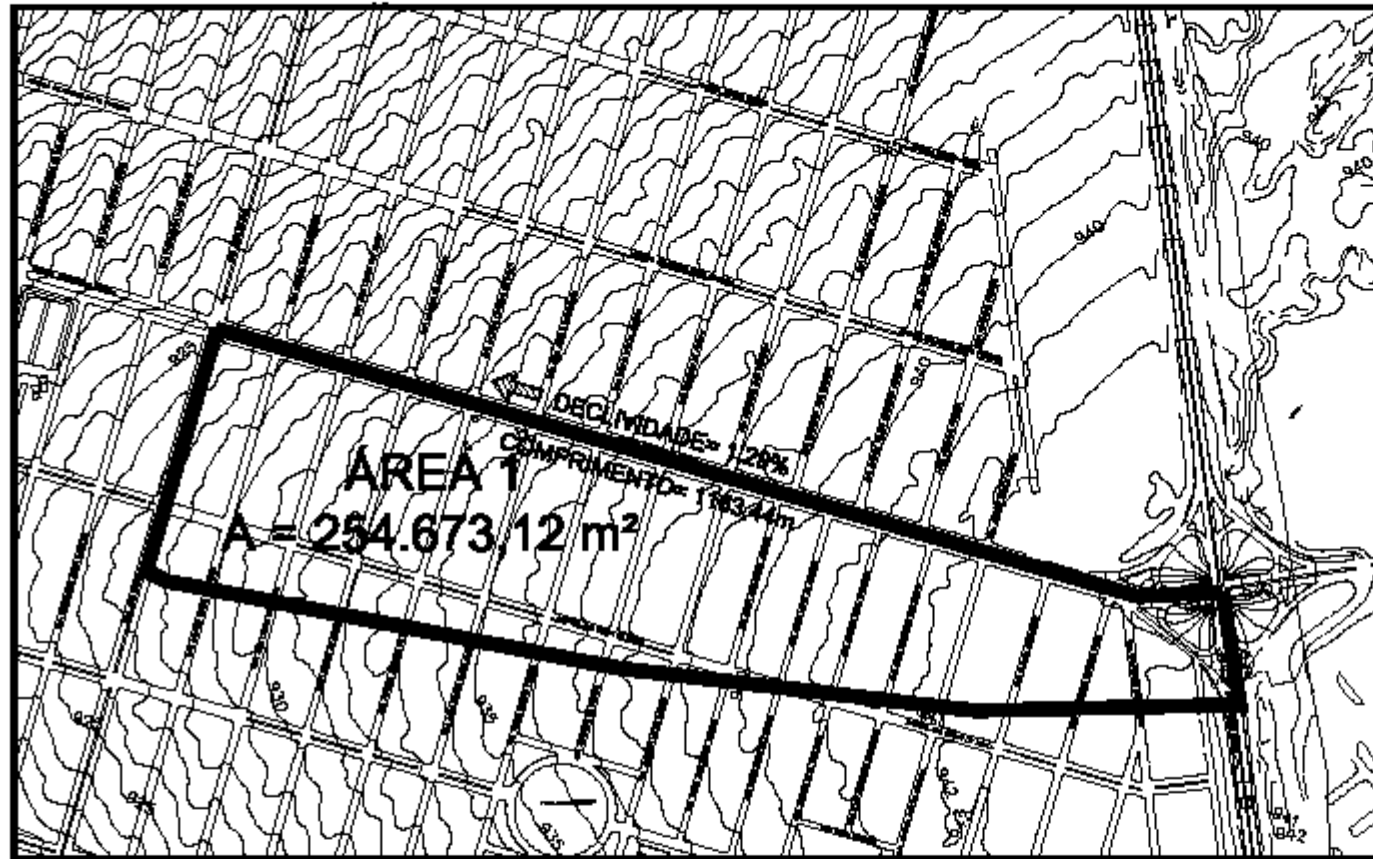


Figura 18 - Subdivisão da área de estudo - área 1

ÁREA 1



COMPRIMENTO DO TRECHO	1153,44m
DECLIVIDADE MÉDIA DO TRECHO	1,25%
LARGURA MÉDIA DA VIA	24,0m
LARGURA MÉDIA ÚTIL DO CANTEIRO	8,0m
COMPRIMENTO ÚTIL DOS CANTEIROS	1078,98m
COMPRIMENTO PARA CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	1290,10m

ESCALA

60m 120m 180m 240m 300m



ESCALA

200m 400m 600m 800m 1000m

FONTE: AUTOR

FOLHA:  
03

Figura 19 - Subdivisão da área de estudo - área 2

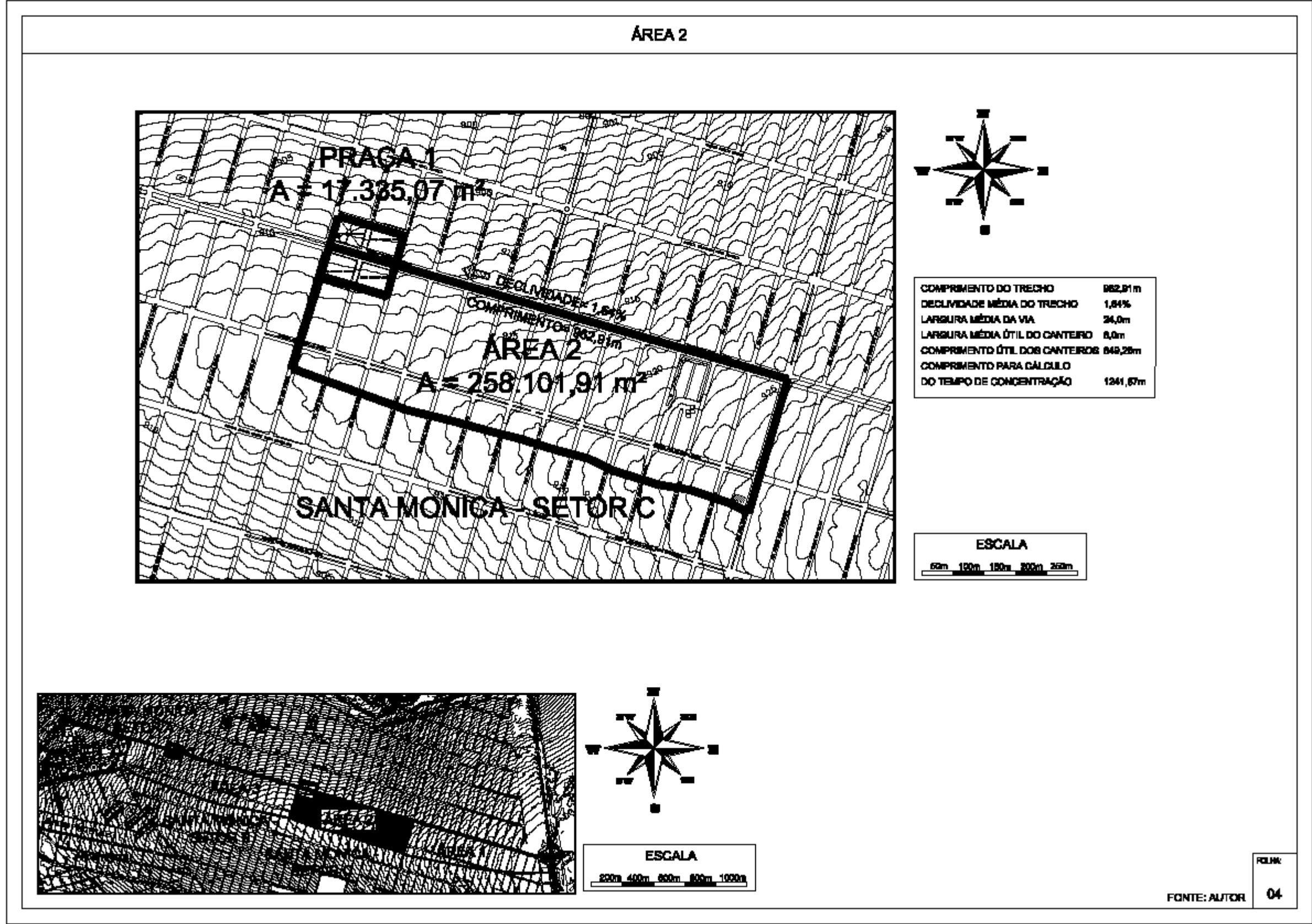


Figura 20 - Subdivisão da área de estudo - área 3

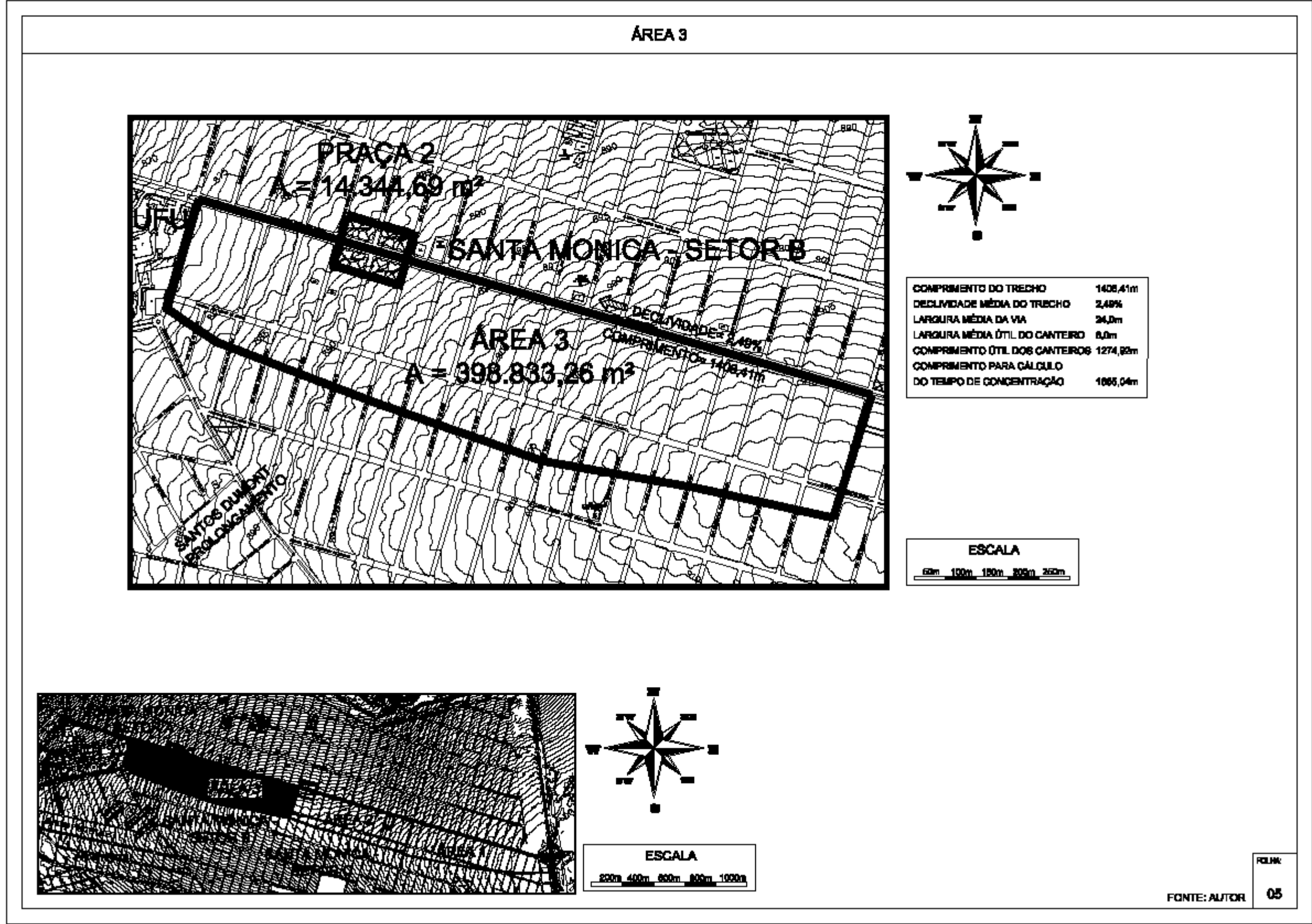
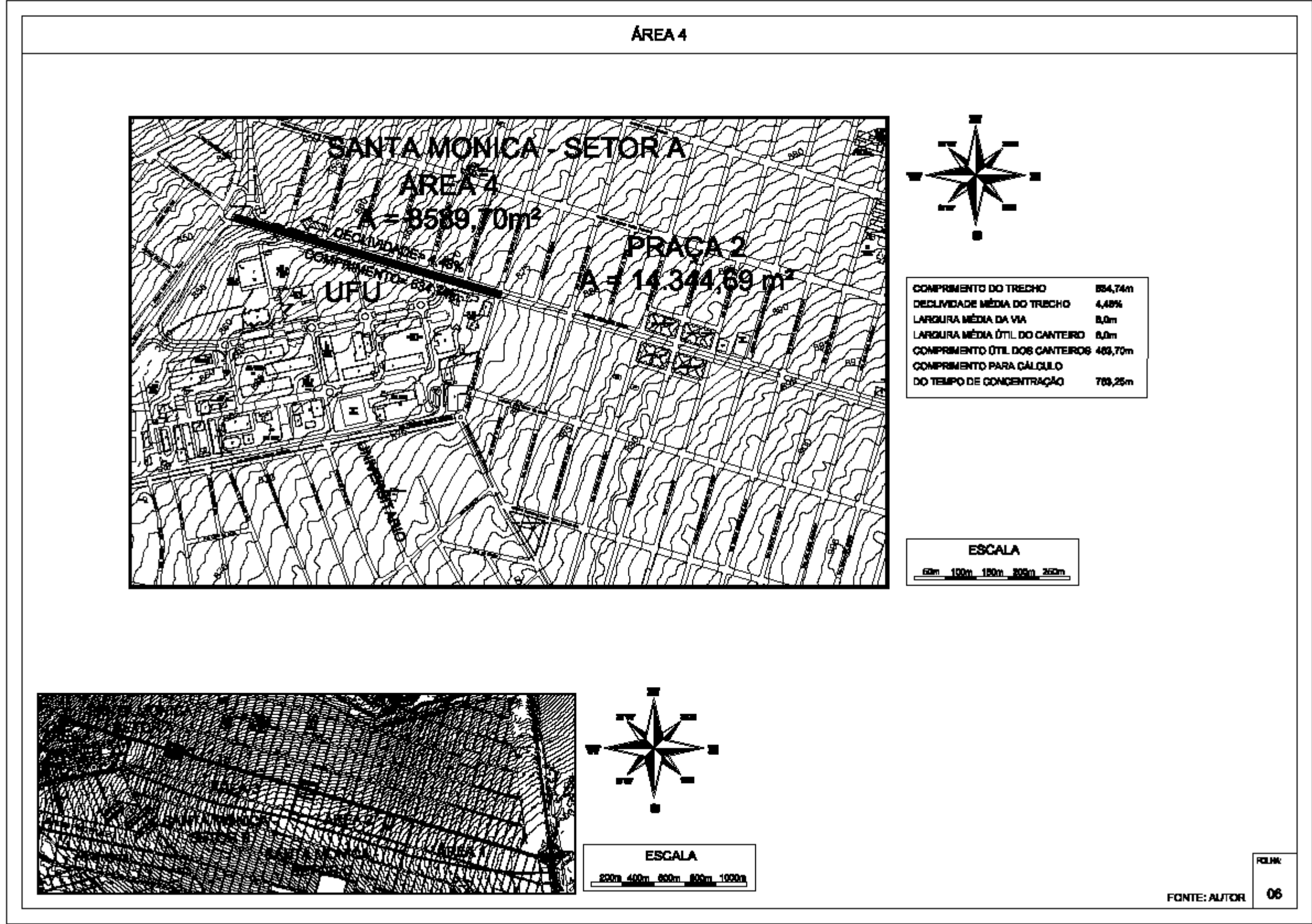


Figura 21 - Subdivisão da área de estudo - área 4





O primeiro corredor estrutural a ser implantado será o Corredor Estrutural Leste, que possui como eixo viário principal a Av. Segismundo Pereira, conforme Figura 22 e Foto 8. O presente corredor contará com 11 estações implantadas no canteiro central da Avenida Segismundo Pereira, e um terminal de integração, denominado “Terminal Novo Mundo”, referência à proximidade com o loteamento Novo Mundo.

Figura 22: Localização Corredor Estrutural Leste



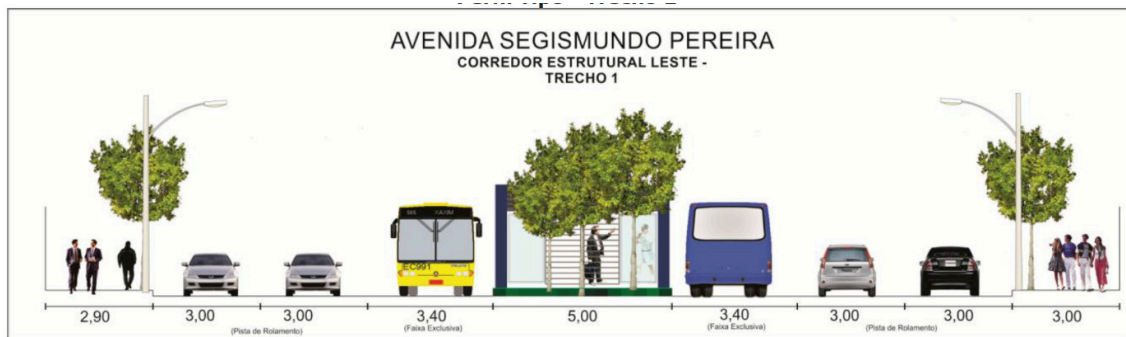
Fonte: PMU (2016)

Figura 23: Trechos com perfis tipos no Corredor Estrutural Leste



Fonte: PMU (2016)

Figura 24: Perfil projetado da via no trecho 1



Fonte: PMU (2016)



Foto 8 - Estação executada no BRT da Avenida Segismundo Pereira



Fonte: O autor (2017)

Observa-se que no presente trabalho, além dos mapas e projetos disponíveis, utilizou-se levantamentos realizados no local com emprego de trenas a *laser*, que visaram a confrontação das larguras projetadas para os canteiros com as larguras executadas.

Observa-se que atualmente a área de estudo é utilizada apenas como elemento físico de separação entre as vias de circulação da Avenida Segismundo Pereira, e sítio de implantação das estações do BRT. A utilização da área para implantação de um equipamento de drenagem como o proposto no presente trabalho agrega valores paisagísticos, urbanísticos, ambientalmente corretos, e de infraestrutura. Como explanado no trabalho, a tendência da cidade de Uberlândia e o adensamento, o que acarretará uma valorização dos espaços da cidade, que associado à dificuldade financeira do Município dificultará a aquisição de espaços para implantação de equipamentos urbanos de infraestrutura.

O perfil proposto, com rebaixamento do canteiro central da Avenida Segismundo Pereira, otimizaria ainda a utilização da infraestrutura de drenagem existente na bacia, uma vez que seria retirada a barreira física entre as vias.

## **4.2.SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO**

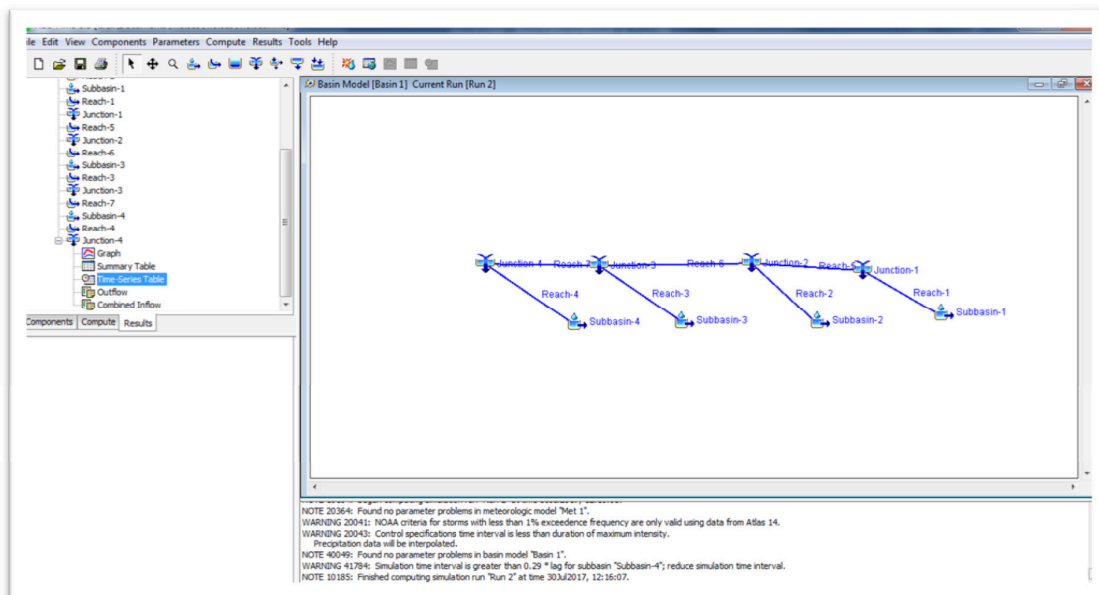
Para simulações na bacia, optou-se por utilizar o programa HEC-HMS. Este sistema de modelagem hidrológica foi desenvolvido pelo corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos da América, sendo de uso livre. O programa foi projetado para simular processos hidrológicos completos de bacias hidrográficas. O programa faz uso de diversos procedimentos tradicionais de análises hidrológicas, dentre eles simulação de infiltrações, evapotranspiração, transportes de sedimentos, qualidade da água, e simulação de hidrogramas.

O programa é dividido em três módulos principais (VERGUTZ, 2016), módulo da bacia, módulo meteorológico e módulo de especificações de controle. O módulo da bacia está relacionado aos aspectos físicos da bacia e sua modelagem hidrológica. O módulo meteorológico apresenta as definições chuvas que serão simuladas, e o módulo de especificações de controle define períodos de simulações e discretização dos mesmos.

Optou-se por simular seis cenários, o primeiro, o segundo e o terceiro simulando as condições existentes da bacia, sem aplicação da vala de retenção, sob precipitações de duração de 1 hora e períodos de retorno de 10, 20 e 100 anos respectivamente, o quarto, quinto e sexto cenário com a inserção da infraestrutura verde, simulados com precipitações de duração de 1 hora e períodos de retorno de 10, 20 e 100 anos respectivamente.

Para as simulações propostas inicialmente modelou-se a bacia no programa HEC-HMS, conforme Figura 25, adicionando representações das áreas delimitadas por meio da inserção de elementos gráficos disponíveis no programa. Após a inserção da representação das sub-bacias passou-se a inserir as conexões entre as mesmas por meio de linhas representativas. Estas linhas possuem características de sentido e direção, que influenciam na simulação hidrogramas. Após a representação gráfica da bacia passou-se a inserção de dados físicos da bacia, tais como área, declividades e tipo de solo, por meio do CN. Para a obtenção da chuva excedente transformada em vazão adotou-se o método do Hidrograma Unitário do SCS, com tempo de retardo de 60% do tempo de concentração. O tempo de concentração informado foi o obtido pela equação de Picking.

Figura 25 - Modelagem da área de estudo no programa HEC-HMS



Fonte: o autor (2017)

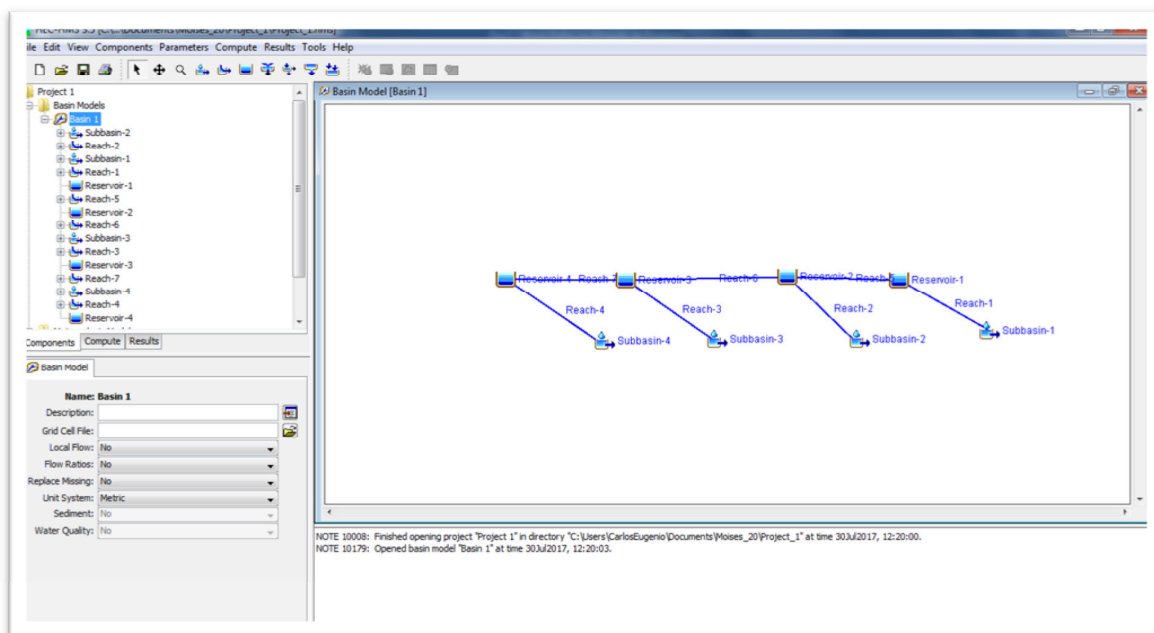
Os dados meteorológicos foram inseridos no modelo, uma vez que se optou por utilizar dados locais, e não simulações disponíveis no programa. Os dados principais adotados foram a altura pluviométrica, a intensidade pluviométrica e período de retorno.

O módulo de especificações de controle fora ajustado considerando um tempo de discretização de 5 minutos, com data de início do evento em 01 de janeiro de 2000, data padrão adotada pelo programa.

Após inserção de todos os dados requeridos iniciou-se as simulações dos hidrogramas da área de estudo. Os dados foram entregues em forma de tabela, e posteriormente tratados e analisados por meio do uso do programa Excel. Os hidrogramas resultantes referem-se ao exutório da sub-bacia 4 (quatro).

Findada a fase de simulações dos três primeiros cenários iniciou-se a inserção dos reservatórios no modelo. Foram inseridos 4 (quatro) reservatórios, um cada junção da bacias, conforme Figura 26. Estes reservatórios foram ajustados no modelo conforme seus parâmetros físicos projetados, tais como volume de armazenamento, material de cobertura, extensão, comprimento e posição em relação às sub-bacias.

Figura 26 - Inserção dos reservatórios no modelo



Fonte: o autor (2017)

Após inserção de todos os dados de projeto dos reservatórios iniciou-se as simulações dos hidrogramas da área de estudo. Os dados foram entregues em forma de tabela, e posteriormente tratados e analisados por meio do uso do programa Excel. As simulações foram realizadas para os diferentes cenários considerados. Os dados resultantes são relativos aos hidrogramas de saída da sub-bacia 4 (quatro).

### 4.3.INFRAESTRUTURA VERDE

Optou-se por implantar uma infraestrutura verde do tipo vala de retenção, uma vez que o solo apresenta baixa permeabilidade, classificado como tipo D, segundo classificação do SCS. A área de implantação foi definida como o canteiro central da Avenida Segismundo Pereira.

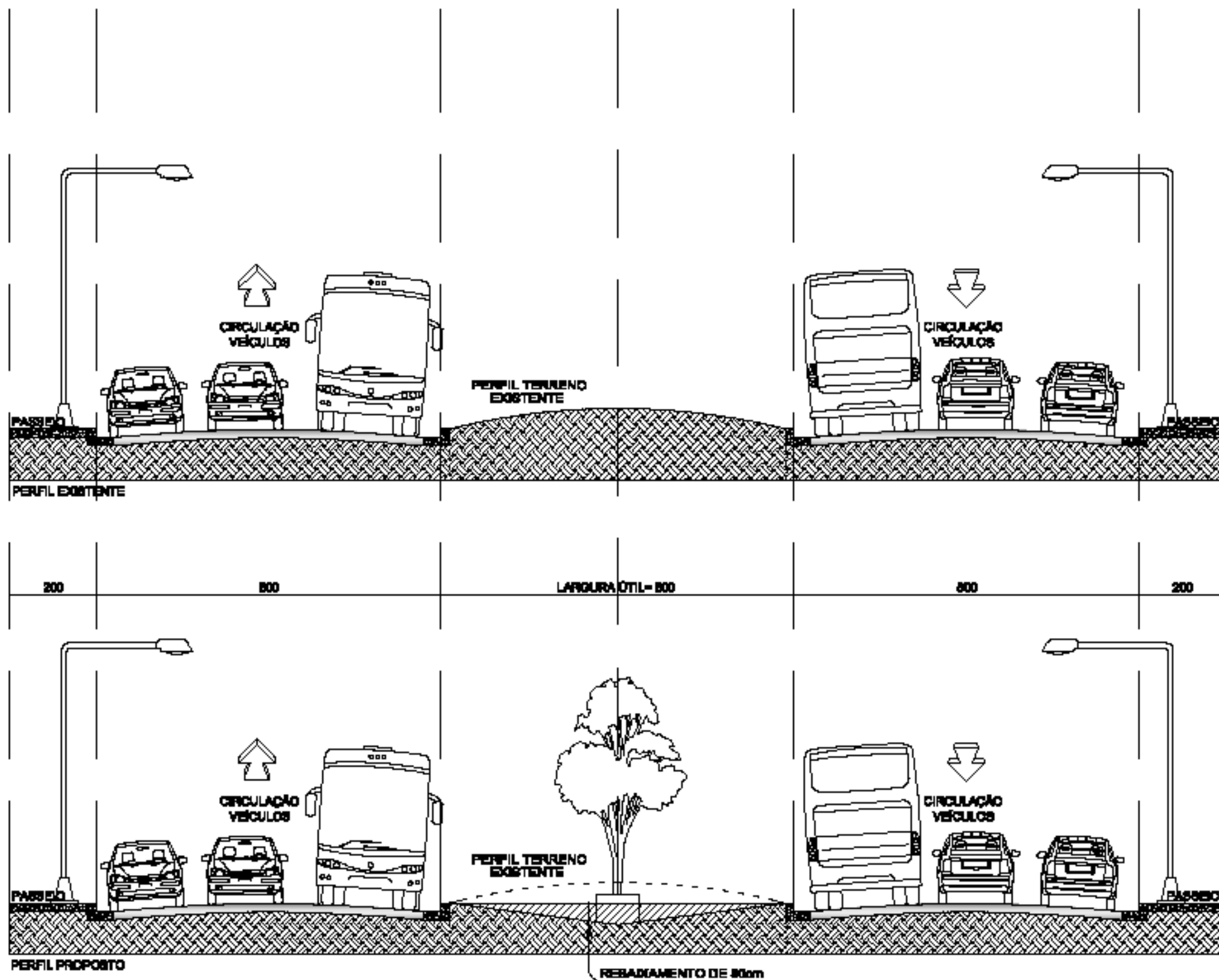
Observou-se que o canteiro central da Avenida Segismundo Pereira configura-se uma barreira física frente ao escoamento, Foto 9, uma vez que sua altura média, obtida in loco, é de 0,45 m, com valores observados de até 0,80 m. Propôs-se então um rebaixamento de 50 cm relação ao nível da rua de citado canteiro, conforme exposto pela Figura 27.

Foto 9 - Canteiro na Avenida Segismundo Pereira



Fonte: o autor (2017)

# PERFIL TRANSVERSAL DA VIA (TÍPICO)



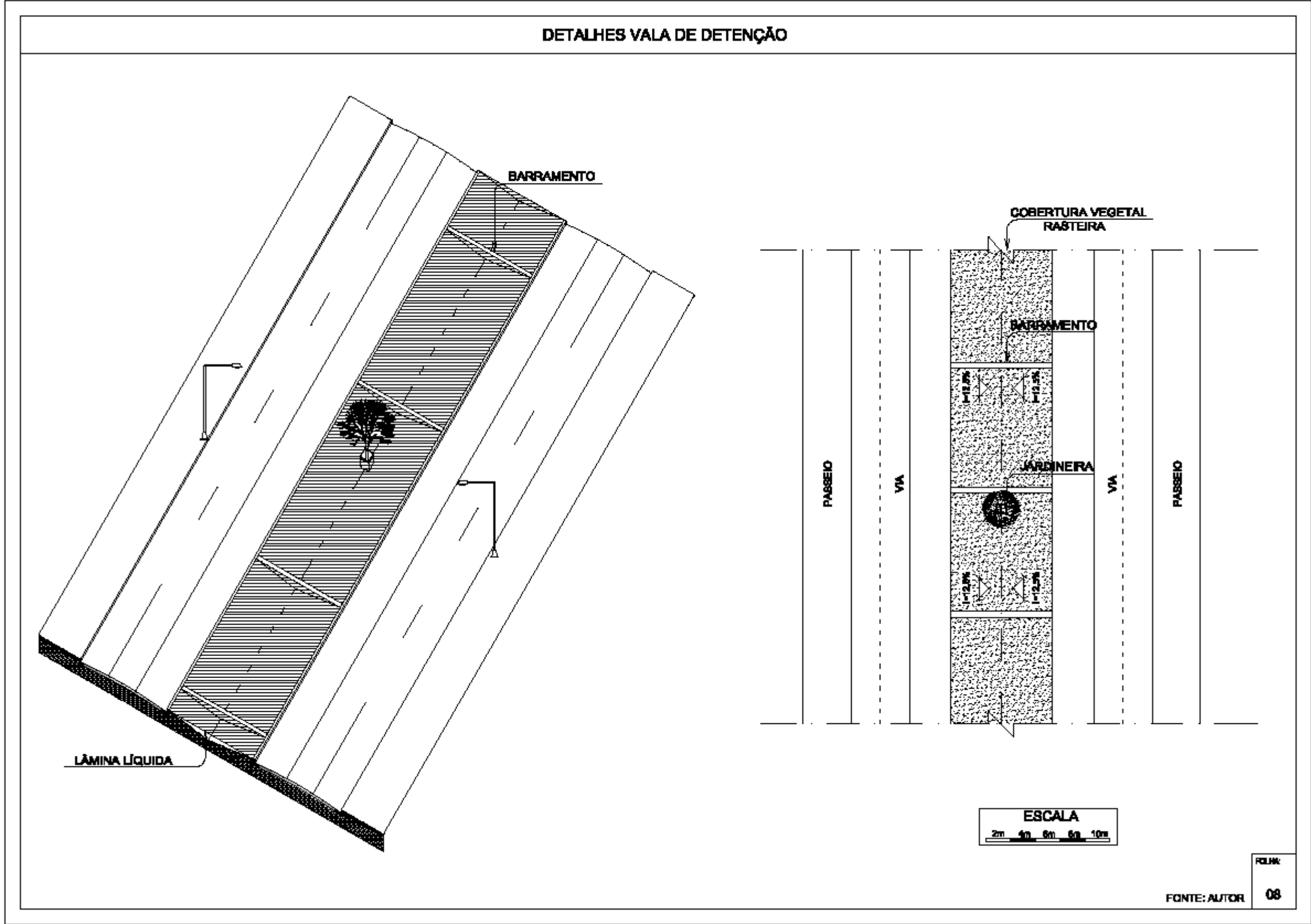
Realizou-se um levantamento do comprimento útil dos canteiros, por meio da análise do mapa planialtimétrico da bacia e de visitas ao local. Inicialmente mediu-se o comprimento dos canteiros, e em seguida retirou-se o comprimento das estações do BRT, as calçadas, e demais elementos que interferem na implantação da vala de retenção. Para determinação da largura útil da vala de retenção, adotou-se a largura do canteiro subtraindo-se a largura da guia. Obteve-se uma largura útil de 800 cm. Resumiram-se as informações da vala de retenção no Quadro 4, no qual são apresentados os volumes retidos por trecho, o volume total retido, dados da seção da vala de retenção e comprimento de canteiros.

Quadro 4 - Resumo das características da vala de detenção

TRECHO 1			
SEÇÃO DA VALA(m)		COMP. CANTEIRO	VOLUME (m³)
LARG.	PROF.	(m)	
8	0,5	1076,96	2153,92
TRECHO 2			
SEÇÃO DA VALA(m)		COMP. CANTEIRO	VOLUME (m³)
LARG.	PROF.	(m)	
8	0,5	849,26	1698,52
TRECHO 3			
SEÇÃO DA VALA(m)		COMP. CANTEIRO	VOLUME (m³)
LARG.	PROF.	(m)	
8	0,5	1274,92	2549,84
TRECHO 4			
SEÇÃO DA VALA(m)		COMP. CANTEIRO	VOLUME (m³)
LARG.	PROF.	(m)	
8	0,5	463,7	927,4
VOLUME TOTAL (m³)			
7329,68			

Fonte: o autor (2017)

Figura 28 - Detalhes da vala de retenção



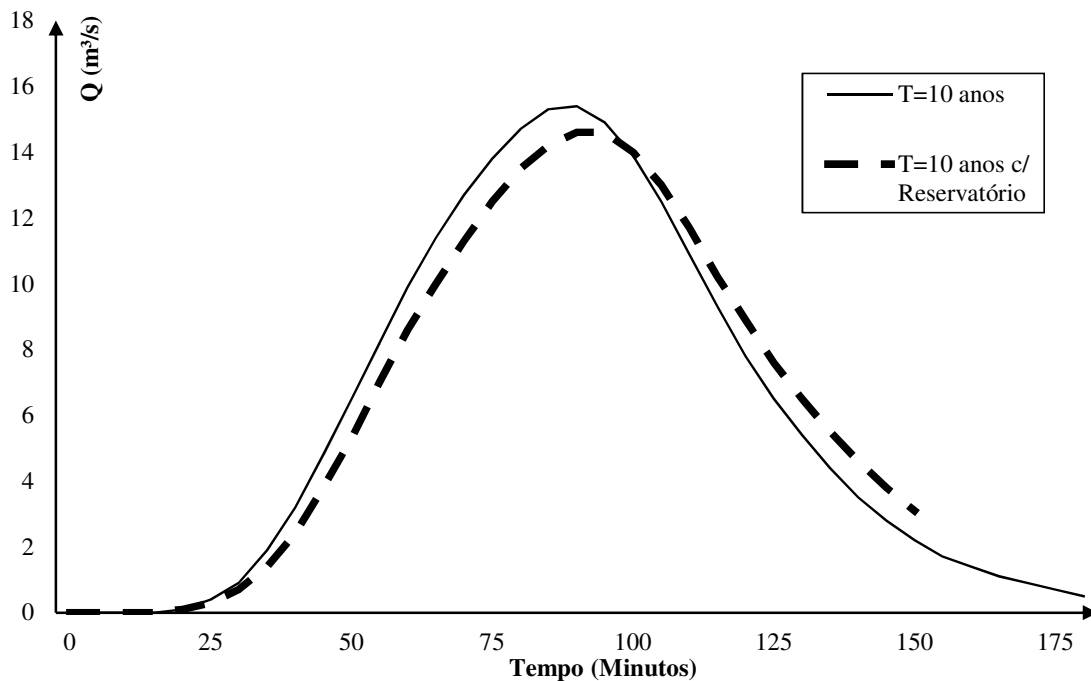


A Figura 28 apresenta uma planta e uma perspectiva da vala de detenção. Optou-se por utilizar barramentos ao longo da vala de detenção, visto que devido às declividades ao longo da via de implantação a vala poderia atuar como um canal, o que impossibilitaria a aplicação do proposto no presente trabalho.

#### 4.4.HIDROGRAMAS

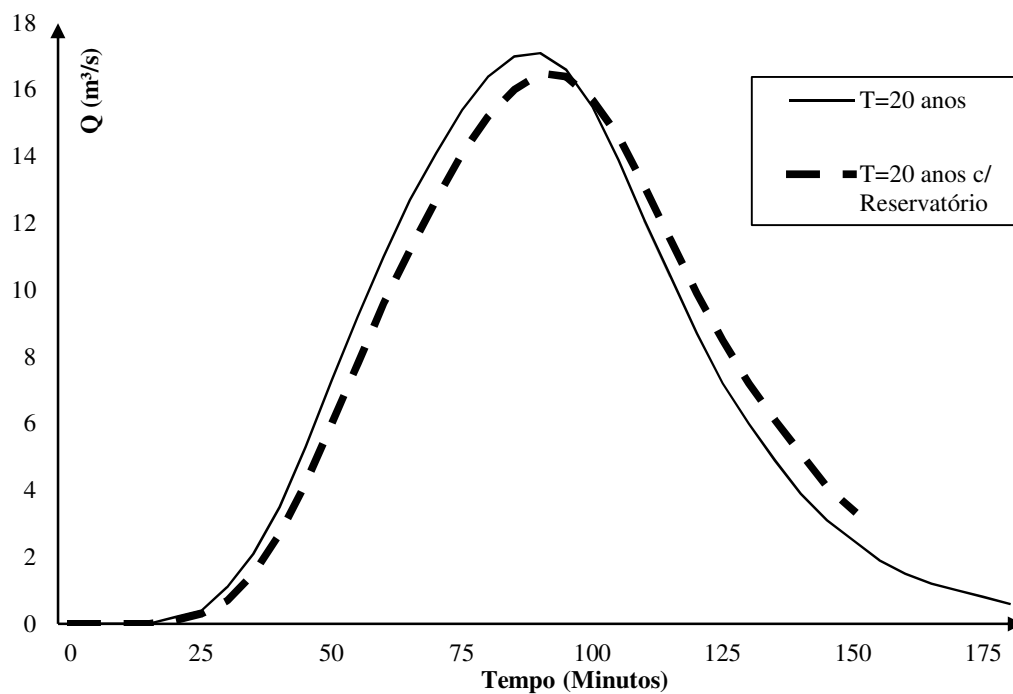
Após modelagem dos cenários e simulação dos hidrogramas dos cenários trabalhados, tratamento dos dados e obtenção dos hidrogramas em gráficos, passou-se a análise dos mesmos. Os hidrogramas dos cenários propostos estão apresentados conforme os períodos de retorno analisados, 10, 20 e 30 anos respectivamente (Gráfico 1;Gráfico 2;Gráfico 3), com a representação dos cenários sem e com reservatórios.

Gráfico 1 - Hidrograma para período de retorno de 10 anos



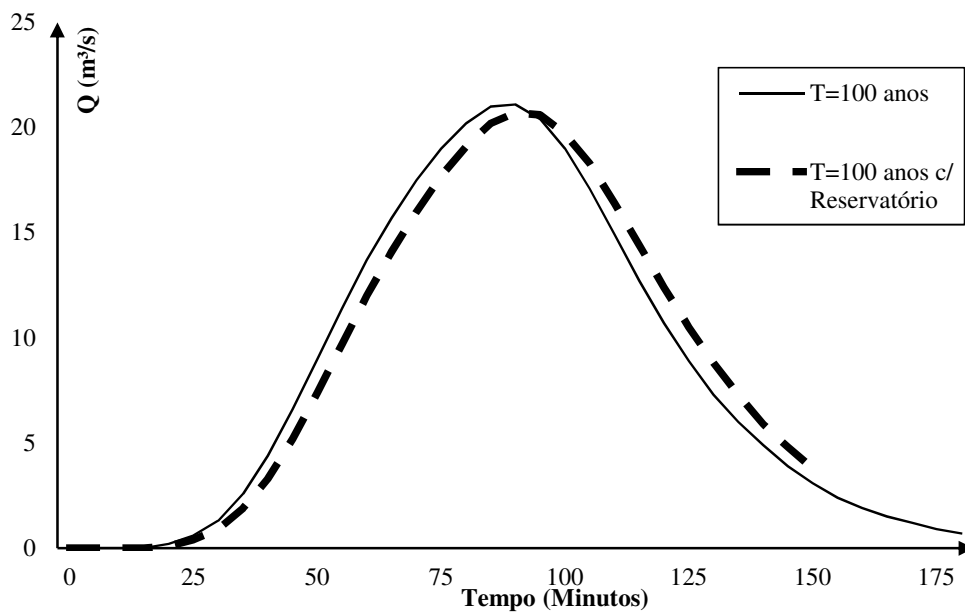
Fonte: o autor (2017)

Gráfico 2 - Hidrograma para período de retorno de 20 anos



Fonte: o autor (2017)

Gráfico 3 - Hidrograma para período de retorno de 100 anos



Fonte: o autor (2017)

Para análise da influência da vala de detenção, comparou-se a vazão máxima encontrada em cada cenário (Tabela 7), e calculou-se a redução da mesma com a adoção da infraestrutura verde. Observou-se que no primeiro cenário, período de retorno de 10 anos, a vazão de pico

passou de 15,4 m<sup>3</sup>/s para 14,6 m<sup>3</sup>/s, o que representa uma redução de 5,19%. Para o segundo cenário, período de retorno de 20 anos, a redução foi de 3,51%, passando de 17,1 m<sup>3</sup>/s para 16,5 m<sup>3</sup>/s. E para o terceiro cenário observou-se uma redução de 1,90 %, sendo que a vazão passou de 21,1 m<sup>3</sup>/s para 20,7 m<sup>3</sup>/s. Tais resultados refletem diretamente a pequena profundidade da valeta, 50 cm, que se deu em função da inclinação transversal (i=12,5%), uma vez que uma inclinação demasiadamente alta criaria condições inseguras para os pedestres.

Tabela 7 - Comparativo das vazões de pico em diferentes períodos de retorno na área estudada

	VAZÃO DE PICO SEM RESERVATÓRIOS (m <sup>3</sup> /s)		
PERÍODO DE RETORNO	10	20	100
	15,4	17,1	21,1
	VAZÃO DE PICO COM RESERVATÓRIOS (m <sup>3</sup> /s)		
PERÍODO DE RETORNO	10	20	100
	14,6	16,5	20,7
	REDUÇÃO (%)		
PERÍODO DE RETORNO	10	20	100
	5,19	3,51	1,90
	CAPACIDADE DA VALA DE DETENÇÃO (m <sup>3</sup> )		
	7329,68		

Fonte: o autor (2017)

Analisaram-se ainda os efeitos da infraestrutura adotada sobre o tempo de pico. Observou-se que nos três cenários o tempo de pico passou de 90 minutos para 95 minutos, aproximadamente, uma redução de 5,26%.

# **CAPÍTULO 5**

## **CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões e sugestões acerca do trabalho.

### **5.1.CONCLUSÕES**

O presente estudo procurou explanar acerca de medidas alternativas de drenagem urbana, bem como procurou propor a utilização de espaços já consolidados para o aperfeiçoamento da infraestrutura existente da cidade. Analisou-se ainda, sob parâmetros e métodos consolidados, a eficiência de uma estrutura verde proposta.

Os resultados obtidos simulações dos cenários propostos apontaram que existe uma redução, ainda que pequena, nas vazões de pico da área estudada. Não considerou-se os efeitos da evapotranspiração e da infiltração decorrentes do período de retenção das águas pluviais na estrutura proposta, o que hipoteticamente aumentariam a eficiência da estrutura.

A utilização de espaços públicos para diversas funções torna as cidades mais eficientes e sustentáveis. Conforme apresentado em estudos de casos, tratamento paisagístico proporciona aumento da qualidade de vida da população, desde aspectos de saúde à aspectos econômicos.

Assim, considerou-se viável, sob os aspectos considerados, a adoção da medida proposta.

### **5.2.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Evidente é a necessidade de novos estudos acerca da eficiência e eficácia de infraestruturas verdes na Cidade de Uberlândia/MG. Outros parâmetros devem ser analisados, tais como a influência da vegetação e da permeabilidade sobre o hidrogramas, os custos de implantação destas infraestruturas frente às estruturas convencionais, simulações do impacto sobre o microclima e até sobre a valorização imobiliária da região.

Deve-se procurar novas estratégias de drenagem urbana, uma vez que as tradicionais já não suprem as demandas apresentadas pela sociedade moderna, sejam elas de ordem urbanísticas, econômicas ou sustentáveis.

# CAPÍTULO 6

## REFERÊNCIAS

### 6.1.REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.G.; ANDRADE, P.E.O.; DAMIN, O.C.; MAGENTA, M.A.G. Rain gardens: green infrastructure typology for the Santos, SP. **UNISANTA BioScience**, v. 3, n. 1, p. 45-51, Janeiro 2014.

ARAUJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.;GOLDENFUM, J.A.; Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, nº 3, p. 21-29, Julho – Setembro 2000.

BAPTISTE, A.K.; FOLEY, C.; SMARDON, R. Understanding urban neighborhood differences in willingness to implement green infrastructure measures: a case study of Syracuse, NY. **Landscape and Urban Planning**, v. 136, p. 1-12, Abril 2015.

BRASIL. **Constituição da república federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm)>. Acesso em: 23 Maio 2016.

BRASIL. **Lei n. 10.257 de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm)>. Acesso em: 12 janeiro 2016.

BURNS, M.J.; FLETCHER, T.D.; WALSH, C.J., LADSON, A.R.; HATT, B.E. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. **Landscape and Urban Planning**, v. 105, p. 230-240, Abril 2012.

BURROUGH, P. A. Principles of geographic information systems for land resources assessment, em “**monographs on soil and resources survey**”, n. 12, Oxford: Clarendon Press. 1986

CANHOLI, A. P.; **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, c2005.

CARDOSO, C.O. ULLMANN, M. N. BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v22n1/18.pdf>>. Acesso em: 29 de julho de 2017.

CHOW, V.T.; *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw-Hill., 1959

CHUNG, J.H.; HWANG, K.Y.; BAE, Y.K. The loss of road capacity and self-compliance: Lessons from the Cheonggyecheon stream restoration. **Transport Policy**, v. 21, p. 165-178, Maio 2012.

CORMIER, N.S.; PELLEGRINO, P.R.M. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem ambiente: ensaios**, nº 25, p. 125-142, 2008.

DUSSAILLANT, A.; WU, C.; POTTER, K. Richards Equation Model of a Rain Garden. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 9, n. 3, p. 219-225, Maio 2004.

ESTEVEES, R. L.; MENDIONDO, E. M. Análise comparativa entre equações e observações do tempo de concentração em uma bacia urbana de São Carlos–SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. Curitiba: ABRH, 2003. Disponível em: <http://www.shs.eesc.usp.br/pessoal/docentes/technotes%5C31%5CEsteves-Mendiondo-ABRH-XV-SBRH-Curitiba-2003.pdf>. Acesso em: 19/04/2008.

FRANCISCHET, M. M. **Análise da influência dos reservatórios de retenção domiciliares no escoamento superficial urbano**. Dissertação de mestrado. PPGE. UFU. Uberlândia, 2012.

GRIBBIN, J.E. **Introdução à hidráulica e hidrologia na gestão de águas pluviais**/ John E. Gribbin; [tradução Glauco Peres Damas]. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. C. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo, E. Blucher, 1988.

HOUGHTALEN, R.J.; HWANG, N.H.C.; AKAN, A.O. **Engenharia Hidráulica**. 4ª ed. São Paulo, Pearson Education do Brasil, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados sobre o município de Uberlândia. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em 01 de julho de 2013.

JUSTINO, E. A. **Estudo do controle do escoamento superficial com o uso de reservatório de retenção na bacia do córrego Lagoinha, Município de Uberlândia-MG**. 2004. 183 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2004.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. sl: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.

LIU, C.; WONG, C.C.C.; On the pollutant removal, dispersion, and entrainment over two-dimensional idealized street canyons. **Atmospheric Research**, v. 135-136, p. 128-142, Janeiro 2014.

NEWEL, J.P.; SEYMOUR, M.; YEE, T.; RENTERIA, J.; LONGCORE, T.; WOLCH, J.R.; SHISHKOVSKY, A. Green Alley Programs: Planning for a sustainable urban infrastructure? **Cities**, v.31, p. 144-155, Abril 2013.

NORTON, B. A.; COUTTSB, A. M.; LIVESLEYA, S. J., HARRISC, R. J.; HUNTERA, A. M.; WILLIAMS, N. S.G. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. **Landscape and Urban Planning**, v. 134, p. 127-138, Fevereiro 2015.

POMPÊO, C.A. Development of a state policy for sustainable urban drainage. **Urban Water**, v. 1, n. 2, p. 155-160, Junho 1999.

PORTAL G1. (2013). Disponível em: < [g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/fotos/2013/05/veja-fotos-dos-estragos-causados-pela-forte-chuva-em-uberlandia.html#F819931](http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/fotos/2013/05/veja-fotos-dos-estragos-causados-pela-forte-chuva-em-uberlandia.html#F819931)>. Acesso em: 25 de junho de 2013.

RAIN GARDEN PHOTOS. [201-?]. Disponível em: <<http://www.statecollegepa.us/2502/Allen-Street-Rain-Gardens>>. Acesso em: 16 de outubro de 2010.

ROLNIK, R. Democracy on the Edge: Limits and Possibilities in the Implementation of an Urban Reform Agenda in Brazil. *International Journal of Urban and Regional Research*, v.35.2, p. 239-255, Março 2011.

SCHUELER, T. R. Controlling Urban Runoff : A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs. Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments. 1987.

SCHMIDT, M. A. R. Sistema de Informações Geográficas: Introdução e Aplicação em Recursos Hídricos. Notas de Aula. PPGEC. UFU. Uberlândia, 2013.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Manual de drenagem urbana. Curitiba, SUDERHSA, 2002.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia Ciência e aplicação. 4ª Ed. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. 943p.

TUCCI, C. E. M.; PORTO R.L.; BARROS M.T.; Drenagem Urbana. 1 ed. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 1995. 428p.

UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal. Cartilha do Plano de Emergência Pluviométrica – PEP 2010/2011. Disponível em: <[http://www.uberlandia.mg.gov.br/2014/secretariapagina/41/485/defesa\\_civil.html](http://www.uberlandia.mg.gov.br/2014/secretariapagina/41/485/defesa_civil.html)> Acesso em: 10 Janeiro 2016.

UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal. Banco de Dados Integrados. Disponível em: <[http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms\\_b\\_arquivos/16319.pdf](http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/16319.pdf)> Acesso em: 28 Julho 2017.

UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal. Lei complementar nº 525 de 07 de abril de 2011. Dispõe sobre o zoneamento do uso e ocupação do solo. Disponível em: <[http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms\\_b\\_arquivos/1836.pdf](http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/1836.pdf)> Acesso em: 16 Outubro 2016.

VERGÜTZ, L. A. A. **Análise da implantação de reservatórios de retenção na bacia são pedro e modelagem hidrodinâmica da avenida Rondon Pacheco**. Dissertação de mestrado. PPGEC. UFU. Uberlândia, 2016.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.

WOLCH, J.R.; BYRNE, J.; NEWEL, J.P.. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 234-244, Maio 2014.